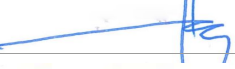


ISTRUZIONE TECNICA

Disciplinare tecnico per l'esecuzione
di indagini strutturali conoscitive
e modalità di restituzione

IT-IND1-STR-001-Rev0 del 13/11/2024

Il presente documento è di proprietà di Tecne Gruppo Autostrade per l'Italia S.p.A. e, pertanto, viene diffuso a condizione che né lo stesso, né qualsiasi informazione contenuta sia riprodotta o usata, anche solo in parte, senza l'autorizzazione della Società.

	Ruolo	Nome	Data	Firma
Redatta da:	STU	DE BENEDETTI	14/11/2024	
	LAB	CRAPANZANO	14/11/2024	
Approvata da:	IND	ZU	14/11/2024	
	DAP	PERUGINI	15/11/2024	
	TA APV	BUTTARAZZI	29/11/2024	
	TA PVD	ZORATTO	29/11/2024	
	TA DES	COLLA	29/11/2024	
	COO ED	CONTE	2/12/2024	
	HCO	SPINELLI	04/12/2024	
	RSGIQ	GOBBO	13/11/2024	
	ICSQ	RONCONI	04/12/2024	
	AD	MELIS G.P.	04/12/2024	
Emessa da:	AD	MELIS G.P.	04/12/2024	

SOMMARIO

1	Premessa.....	9
1.1	Acronimi e Definizioni.....	11
1.1.1	Acronimi	11
1.1.2	Definizioni.....	11
1.2	Indicazioni operative.....	13
1.2.1	Identificazione delle zone di misura e di prelievo.....	15
1.3	Normative e documenti di riferimento.....	17
2	Rilievo geometrico-strutturale	18
2.1	Rilievo completo	18
2.1.1	Rilievo di insieme del ponte	18
2.1.2	Rilievo delle parti strutturali	20
2.1.3	Rilievo dei componenti	21
2.1.3.1	Rilievo Geometrico – Impalcato e Pile	21
2.1.3.2	Rilievo geometrico – Fondazione e Spalle.....	23
2.1.3.3	Rilievo del sistema di appoggio e dei dispositivi sismici.....	29
2.2	Rilievo a campione	36
2.3	Rilievo di elementi non strutturali.....	37
2.3.1	Stratigrafia del pacchetto della pavimentazione stradale.....	37
2.3.1.1	Saggi diretti ed esecuzione di fori	37
2.3.1.2	Prelievo di carote di conglomerato bituminoso	39
2.3.1.3	Indagine Georadar.....	40
2.3.2	Sistemi di ritenuta stradale	43
2.3.2.1	Presentazione dei risultati.....	43
2.3.3	Sistema di smaltimento delle acque	45
2.3.3.1	Presentazione dei risultati.....	45
3	Rilievo dello stato di conservazione	46
3.1	Oggetto	46
3.2	Modalità di esecuzione del rilievo.....	46
3.3	Estensione del difetto e approccio di indagine	49
3.4	Strumentazione e attrezzatura	51
3.5	Modalità di rilievo dei difetti per elementi in c.a.o. e c.a.p.	51
3.5.1	Elementi in c.a.o.	52
3.5.1.1	Rilievo calcestruzzo ammalorato e armatura lenta esposta.....	52
3.5.1.2	Rilievo lesioni/fessure	54
3.5.2	Elementi in c.a.p.	55
3.5.2.1	Rilievo testate di ancoraggio.....	55
3.5.2.2	Rilievo lesioni/fessure travi c.a.p.....	57
3.5.2.3	Rilievo armatura di precompressione esposta: trefoli aderenti	58
3.5.2.4	Rilievo armatura di precompressione esposta: cavi scorrevoli con trefoli.....	61
3.5.2.5	Rilievo armatura di precompressione esposta: cavi scorrevoli a fili paralleli.....	65
3.6	Modalità di rilievo dei difetti per elementi in acciaio.....	68
3.6.1	Elementi in carpenteria metallica.....	68
3.6.1.1	Esempio restituzione rilievo.	68

3.6.2	Saldature	70
3.7	Modalità di rilievo dei difetti per apparecchi di appoggio	70
3.7.1	Esempio restituzione rilievo:	70
3.8	Modalità di rilievo dei difetti per elementi in muratura	71
3.9	Modalità di rilievo dei difetti generici	71
3.10	Modalità di rilievo delle fondazioni	71
3.11	Modalità di rilievo dei difetti per elementi in legno	71
3.12	Modalità di rilievo dei difetti da catalogo ASPI	72
4	Indagini per elementi in cemento armato	73
4.1	Prelievo di carote di cls e prove di resistenza a compressione	73
4.1.1	Oggetto	73
4.1.2	Descrizione del metodo	73
4.1.3	Normativa di riferimento	73
4.1.4	Strumentazione e attrezzatura per prelievo campioni	73
4.1.5	Ubicazione dei prelievi e dimensione delle carote	74
4.1.6	Modalità di esecuzione dei prelievi	74
4.1.7	Modalità di esecuzione delle prove su carote	75
4.1.8	Presentazione dei risultati	75
4.2	Prelievo di carote di cls e determinazione del modulo elastico secante	78
4.2.1	Oggetto	78
4.2.2	Descrizione del metodo	78
4.2.3	Normative di riferimento	78
4.2.4	Strumentazione e attrezzatura per prelievo in sito	78
4.2.5	Forma e dimensione dei provini	78
4.2.6	Modalità di esecuzione prova di laboratorio	79
4.2.7	Presentazione dei risultati	80
4.3	Prelievo e prove su barre di armatura	82
4.3.1	Oggetto	82
4.3.2	Descrizione del metodo	82
4.3.3	Normativa di riferimento	82
4.3.4	Strumentazione e attrezzatura per prelievo campioni	82
4.3.5	Modalità di esecuzione dei prelievi	82
4.3.5.1	Processo di saldatura per il ripristino della barra prelevata	83
4.3.6	Modalità di esecuzione delle prove di trazione in laboratorio	84
4.3.7	Presentazione dei risultati	84
4.4	Rilievo delle barre di armatura (saggi visivi e prove pacometriche)	86
4.4.1	Oggetto	86
4.4.2	Descrizione del metodo	86
4.4.3	Normativa di riferimento	86
4.4.4	Strumentazione e attrezzatura	86
4.4.5	Modalità di esecuzione	86
4.4.6	Presentazione dei risultati	94
4.5	Prove non distruttive sui calcestruzzi	98
4.5.1	Oggetto	98
4.5.2	Descrizione del metodo	98
4.5.3	Normativa di riferimento	98

4.5.4	Strumentazione e attrezzatura	99
4.5.5	Individuazione della zona di misura	99
4.5.6	Scelta delle metodologie di indagini	99
4.5.7	Modalità di esecuzione delle misure ultrasoniche.....	99
4.5.8	Modalità di esecuzione delle misure sclerometriche.....	101
4.5.9	Modalità di esecuzione delle prove pull-out.....	102
4.5.10	Calibrazione e taratura degli strumenti	102
4.5.11	Presentazione dei risultati	103
4.5.12	Combinazione dei metodi	107
4.5.13	Calibrazione dei risultati delle misure delle prove non distruttive combinati	107
4.6	Prove di durezza in sito sulle barre di armatura	109
4.6.1	Oggetto.....	109
4.6.2	Principio fisico del metodo	109
4.6.3	Normativa di riferimento	109
4.6.4	Metodi di prova indiretti in sito	109
4.6.5	Strumentazione e attrezzatura	110
4.6.6	Calibrazione	110
4.6.7	Modalità di esecuzione	110
4.6.8	Calibrazione delle misure di prove di durezza in sito.....	112
4.6.9	Presentazione dei risultati	113
4.7	Misura della profondità di carbonatazione.....	115
4.7.1	Oggetto.....	115
4.7.2	Descrizione del metodo	115
4.7.3	Normativa di riferimento	115
4.7.4	Reagente chimico e attrezzatura	115
4.7.5	Modalità di esecuzione	116
4.7.6	Presentazione dei risultati	117
4.8	Profondità di penetrazione ioni cloruro	119
4.8.1	Oggetto.....	119
4.8.2	Normativa di riferimento	119
4.8.3	Metodi per la misura della profondità di penetrazione di ioni cloruro	119
4.8.3.1	Analisi qualitative	120
4.8.3.2	Analisi quantitative.....	121
4.8.4	Presentazione dei risultati	122
4.9	Reazione alcali aggregati.....	124
4.9.1	Oggetto e descrizione del fenomeno	124
4.9.2	Normativa di riferimento	124
4.9.3	Metodologia di prova	124
4.10	Attacco solfatico	125
4.10.1	Oggetto e descrizione del fenomeno	125
4.10.2	Normativa di riferimento	125
4.10.3	Metodologia di prova	125
4.11	Misure di mappatura del potenziale.....	126
4.11.1	Oggetto.....	126
4.11.2	Descrizione del metodo	126
4.11.3	Normativa di riferimento	126
4.11.4	Strumentazione e attrezzatura	126

4.11.5	Modalità di esecuzione	127
4.11.6	Presentazione dei risultati	128
5	Indagini per elementi in acciaio.....	131
5.1	Prove sugli elementi di carpenteria	131
5.1.1	Prelievo elementi in acciaio da carpenteria metallica	131
5.1.1.1	Strumentazione e attrezzatura	131
5.1.1.2	Modalità di esecuzione	131
5.1.2	Prove di laboratorio sui campioni di carpenteria prelevati	137
5.1.2.1	Normativa di riferimento.....	138
5.1.2.2	Presentazione dei risultati.....	138
5.1.3	Prove di durezza su carpenteria metallica.....	140
5.1.4	Misure di spessore con ultrasuoni	140
5.1.4.1	Strumentazione e attrezzatura	140
5.1.4.2	Normativa di riferimento.....	140
5.1.4.3	Modalità di esecuzione	140
5.1.4.4	Presentazione dei risultati.....	141
5.2	Prelievo e prove di laboratorio su bulloni.....	143
5.2.1	Normativa di riferimento prove di laboratorio	143
5.2.2	Strumentazione e attrezzatura per prelievo	143
5.2.3	Modalità di esecuzione del prelievo.....	143
5.2.4	Presentazione dei risultati	144
5.3	Verifica della coppia di serraggio dei bulloni	145
5.3.1	Normativa di riferimento	145
5.3.2	Strumentazione e attrezzatura	145
5.3.3	Modalità di esecuzione	145
5.3.4	Presentazione dei risultati	146
6	Saldature di elementi in carpenteria metallica.....	148
6.1	Metodologie di controlli non distruttivi sulle saldature.....	148
6.1.1	Controllo delle saldature con metodo visivo (VT)	148
6.1.1.1	Normativa di riferimento.....	148
6.1.1.2	Strumentazione e attrezzatura	149
6.1.1.3	Modalità di esecuzione	149
6.1.1.4	Presentazione dei risultati.....	149
6.1.2	Controllo delle saldature con liquidi penetranti (PT)	151
6.1.2.1	Normativa di riferimento.....	151
6.1.2.2	Strumentazione e attrezzatura	151
6.1.2.3	Modalità di esecuzione	151
6.1.2.4	Presentazione dei risultati.....	152
6.1.3	Controllo delle saldature con particelle magnetiche (MT).....	153
6.1.3.1	Normativa di riferimento.....	154
6.1.3.2	Strumentazione e attrezzatura	154
6.1.3.3	Modalità di esecuzione	154
6.1.3.4	Presentazione dei risultati.....	155
6.1.4	Controllo delle saldature con ultrasuoni (UT)	156
6.1.4.1	Normativa di riferimento.....	156
6.1.4.2	Strumentazione e attrezzatura	156

6.1.4.3	Modalità di esecuzione	156
6.1.4.4	Presentazione dei risultati	157
6.2	Controllo delle saldature in opera	158
6.2.1	Oggetto delle attività	158
6.2.2	Elementi per i quali sono noti i difetti	158
6.2.3	Elementi per i quali non sono noti i difetti	159
6.3	Ripristini di vernice protettiva	162
6.4	Ripristini di zincatura protettiva	162
7	Indagini speciali per strutture in cemento armato precompresso	163
7.1	Rilievo del tracciato e della sezione dell'armatura di precompressione	163
7.1.1	Oggetto	163
7.1.2	Normativa di riferimento	163
7.1.3	Strumentazione e attrezzatura	163
7.1.4	Modalità di esecuzione	163
7.1.5	Individuazione del tracciato dell'armatura di precompressione	164
7.1.6	Rilievo dei trefoli / fili presenti nei cavi di precompressione	165
7.1.7	Presentazione dei risultati	165
7.2	Tomografia Ultrasonica per elementi precompressi post-tesi	171
7.2.1	Oggetto	171
7.2.2	Descrizione del metodo	171
7.2.3	Strumentazione e attrezzatura	172
7.2.4	Modalità di esecuzione	172
7.2.4.1	Procedura di verifica funzionamento e calibrazione dello strumento	172
7.2.4.2	Svolgimento della prova	174
7.2.5	Presentazione dei risultati	176
7.3	Metodo IMPACT-ECHO per elementi precompressi post-tesi	185
7.3.1	Oggetto	185
7.3.2	Normativa di riferimento	185
7.3.3	Descrizione del metodo e modalità di esecuzione della prova	185
7.3.4	Presentazione dei risultati	187
7.4	Ispezione endoscopica dei cavi	188
7.4.1	Oggetto	188
7.4.2	Bibliografia di riferimento	188
7.4.3	Strumentazione e attrezzatura	188
7.4.4	Descrizione del metodo e modalità di esecuzione della prova	188
7.4.5	Presentazione dei risultati	190
7.5	Saggi conoscitivi sull'armatura di precompressione	195
7.5.1	Oggetto	195
7.5.2	Bibliografia di riferimento	195
7.5.3	Strumentazione e attrezzatura	195
7.5.4	Descrizione del metodo e modalità di esecuzione della prova	195
7.5.4.1	Saggi conoscitivi sulle testate di ancoraggio (armatura post-tesa)	196
7.5.4.2	Saggi conoscitivi di approfondimento	197
7.5.5	Presentazione dei risultati	199
7.6	Valutazione della tensione di precompressione residua di travi in c.a.p.	207
7.6.1	Prove di detensionamento sui trefoli / fili	207

7.6.1.1	Oggetto.....	207
7.6.1.2	Descrizione del metodo	207
7.6.1.3	Strumentazione e attrezzatura	207
7.6.1.4	Modalità di esecuzione	208
7.6.1.5	Elaborazione delle misure.....	209
7.6.1.6	Presentazione dei risultati.....	209
7.6.2	Prove di detensionamento sul calcestruzzo – metodo sectioning a 4 tagli	213
7.6.2.1	Oggetto.....	213
7.6.2.2	Strumentazione e attrezzatura	213
7.6.2.3	Modalità di esecuzione	213
7.6.2.4	Presentazione dei risultati.....	214
7.7	Prove di durezza su acciaio armonico.....	217
7.7.1	Oggetto.....	217
7.7.2	Prove di durezza in situ – metodo RESISITIVO	217
7.7.3	Prove di durezza in situ – metodo UCI	217
7.7.3.1	Normativa di riferimento.....	217
7.7.3.2	Strumentazione ed attrezzatura	218
7.7.3.3	Modalità di prova	218
7.7.4	Prove di durezza in laboratorio con durometro da banco	219
7.7.5	Presentazione dei risultati	220
7.8	Prelievo e prova di trazione in laboratorio su acciaio armonico.....	223
7.8.1	Oggetto.....	223
7.8.2	Normativa di riferimento	223
7.8.3	Strumentazione ed attrezzatura.....	223
7.8.4	Modalità di prova	223
7.8.5	Presentazione dei risultati	224
7.9	Prove su malte di iniezione cavi	227
7.9.1	Oggetto.....	227
7.9.2	Modalità di prova	227
8	Indagini per strutture in muratura	228
8.1	Indagini per la caratterizzazione dei dettagli costruttivi	228
8.1.1	Saggi conoscitivi e video-endoscopie.....	228
8.1.2	Termografia ad infrarossi.....	229
8.1.3	Rilievo georadar	230
8.2	Indagini per la caratterizzazione delle proprietà meccaniche complessive della muratura.....	231
8.2.1	Prove in situ con martinetto piatto singolo e doppio	231
8.2.2	Prove di compressione in laboratorio su carote di muratura prelevate in situ.....	232
8.2.3	Prove shove-test o di taglio-scorrimento in situ	233
8.3	Indagini per la caratterizzazione delle proprietà meccaniche dei singoli componenti della muratura	235
8.3.1	Indagini per la caratterizzazione delle proprietà meccaniche dei blocchi (artificiali o naturali)...	235
8.3.1.1	Prove di laboratorio di resistenza a compressione	235
8.3.1.2	Prove sclerometriche in sito.....	236
8.3.2	Indagini per la caratterizzazione delle proprietà meccaniche della malta	237
8.3.2.1	Prove di laboratorio di punzonamento	237
8.3.2.2	Prove penetrometriche in sito	238

8.3.3	Indagini per la caratterizzazione delle proprietà chimico-fisica della malta.....	238
9	Indagini speciali sui sistemi di precompressione esterna.....	240
9.1	Premessa.....	240
9.2	Generalità sui sistemi di rinforzo	241
9.3	Indagini per la conoscenza dei sistemi rinforzo	242
9.4	Indagini per la caratterizzazione dell'area e del tiro residuo	245
9.4.1	Indagini per la stima del tiro residuo	245
9.4.2	Indagini per la stima dell'area residua	254
9.5	Monitoraggio	257
9.6	Ripristini	258
9.7	Componenti dei sistemi di precompressione esterna	259

1 Premessa

Il presente documento fornisce i criteri operativi con cui effettuare le indagini conoscitive sulle strutture esistenti e le relative modalità di restituzione richieste dal COMMITTENTE all'ESECUTORE.

Con l'espressione *indagini conoscitive* si intendono tutte le attività finalizzate alla determinazione della geometria dello schema strutturale dell'opera, alla caratterizzazione dei dettagli costruttivi e alla stima delle resistenze meccaniche dei materiali. Fanno parte delle indagini conoscitive anche quelle finalizzate alla valutazione dello stato di conservazione dell'opera e delle difettosità dei suoi elementi critici, quando presenti (es. armatura di precompressione, selle Gerber...); in tal caso si procederà al rilievo quantitativo del degrado e alle indagini specifiche per gli elementi critici. L'obiettivo finale delle indagini è quello di raggiungere il livello di conoscenza richiesto per l'opera in esame, in accordo e nel rispetto delle prescrizioni di legge vigenti.

Il presente documento si applica alle indagini rivolte alle opere d'arte esistenti (ponti, viadotti e cavalcavia, opere minori stradali ed idrauliche, muri...), appartenenti alla rete infrastrutturale la cui gestione è di competenza ASPI, in cemento armato ordinario e precompresso, in acciaio e in muratura.

Inoltre, il documento fornisce utili indicazioni per la redazione dei piani d'indagine strutturali, essendo riportate utili informazioni quali standard di prova, modalità di prova e di restituzione dei risultati delle prove, ed è da assumere come riferimento per la redazione dei report conclusivi con i risultati d'indagine e, quando previsto, dei certificati di prova restituiti dall'ESECUTORE incaricato.

Dovrà essere richiamato nelle procedure di gara e costituirà parte integrante del contratto da stipulare con l'ESECUTORE.

Il presente documento non fornisce istruzioni per l'identificazione della tipologia o del numero delle prove da eseguire sulle strutture, per le quali si rimanda alle Specifiche tecniche ASPI:

- "Specifiche per la stesura del Piano delle Indagini ai fini delle verifiche di sicurezza", datata Novembre 2022
- "Piano delle Indagini su elementi in c.a.p. post-tesi ai fini delle verifiche accurate di sicurezza. Istruzioni operative", datata Luglio 2023, quando presenti elementi in cemento armato precompresso, in particolare post-tesi

sulla base delle quali è redatto il piano delle indagini.

Nel perseguire tali scopi, il documento è organizzato come segue:

- **Capitolo I:** illustra gli scopi del presente documento, inquadrando le Normative e documenti di riferimento e fornendo definizioni e indicazioni operative generali, propedeutiche all'organizzazione e alle finalità dei capitoli successivi;
- **Capitolo II:** illustra le modalità operative di esecuzione e di restituzione dei rilievi geometrici strutturali delle opere;
- **Capitolo III:** illustra le modalità operative di esecuzione e di restituzione relative l'attività di rilievo dello stato di conservazione dell'opera;
- **Capitolo IV:** illustra le modalità operative di esecuzione e di restituzione per le indagini sugli elementi in cemento armato;

- **Capitolo V:** illustra le modalità operative di esecuzione e di restituzione per le indagini sugli elementi in acciaio;
- **Capitolo VI:** illustra le modalità operative di esecuzione e di restituzione per le indagini sulle saldature;
- **Capitolo VII:** illustra le modalità operative di esecuzione e di restituzione per le indagini speciali sugli elementi in cemento armato precompresso;
- **Capitolo VIII:** illustra le modalità operative di esecuzione e di restituzione per le indagini sugli elementi in muratura.
- **Capitolo IX:** illustra le modalità operative di esecuzione e di restituzione per le indagini sulla precompressione esterna.

Fanno parte integrante del presente documento i seguenti allegati, dei quali è richiesto all'ESECUTORE la completa conoscenza.

ALLEGATI:

Nro	Codice	Descrizione
1	A1-IT-IND1-STR-001	Schemi tipologici modalità di esecuzione dei ripristini a seguito delle indagini
2	ITX-IND1-STR-001-SCH-01	Schemi tipologici schede restituzione indagini. Minute di prova (n.15 schede)
3	ITX-IND1-STR-001-SCH-02	Schede raccolta dati indagini speciali ed ordinarie (n.12 schede)
4	ITX-IND1-STR-001-VPC	Verbale di prelievo di campioni di calcestruzzo e acciaio

Gli allegati 3 e 4 saranno forniti in allegato al PIN come file Excel editabile (.xls).

Relativamente all'**Allegato 3**, l'ESECUTORE dovrà restituire i risultati delle indagini secondo le modalità specifiche contenute nel presente documento e, contestualmente, dovrà compilare le suddette schede per le indagini pertinenti, mantenendo il formato Excel editabile (.xls).

Relativamente all'**Allegato 4**, l'ESECUTORE dovrà compilare tutti i campi necessari ed attenersi a quanto indicato al § 1.2 della presente.

Sarà cura dell'ESECUTORE contattare il COMMITTENTE, qualora non in possesso di tali allegati editabili ed in generale degli allegati indicati.

1.1 Acronimi e Definizioni

1.1.1 Acronimi

ASPI Autostrade per l'Italia.

C.A. Cemento armato ordinario.

C.A.P. Cemento armato precompresso.

NTC2018 Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni" DM 17 gennaio 2018 del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti.

CIR19 Circolare del 21 gennaio 2019, n. 7 C.S.LL. PP - Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni, di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018.

LG22 Linee guida per la classificazione e gestione del rischio, la valutazione della sicurezza ed il monitoraggio dei ponti esistenti, adottate con il decreto del Ministro delle infrastrutture e della Mobilità sostenibile D.M. 204 del 1/07/2022.

IO22 Piano delle Indagini su elementi in c.a.p. post-tesi ai fini delle verifiche accurate di sicurezza. Istruzioni operative.

1.1.2 Definizioni

COMMITTENTE: Soggetto che commissiona ad altro soggetto, c.d. Appaltatore, il servizio avente ad oggetto l'esecuzione di indagini strutturali conoscitive, tramite procedura di selezione dell'operatore economico, titolare dell'incarico.

ESECUTORE/APPALTATORE: laboratorio autorizzato ai sensi dell'art. 59 del D.P.R. n. 380/2001, che in forza di un contratto stipulato con il COMMITTENTE fornisce il servizio richiesto dalla presente Istruzione Tecnica.

CONTRATTO: contratto di appalto di servizio a titolo oneroso stipulato per iscritto fra il COMMITTENTE e l'Appaltatore, avente ad oggetto l'esecuzione di indagini strutturali.

PIANO DI INDAGINE (PIN): documento contenente il numero, l'ubicazione e la tipologia delle prove di indagine richieste per gli elementi strutturali e non strutturali dell'opera in esame al fine del raggiungimento di un prefissato livello di conoscenza LC.

PRG (progettista): soggetto che redige il piano delle indagini e, generalmente, esegue la VAL4 dell'opera o la progettazione degli interventi.

Gruppo ATIL: team TECNE che si occupa della messa a terra del PIN, del coordinamento e della salizzazione delle indagini e della supervisione delle INDAGINI ORDINARIE.

Ufficio LABORATORI: team TECNE che si occupa della supervisione delle INDAGINI SPECIALI e, in supporto al gruppo ATIL, delle INDAGINI ORDINARIE. Si occupa anche della revisione dei PIN, dei report e/o certificati di prova, delle offerte e dei consuntivi economici dell'ESECUTORE, in supporto all'EC.

EC (Engineering Coordinator): soggetto (TECNE) che si occupa del coordinamento tra le figure PRG, gruppo ATIL, Ufficio LABORATORI ed ESECUTORE.

INDAGINI STANDARD o ORDINARIE: si intendono le indagini riguardanti la caratterizzazione meccanica dei materiali e dei dettagli costruttivi del c.a. (e c.a.p., in merito al calcestruzzo e all'armatura lenta). Fanno parte delle indagini standard anche i rilievi geometrici dell'opera e degli appoggi, nonché degli elementi non strutturali.

INDAGINI SPECIALI: si intendono le indagini riguardanti le opere in c.a.p. (in particolare la caratterizzazione meccanica ed il rilievo dello stato di conservazione e dei dettagli costruttivi delle armature in acciaio armonico). Ai fini della supervisione delle indagini, si possono includere in questa categoria anche alcune tipologie di indagini "specifiche" svolte su opere con struttura portante in carpenteria metallica e muratura, oltre al rilievo dello stato di conservazione (c.d. rilievo del degrado, che può riguardare opere d'arte con struttura in c.a., in c.a.p., in carpenteria metallica e in muratura) ed alle prove sui sistemi di precompressione esterna.

Si riporta di seguito, a mero titolo esemplificativo e non esaustivo, la suddivisione delle indagini tra ordinarie e speciali/specifiche.

INDAGINI ORDINARIE	INDAGINI SPECIALI e "specifiche"
Prelievo carota di calcestruzzo/asfalto/muratura	Prelievo di acciaio armonico, su c.a.p. (es. fili, trefoli)
Prelievo barre di armatura ordinaria	Prove di durezza su acciaio armonico, su c.a.p.
Prelievo di bulloni	Prova endoscopica, su c.a.p.
Prove pacometriche/georadar su c.a.	Indagine georadar, su c.a.p.
Saggi locali su elementi in c.a.	Indagine tomografica ultrasonica, su c.a.p.
Prove non distruttive su calcestruzzo (es. prove sonreb, prove sclerometriche)	Prove di rilascio tensionale calcestruzzo, su c.a.p.
Prove spessimetriche su carp.metallica	Prove di rilascio tensionale sull'acciaio armonico, su c.a.p.
Verifica della coppia di serraggio dei bulloni	Saggi locali, su c.a.p.
Rilievi geometrici, degli apparecchi di appoggio e degli elementi non strutturali	Prove su precompressione esterna c.a.p.
Prove di durezza sulle barre di armatura ordinaria/carp.metallica	Controlli su saldature esistenti
Prova endoscopica calcestruzzo/murature	Prelievo di carp.metallica e relativi ripristini
Misure di potenziale di corrosione	Prova con martinetto piatto singolo e doppio, su murature
Prove chimiche (es. solfati, alcali, cloruri, carbonatazione)	Prova shove-test, su murature
Prove di pull-off	Prova di punzonamento su malta, su murature
	Prova penetrometrica su malta, su murature
	Indagine termografica, su murature
	Prova sclerometrica su blocchi, su murature
	Rilievo dello stato di conservazione

1.2 Indicazioni operative

La programmazione, la numerosità e l'ubicazione delle indagini diagnostiche e dei rilievi richiesti saranno formalizzate con la redazione di un documento specifico e di elaborati grafici allegati (PIN), forniti dal COMMITTENTE all'ESECUTORE.

Nello svolgimento delle attività l'ESECUTORE potrà eseguire, secondo il cronoprogramma delle indagini preventivamente comunicato al gruppo ATIL e Ufficio Laboratori, contemporaneamente più operazioni fra quelle indicate nel PIN, scelte secondo le necessità operative ed i criteri di buona esecuzione, comunque espletate nel rispetto delle tolleranze di seguito descritte.

Durante tali attività, oltre al PIN in corso di validità, l'ESECUTORE dovrà avere in cantiere l'elaborato progettuale o di contabilità dell'elemento strutturale (o degli elementi strutturali) sul quale si stanno svolgendo, in particolare, le indagini speciali (es. tracciato dei cavi, sezione con indicazione armature...). Tali documenti dovranno essere richiesti dallo stesso Esecutore, se non allegati al PIN, prima dell'avvio delle indagini.

Data la complessità e i successivi risvolti che potrebbero avere le indagini speciali (es. necessità di PIN integrativo come previsto dalle LG22 e IO22), si richiede all'ESECUTORE di organizzare tali indagini secondo la seguente scaletta:

- 1) Georadar-tomografie-scassi/endoscopie.
- 2) Prove di durezza acciaio armonico e/o prelievo di acciaio armonico (in genere eseguite nei saggi in corrispondenza delle anomalie indicate dalle indagini tomografiche, sarebbe quindi opportuno organizzarle nella stessa sessione delle indagini al punto precedente).
- 3) Rilasci tensionali acciaio armonico se è previsto nel caso in cui si dovrà prelevare il filo o il trefolo di acciaio armonico.
- 4) Eventuali indagini di dettaglio (es. indagini su testate di ancoraggio, prove vibrazionali, prove e prelievi particolari concordati appositamente con PRG aventi uno scopo ben definito).
- 5) Rilievo del degrado impalcato (se richiesto).
- 6) Rilievo del degrado elevazioni (se richiesto).
- 7) Rilasci tensionali calcestruzzo.

Successivamente all'esecuzione delle indagini speciali, qualora richiesto, andranno condivisi i risultati con l'Ufficio LABORATORI/PRG/EC, al fine di valutare quanto eseguito con una prima analisi dei dati e analizzare in tempi rapidi la bontà e l'efficacia delle indagini svolte. Ciò consente di valutare, altresì, la necessità di introdurre delle misure correttive qualora i risultati non fossero in linea con quelli attesi: questo in particolar modo per le indagini di cui ai punti 1-2-3-5 e per eventuali sopraggiunte criticità.

Eventuali modifiche al PIN (es. delocalizzazione delle indagini, sostituzione di prove con altre...), in corso d'opera o in avvio indagini, non rilevabili durante il sopralluogo preliminare sull'opera, dovranno essere discusse preliminarmente dall'ESECUTORE con gruppo ATIL e/o Ufficio LABORATORI, ognuno per le proprie aree di competenza, e, per il tramite dell'EC, successivamente si condivideranno con PRG per ottenerne l'eventuale approvazione definitiva.

L'identificazione dell'opera sarà eseguita mediante il *codice STONE*, mentre la localizzazione degli elementi strutturali componenti sarà eseguita in uniformità al sistema identificativo ASPI, come indicato nel Manuale della Sorveglianza ASPI - Opere d'Arte Maggiori - Ambito: Ispezioni Visive".

Nel caso di prelievi in situ, l'ESECUTORE dovrà redigere apposito verbale di prelievo (Allegato 4, da impiegare come tipologico) e successivamente trasmetterlo al COMMITTENTE copia digitale. Il verbale di prelievo dovrà essere necessariamente firmato dal Tecnico Sperimentatore che ha eseguito il prelievo.

Altresì, il COMMITTENTE potrà richiedere copia delle minute di prova compilati dall'ESECUTORE durante lo svolgimento delle prove (Allegato 2, da impiegare come minute effettive o come tipologico con i dati minimi ed indispensabili richiesti per tipologia di prova). Le minute di prova dovranno essere firmate dal tecnico che ha eseguito le relative prove.

Lo stato di funzionamento, la calibrazione e la taratura (in base al tipo di strumentazione ove richiesto) di tutte le apparecchiature impiegate, sia per i rilievi di campagna sia per le prove distruttive e non distruttive, dovranno essere controllati prima dell'inizio effettivo delle attività.

Il COMMITTENTE si riserva la facoltà di richiedere la verifica delle apparecchiature anche in corso d'opera, nonché, ove previsto, la verifica dei certificati di taratura.

L'ESECUTORE dovrà restituire i risultati delle indagini secondo le modalità specifiche contenute nel presente documento e, contestualmente, dovrà compilare le schede raccolta dati delle indagini (Allegato 3) mantenendo il formato Excel editabile (.xls).

Nella redazione dei report delle prove, L'ESECUTORE è tenuto a riportare una tabella contenente il numero progressivo delle revisioni ed una nota esplicativa dell'oggetto e del motivo della revisione.

Del pari, tutte le modifiche o aggiunte ai certificati di prova, eseguite successivamente alla loro emissione, sono consentite solo per mezzo di altro documento cosiddetto "emendamento/aggiunta al certificato", nel rispetto di quanto previsto dalle relative Circolari Ministeriali.

1.2.1 Identificazione delle zone di misura e di prelievo

Le zone, i punti di misura, di prova e di prelievo oggetto delle indagini saranno identificate secondo un codice alfanumerico e riportate su appositi elaborati grafici (es. planimetrie e sezioni) allegati alla documentazione di prova, restituita dall'ESECUTORE secondo le modalità specifiche riportate nei vari paragrafi delle prove.

Il formato del codice alfanumerico è:

Codice stone opera – tipo indagine seguito da numero progressivo– elemento strutturale seguito da numero progressivo – carreggiata – parte d'opera seguito da numero progressivo

Nella fattispecie:

- Codice Stone, desunto dal PIN, es. **12.01.0030.0.0** (il codice stone si può omettere e in alternativa inserire il nome opera, con autostrada e progressiva km di appartenenza)
- Tipo di indagine:
 - **C**: prelievo carota di cls;
 - **B**: prelievo barre di armatura;
 - **CARP**: prelievo carpenteria metallica;
 - **BULL**: prelievo bulloni;
 - **FIL**: prelievo filo di acciaio armonico;
 - **TREF**: prelievo trefolo di acciaio armonico;
 - **PAC**: prove pacometriche;
 - **SAG**: saggi locali;
 - **SALD**: indagini saldature;
 - **ULT**: prove ultrasoniche;
 - **SPES**: prove spessimetriche;
 - **SERR**: verifica della coppia di serraggio dei bulloni;
 - **SCL**: prove sclerometriche;
 - **PUL**: prove di pull-out;
 - **DUR-B**: prove di durezza sulle barre;
 - **DUR-FIL**: prove di durezza su acciaio armonico;
 - **END**: prova endoscopica;
 - **MP**: misure di potenziale di corrosione;
 - **GPR**: indagine georadar;
 - **TOM**: indagine tomografica ultrasonica;
 - **RTC**: prove di rilascio tensionale sul cls;
 - **RTA**: prove di rilascio tensionale sull'acciaio;
 - **CHIM**: prove chimiche (solfati, alcali...) per calcestruzzi e malte;
 - **CL**: penetrazione dello ione cloruro;
 - **CARB**: prova di carbonatazione;
 - **TERM**: indagine termografica (murature);
 - **MPS-MPD**: prova con martinetto piatto singolo e doppio (murature);
 - **C-MUR**: carote di muratura (murature);
 - **SHT**: prova shove-test (murature);

- **SCL-MUR**: prova sclerometrica su blocchi (murature);
 - **BLO**: prova compressione su blocchi (muratura);
 - **PUNZ**: prova di punzonamento su malta (murature);
 - **PEN**: prova penetrometrica su malta (murature);
 - **VIBR**: prova vibrazionale su precompressione esterna;
 - **MRT**: prova con metodo magnetoinduttivo su precompressione esterna;
 - **STAC**: prova di stacco con martinetto su precompressione esterna seguita da n° identificativo progressivo;
- Elemento strutturale (sigla: trave T, traverso TV, soletta SOL, arco ARC, colonna COL, pulvino PUL), seguito da n° identificativo progressivo.
 - Carreggiata (sigla: carreggiata destra DX, carreggiata sinistra SX).
 - Parte d'opera (sigla: campata CM, pila P, spalla Sp), seguita da n° identificativo progressivo.

Il numero progressivo degli elementi strutturali/parti d'opera deve avvenire secondo il manuale della sorveglianza ASPI.

Per le indagini su precompressione esterna, oltre al codice identificativo, l'ESECUTORE dovrà specificare a quale elemento del rinforzo si riferisce la prova (es. Barra 1, Barra 2..., Cavo 1, Cavo 2...).

La denominazione di questi elementi dovrà essere riportata in una planimetria schematica (anche desunta dal PIN), dove l'ESECUTORE, per ognuna delle posizioni in pianta degli elementi sul supporto, associa l'ID di denominazione.

Un esempio esplicativo del codice alfanumerico richiesto per l'identificazione delle indagini è riportato di seguito:

12.01.0030.0.0 -C1-T2-DX-CM1

Tutti i campioni prelevati (per successive prove di laboratorio) e tutti i punti di prova delle indagini (punti di misura, di prova e di prelievo oggetto delle indagini) dovranno essere siglati con il rispettivo codice di identificazione di cui sopra utilizzando un marcatore indelebile (direttamente sul campione estratto e su cartellino o su scotch nel caso dei punti di prelievo e dei punti di indagini in sito). E' richiesta inoltre documentazione fotografica dei campioni prelevati e dei punti di prova (punti di misura, di prova e di prelievo oggetto delle indagini) così siglati e di tutti i relativi ripristini (o fasi di ripristino come nel caso dei prelievi acciaio) eseguiti, il tutto inquadrando (ove possibile) un punto di riferimento noto dell'opera.

1.3 Normative e documenti di riferimento

- [1] DM 17/01/2018: "Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni»" (NTC2018).
- [2] Circ. Min. 21/01/2019: "Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni di cui al DM 17 gennaio 2018".
- [3] LG2022 D.M. 204 del 01/07/2022: "Linee Guida per la classificazione e gestione del rischio, la valutazione della sicurezza ed il monitoraggio dei ponti esistenti".
- [4] Normative UNI e ASTM specifiche per ogni prova in sito o in laboratorio.
- [5] "Ponti, viadotti e cavalcavia. Specifiche per la stesura dei piani di indagine ai fini delle verifiche di sicurezza", Autostrade per l'Italia, Novembre 2022.
- [6] "Piano delle Indagini su elementi in c.a.p. post-tesi ai fini delle verifiche accurate di sicurezza. Istruzioni operative". Autostrade per l'Italia, Febbraio 2022.
- [7] Consorzio FABRE. Ispezioni speciali su ponti esistenti in c.a.p. a cavi scorrevoli ai sensi delle Linee Guida: la classificazione e la valutazione accurata. Giugno 2023.
- [8] Consorzio FABRE. Ispezioni speciali su ponti esistenti in c.a.p. a cavi scorrevoli ai sensi delle Linee Guida: la classificazione e la valutazione accurata. Compendio. Giugno 2023.
- [9] ANSFISA. Istruzioni Operative per l'applicazione delle Linee Guida per la classificazione e gestione del rischio, la valutazione della sicurezza ed il monitoraggio dei ponti esistenti, art.1 c.3 D.M. 204 01/07/2022. Settembre 2022.
- [10] "Manuale della Sorveglianza ASPI - Opere d'Arte Maggiori - Ambito: Ispezioni Visive".
- [11] "Linee Guida per l'esecuzione delle ispezioni approfondite di impalcati da ponte con travi in c.a.p. a cavi post-tesi", ANAS - Centro Sperimentale Stradale di Cesano (04/2020).
- [12] "Dispositivi di ritenuta stradali – Volume VI" – ANAS Gruppo FS.
- [13] "Guidelines for Sampling, Assessing, and Restoring Defective Grout in Prestressed Concrete Bridge Post-Tensioning Ducts", FHWA Publication No. FHWA-HRT-13-027 (10/2013).
- [14] Applicazioni del metodo elettromagnetico GPR in campo ingegneristico – PIARC ITALIA 2020-2023 – Comitato Tecnico 1.6 – Laboratori di prova.
- [15] "Rilievo dello stato tensionale di elementi strutturali in calcestruzzo – Caso delle travi precomprese" – 4 Emme Service Spa.
- [16] "Determination of strength of mortar in the joints of masonry by compression tests on small specimens", Darmstadt Concrete, 2, 1987, pp. 123-136 - Henzel J., Karl S.

Tutti i riferimenti normativi specifici alle singole prove/indagini sono riportati nel rispettivo paragrafo.

2 Rilievo geometrico-strutturale

Scopo del rilievo geometrico-strutturale è la restituzione della geometria e dello schema strutturale dell'opera, al fine di ricostruire con ragionevole confidenza il modello geometrico-strutturale della struttura, sulla base del quale effettuare le verifiche di sicurezza.

Il rilievo geometrico strutturale deve essere conforme ai contenuti nella Circolare Applicativa delle NTC18 (§ C8.5.2).

Le operazioni e la tipologia di rilievo geometrico richieste per l'opera saranno indicate in una specifica sezione del PIN, nel quale si indicherà la richiesta di un **rilievo completo** o **a campione**.

2.1 Rilievo completo

Il **rilievo completo** dovrà interessare ogni singolo elemento strutturale costituente l'opera d'arte; previa approvazione da parte del COMMITTENTE e in accordo con le Specifiche al §1.3, l'ESECUTORE potrà stabilire preliminarmente un criterio di omogeneità e ripetitività che riduca l'estensione del rilievo (ad esempio, per opere con elementi prefabbricati si potranno individuare elementi tipo o nel caso di opere a più campate con luci uguali si potrà individuare la campata tipo).

Laddove sia richiesto un rilievo completo, esso dovrà contenere le informazioni desumibili dalle tre scale di analisi:

- Rilievo di insieme del ponte;
- Rilievo delle parti strutturali;
- Rilievo dei singoli componenti.

Si procederà mediante ispezioni a vista, acquisizione di immagini fotografiche, misurazioni tramite metodi topografici, tecnologie laser, al fine di garantire la scala di rilievo richiesto.

Le informazioni che dovranno emergere dai rilievi menzionati (rilievo di insieme del ponte, rilievo delle parti strutturali e rilievo delle componenti) sono riportate di seguito.

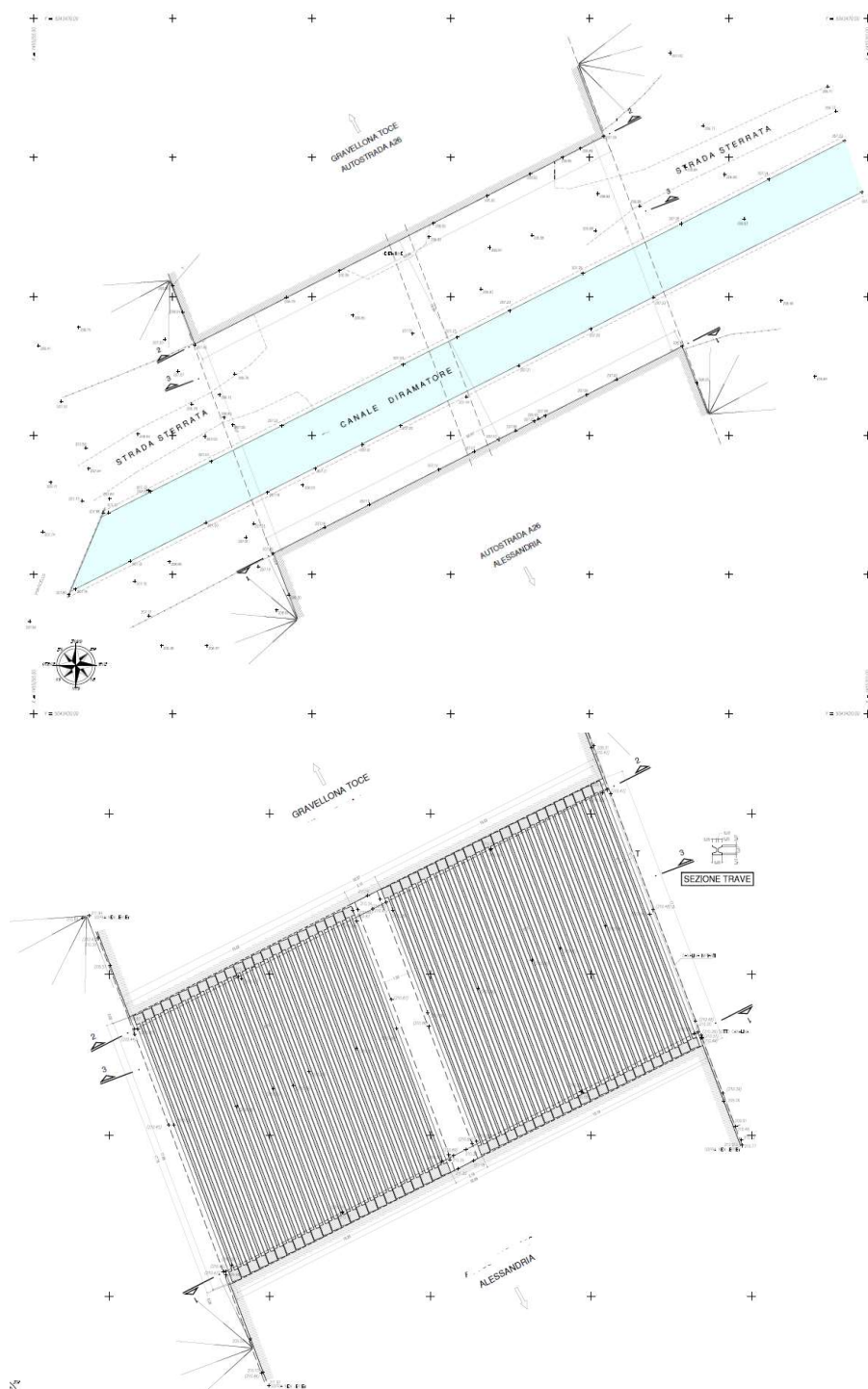
2.1.1 Rilievo di insieme del ponte

Sviluppo del manufatto incluso il profilo altimetrico e, per le opere in curva, il rilievo del tracciato nel piano orizzontale con i relativi raggi di curvatura.

Si richiede la segnalazione di corsi d'acqua, di interferenze con la viabilità locale, la presenza di vegetazione.

Si richiede l'indicazione sulla presenza di caditoie o pozzetti per lo smaltimento delle acque dalla piattaforma stradale.

Un esempio di quanto sopra richiesto è riportato di seguito.





SISTEMA DI COORDINATE RETTILINEE
(RIFERITO A GAUSS BOAGA)
ED ALTIMETRIA RIFERITA A LIVELLO MEDIO DEL MARE

Figura 1 – Esempio di restituzione – rilievo d'insieme del ponte

2.1.2 Rilievo delle parti strutturali

Individuazione della tipologia strutturale, restituzione della sezione trasversale dell'elemento (indicando se trattasi di elemento tipo), della distanza tra assi pila o pila-spalla, la luce della campata/e (intesa come distanza misurata tra gli assi degli appoggi §2.1.3.1), altezza e posizione delle pile, disposizione delle spalle, pendenza trasversale della carreggiata, con segnalazione di eventuali “fuori piombo” di elementi strutturali.

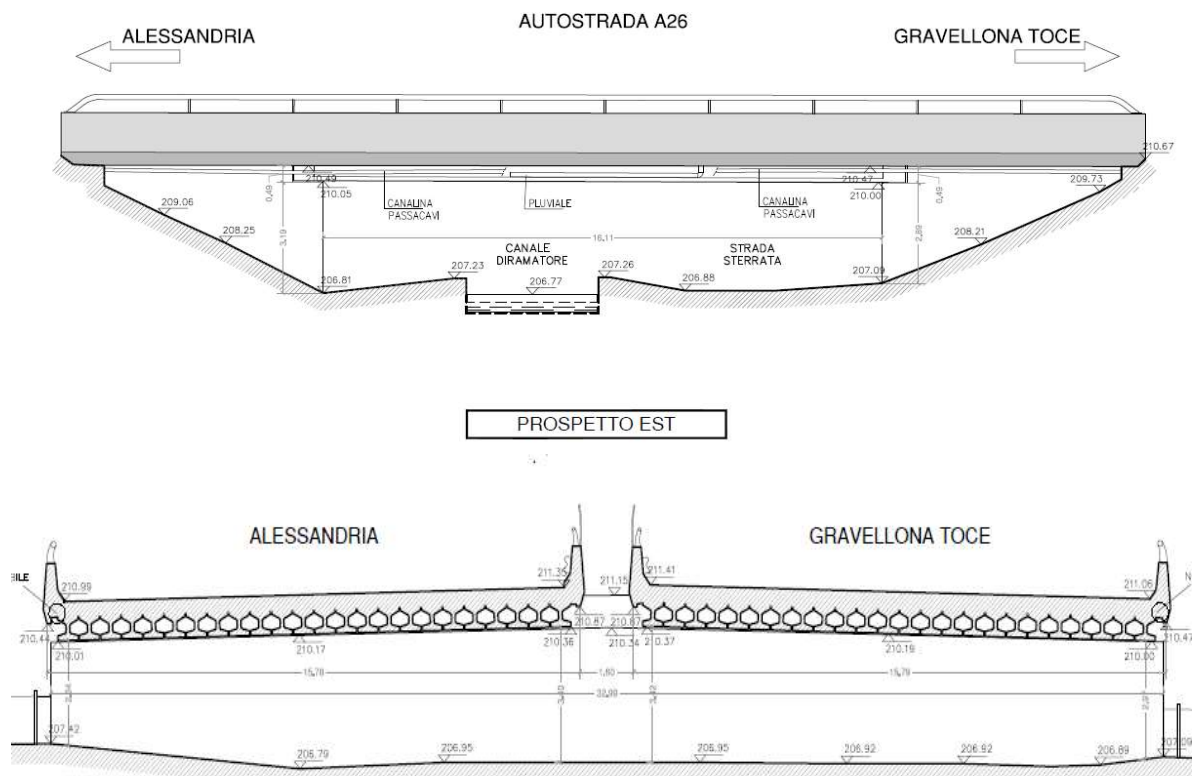


Figura 2 – Esempio di restituzione – rilievo delle parti strutturali

2.1.3 Rilievo dei componenti

Le operazioni di rilievo saranno precedute, quando disponibili, dalla acquisizione delle informazioni storiche e d'archivio disponibili da richiedere al COMMITTENTE e che l'ESECUTORE dovrà avere in sito e conoscere.

I seguenti componenti dell'opera dovranno essere rilevati col massimo grado di dettaglio consentito dallo stato dei luoghi:

- Impalcato
- Pile
- Spalle
- Fondazioni
- Muri
- Appoggi (baggioli, quando presenti, apparecchi di appoggio)
- Dispositivi sismici (smorzatori, dissipatori...), quando presenti

Nei successivi paragrafi saranno fornite direttive di dettaglio riguardo l'esecuzione dei rilievi dei componenti strutturali sopra indicati.

2.1.3.1 Rilievo Geometrico – Impalcato e Pile

La presente procedura ha come oggetto la definizione delle modalità di esecuzione dei rilievi geometrici delle parti in elevazione dell'opera, i.e. impalcato e pile.

Modalità di esecuzione

Il rilievo geometrico delle strutture di impalcato dovrà essere eseguito sia mediante tecniche tradizionali (metodi topografici, misure metriche dirette), sia mediante tecniche avanzate (es. laser scanner), con l'obiettivo di determinare le dimensioni dei vari elementi strutturali, come di seguito indicato.

- travi – profilo e sezioni rette in mezzeria, all'appoggio e in tutte le sezioni significative dell'opera, interassi;
- traversi – sezioni rette e interassi;
- soletta – spessore, luci degli sbalzi laterali, dimensioni dei cordoli laterali;
- baggioli e apparecchi di appoggio – caratteristiche tipologiche e geometriche (§2.1.3.3);
- dispositivi sismici – caratteristiche tipologiche e geometriche (§2.1.3.3);
- pile e pulvini – caratteristiche geometriche
- pile - altezza fuori terra, sezione trasversale al p.c. ed in sommità al nodo con pulvino/stampella;
- pulvini/stampelle - sezione trasversale al nodo con la pila e all'estremità, larghezza complessiva;
- interventi successivi al progetto originario - e.g. interventi di rinforzo strutturale o conservativo, quali precompressione esterna, interventi di incamiciatura, ripristini strutturali; si richiede il rilievo degli elementi costitutivi e il riscontro con tavole progettuali, quando disponibili.

Per quegli elementi per cui è necessario indagare spessori non noti visivamente, quali solette o pile cave, nell'ambito del rilievo geometrico si potrà procedere mediante misure indirette (nel caso di solette, ad es., a partire dallo spessore del cordolo, al netto dello spessore della pavimentazione) o mediante misure strumentali (es. georadar).

L'esecuzione di fori, carotaggi e saggi di misura invasivi dovranno essere autorizzati dal COMMITTENTE. In quest'ultimo caso è richiesta adeguata documentazione fotografica.

Restituzione dei rilievi

Gli elaborati restituiti dall'ESECUTORE saranno costituiti da:

- Indicazione in pianta dell'elemento rilevato (la planimetria può essere realizzata appositamente ex-novo oppure ricalcata su quella di progetto o di as-built dell'opera);
- Elaborati grafici quotati: piante, prospetti, sezioni longitudinali e trasversali, raffiguranti quanto richiesto nei paragrafi precedenti;
- Elaborati grafici editabili (su richiesta del COMMITTENTE);
- Documentazione fotografica.

La scala di restituzione sarà esplicitamente indicata dall'ESECUTORE.

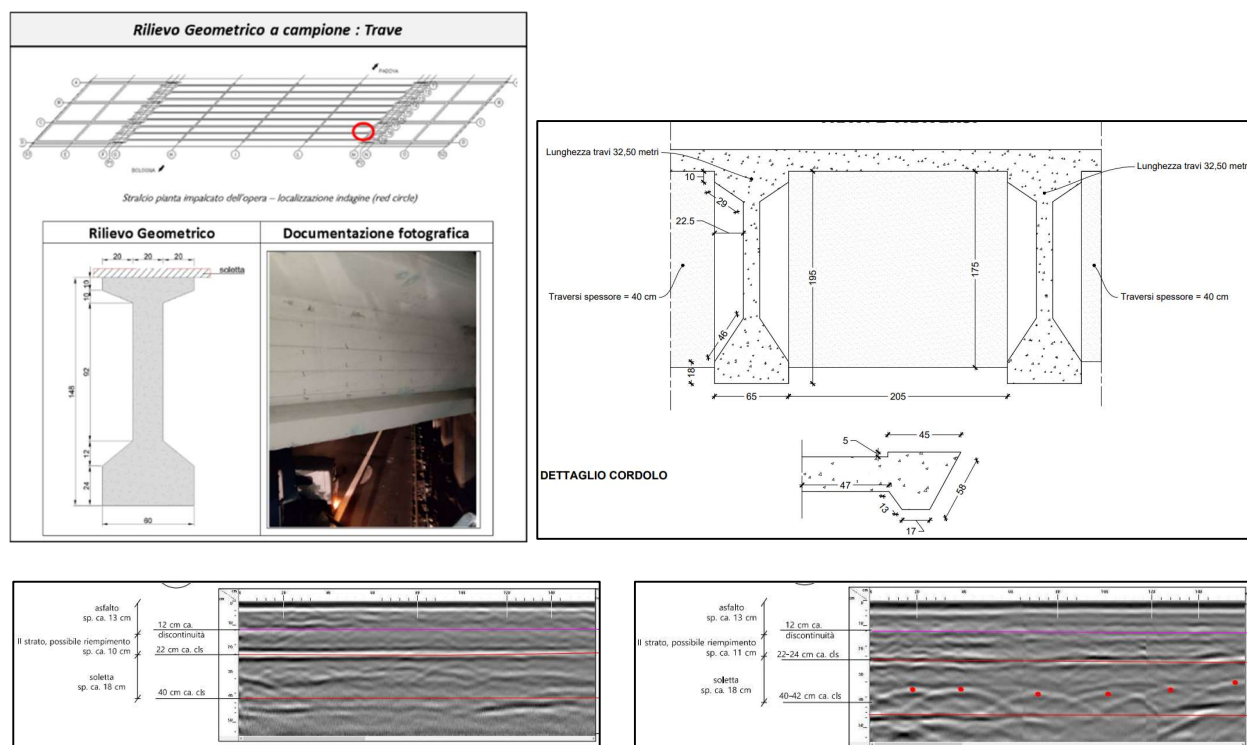


Figura 3 – Esempio di restituzione- rilievo dei componenti

2.1.3.2 Rilievo geometrico – Fondazione e Spalle

La presente procedura ha come oggetto la definizione delle modalità di esecuzione dei rilievi geometrici delle strutture di fondazione e delle spalle.

Strumentazione e attrezzatura

- martello demolitore/trapano, gruppo elettrogeno, punta di lunghezza > 150 cm e diametro > 24 mm, carotatrice con sistema di carotaggio continuo, carotieri di diametro > 30 mm e prolunghie;
- videoendoscopio e metro;
- georadar con antenna a bassa frequenza (in genere di frequenza compresa tra 400 e 900 MHz);
- macchina fotografica;

Strutture di fondazione

Relativamente alle strutture di fondazione il rilievo può essere diretto (tramite scavo) e consente di rilevare fisicamente la geometria delle fondazioni ed il ricoprimento di terreno, oppure indiretto (es. tramite acquisizione georadar) e consente di stimare il solo ricoprimento di terreno al di sopra della fondazione (in determinate condizioni operative, anche le dimensioni in pianta), tenuto conto anche delle condizioni di umidità del terreno.

RILIEVO DIRETTO:

Il rilievo geometrico diretto delle strutture di fondazione dovrà essere eseguito con la seguente procedura, preceduta preliminarmente dalla ricerca di eventuali sottoservizi (a carico dell'ESECUTORE).

- a) Esecuzione di uno scavo a sezione obbligata mediante escavatore, tale da mettere a nudo almeno uno spigolo della superficie di estradosso del plinto;
- b) approfondimento dello scavo in fregio al perimetro esterno della superficie di estradosso del plinto, e tale da raggiungere la superficie di intradosso dello stesso;
- c) ulteriore approfondimento sotto la superficie di intradosso del plinto fino a raggiungere la sommità di un palo, e per una larghezza tale da rilevarne il diametro e la posizione relativa rispetto al plinto;
- d) esecuzione delle misure geometriche e della documentazione fotografica delle strutture di fondazione;
- e) ritombamento dello scavo.

Le opere di scavo dovranno essere effettuate seguendo tutte le prescrizioni fornite dalla vigente normativa in materia di sicurezza e adottando ove necessario le necessarie opere provvisorie. Prima delle attività è necessario stimare la quantità di ricoprimento (qualora i dati siano disponibili, il COMMITTENTE potrà fornire indicazioni), che se risultasse superiore a 2,00 m sussisterebbe il rischio di seppellimento oltre all'eventuale necessità di opere provvisorie. In questi casi con il COMMITTENTE si valuterà una procedura al fine di operare in sicurezza oppure si valuterà una metodologia alternativa.

RILIEVO INDIRETTO:

Il rilievo geometrico indiretto delle strutture di fondazione sarà di tipo strumentale. Solitamente è eseguito mediante strumentazione georadar con antenna, preferibilmente, multicanale oppure mediante l'esecuzione di alcuni fori sul terreno (fino a ricoprimenti di 1,50 m dal p.c.).

Nel caso tipico di indagine mediante georadar, l'indagine consiste nella creazione di una maglia di acquisizione (lungo due direzioni ortogonali, verticali e orizzontali) il cui passo tra le direttrici deve essere sufficiente (da stabilire in sito) tale da individuare ricoprimento e spigoli e quindi ricostruire la dimensione in pianta di plinti e travi. Qualora la fondazione fosse sub-affiorante permette anche l'individuazione della disposizione dell'armatura.

Nel caso dell'esecuzione dei fori, l'indagine consiste nella creazione di una maglia, come nel caso precedente, e nei nodi (incrocio tra le due direttrici ortogonali) si eseguono fori con trapano fino ad intercettare l'estradosso della fondazione, percepito tramite la variazione di resistenza alla penetrazione della punta. La quantità di ricoprimento si stima misurando la lunghezza di punta emergente rispetto alla lunghezza totale. Se la maglia è sufficientemente fitta, è possibile anche delimitare in pianta la fondazione. Questa tecnica di indagine risulta indicata quando il terreno presenta una forte attenuazione del segnale elettromagnetico del georadar (ad esempio se è umido) e di conseguenza non si ha sufficiente risoluzione.

Spalle

Il rilievo geometrico delle spalle avverrà mediante l'utilizzo delle tecniche tradizionali e avanzate, introdotte nel paragrafo precedente. Il rilievo geometrico dovrà evidenziare tutte le dimensioni caratteristiche dell'elemento (e.g. sezione trasversale, altezza e larghezza delle parti di elevazione e del paraghiaia...)

Particolare attenzione, è posta nel presente paragrafo al rilievo dello spessore del muro frontale; esso sarà determinato utilizzando una o più delle seguenti tecniche di indagine, a seconda delle situazioni locali:

1. Mediante prospezioni elettromagnetiche, utilizzando un georadar con antenna di frequenza compresa tra 400 e 900 MHz, solitamente per spessori fino a circa 80 cm (da valutare in sito in base alle condizioni del materiale),
2. Mediante esecuzione di fiorettature con eventuali prospezioni endoscopiche di verifica;
3. Mediante esecuzione di carotaggi continui orizzontali.

Di seguito sono descritti i dettagli esecutivi di realizzazione delle tre tecniche di indagine.

1. Le prospezioni georadar consistono nell'immettere in un elemento strutturale onde elettromagnetiche, mediante georadar con antenna a bassa frequenza, solitamente compresa tra 400 e 900 MHz. Si procede realizzando una maglia con direttrici verticali (se necessario anche orizzontali) sul muro frontale e rilevando in tempo reale la profondità corrispondente al fronte d'onda imputabile al paramento interno del muro. La prova potrebbe essere non attendibile in relazione alla quantità di armature e alle condizioni del cls, che potrebbe fornire una forte attenuazione (es. umidità o inerti di grosse dimensioni). Potrebbe essere comunque richiesta fiorettatura o carotaggio di calibrazione (n.1), descritte di seguito.
2. Le fiorettature saranno eseguite seguendo la procedura seguente:
 - a. rilievo delle barre di armatura mediante pacometro/georadar con tracciamento delle stesse sulla superficie del calcestruzzo;
 - b. esecuzione della fiorettatura, utilizzando un trapano elettrico battente di potenza adeguata ed una punta di lunghezza pari ad almeno 150 cm con diametro superiore a 24 mm; il foro dovrà essere centrato all'interno di un campo delimitato dalle barre precedentemente individuate, e dovrà avere una pendenza leggermente inclinata verso l'alto per favorire la fuoriuscita della polvere; lo spessore del muro dovrà essere individuato dall'operatore nel momento in cui si annullerà la resistenza fornita dal materiale all'esecuzione del foro e potrà essere verificata mediante un'ispezione video endoscopica.

La misura dello spessore potrà avvenire:

- indirettamente, a partire dalla lunghezza di punta emergente rispetto alla sua lunghezza totale;
- direttamente, inserendo l'endoscopio nella fiorettatura fino quando non viene visualizzato a monitor il paramento interno, quindi inserendo un metro con origine di misura fino a tale profondità: la misura letta sulla porzione di metro emergente dal paramento rappresenta il suo spessore.

3. I carotaggi saranno eseguiti seguendo la procedura seguente:
 - a. rilievo delle barre di armatura mediante pacometro/georadar, con tracciamento delle stesse sulla superficie del calcestruzzo;
 - b. individuazione del punto di carotaggio, mediante giustapposizione della piastra sulla superficie dell'elemento, ed in funzione delle caratteristiche superficiali del materiale, della

- maglia di armatura e del diametro del carotiere, la cui sagoma deve essere sufficientemente lontana dalle barre;
- c. fissaggio della carotatrice a parete mediante un tassello ad espansione, verificando che non vi sia alcun giuoco tra le varie componenti del sistema;
 - d. esecuzione del carotaggio continuo a circolazione d'acqua, utilizzando carotieri di diametro > con prolunghie di lunghezza totale da superare lo spessore dell'elemento; lunghezza totale da superare lo spessore dell'elemento;
 - e. recupero dei campioni e loro posizionamento nell'apposita cassetta catalogatrice, ordinati secondo le profondità crescenti;
 - f. siglatura delle carote estratte, ed annotazione sul foglio di campagna delle informazioni relative a: sigla, ubicazione, variazioni stratigrafiche...;
 - g. documentazione fotografica della carota;
 - h. ripristino del foro del carotaggio come da schema Tipologici Ripristini Indagini ALLEGATO 1.

Restituzione dei rilievi per strutture di fondazione e spalle

Per ogni struttura di fondazione o spalla investigata dovrà essere prodotta una scheda contenente:

- identificazione dell'elemento indagato su piante o profili longitudinali dell'opera;
- schema geometrico dell'elemento (piante, prospetti e sezioni) con indicazione delle dimensioni rilevate e quota del punto di indagine (es. rispetto estradosso fondazione o sommità della spalla, nel caso di rilievi su spalla, o rispetto uno spigolo, nel caso di rilievi in fondazione);
- spessore del ricoprimento di terreno al di sopra della fondazione, anche riportando i relativi radargrammi delle varie sezioni di acquisizione;
- documentazione fotografica.

Quando nel PIN è richiesto anche il rilievo dei dettagli costruttivi relativamente alle armature del cemento armato, si rimanda al §4.4 del presente documento.

Alcuni esempi di restituzione sono riportati in figura 4 (rilievo georadar e rilievo con tecnica del foro, per fondazioni) e in figura 5 (rilievo del plinto di fondazione con scavo e della misura di spessore del muro frontale delle spalle).



ALTEZZA TERRENO AL DI SOPRA DEL PLINTO DI FONDAZIONE_ AMPLIAMENTO : 10cm DAL P.C.

ALTEZZA TERRENO AL DI SOPRA DEL PLINTO DI FONDAZIONE_ VECCHIO IMPIANTO: NON RILEVATO

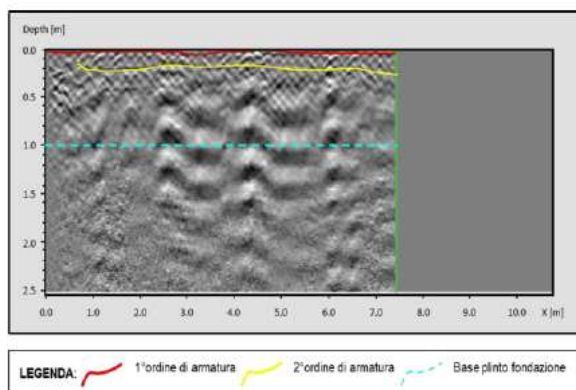
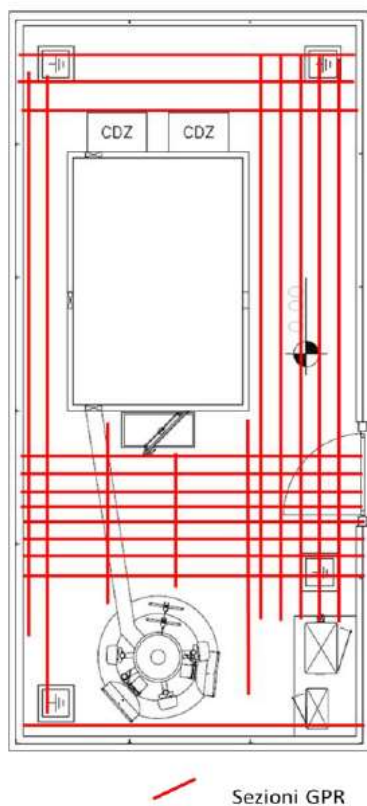


Figura 4 – Esempio di restituzione – Rilevamento Plinto di fondazione con indagine georadar e con foro

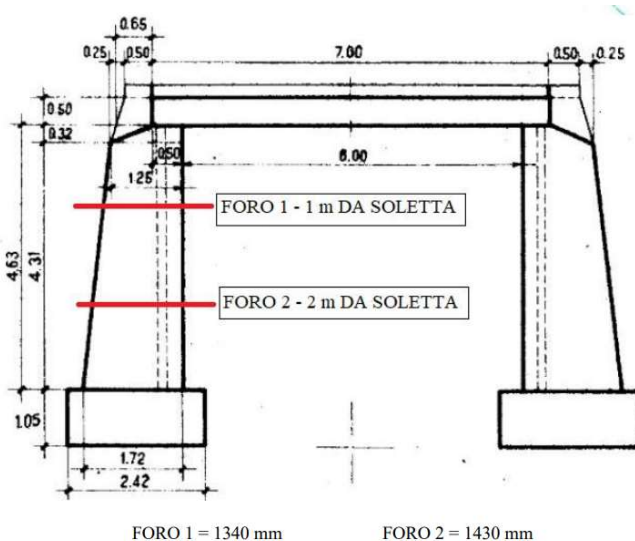
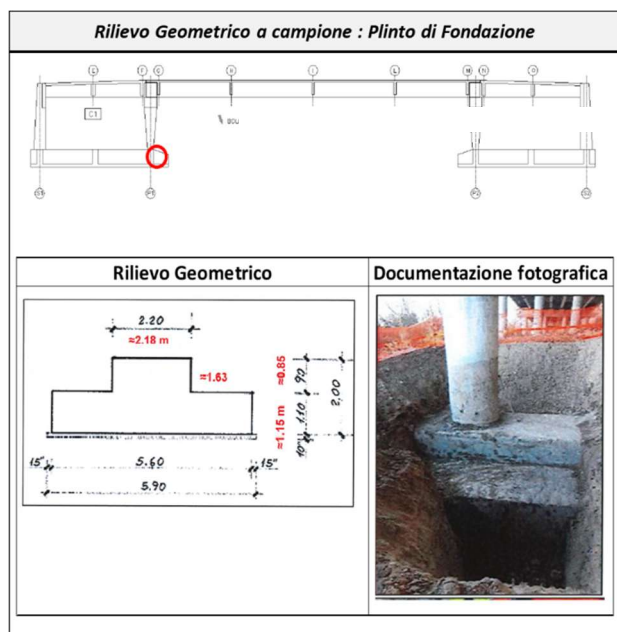




Figura 5 – Esempio di restituzione – Rilievo Plinto di fondazione (con scavo) e rilievo dello spessore del muro frontale di una spalla (tecnica fiorettatura/carotaggio)

2.1.3.3 Rilievo del sistema di appoggio e dei dispositivi sismici

I rilievi geometrici di seguito descritti riguardano il sistema di appoggio (baggioli ed apparecchi di appoggio) e, qualora presenti dissipatori sismici.

Si faccia riferimento ai documenti [5] e [6] riportati al §1.3 per i rilievi geometrici richiesti, attenendosi alla differenziazione tra i diversi apparecchi di appoggio:

- Dispositivi di appoggio fissi in acciaio;
- Dispositivi di appoggio mobili a rullo o a pendolo;
- Dispositivi di appoggio in neoprene;
- Dispositivi di appoggio in "cernoflon";
- Dispositivi di appoggio in PTFE.

Si riportano di seguito stralci dei documenti [5] e [6] riportati al §1.3, desunti dal relativo §20 degli stessi.

20 SISTEMA DI APPOGGIO

20.1 Rilievo

L'indagine degli appoggi deve essere condotta in modo che possano essere individuate le seguenti distanze:

- **In direzione longitudinale** (v. Figura 20-1)
 - **L1** Asse appoggio-estremità trave
 - **L2** Asse appoggio-estremità baggiolo
 - **L3** Asse appoggio-estremità pulvino
- **In direzione trasversale** (v. Figura 20-2)
 - **L4** Asse appoggio-estremità baggiolo
 - **L5** Asse appoggio-estremità pulvino

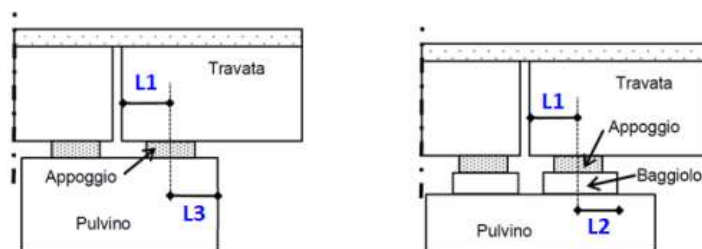


Figura 20-1: Sistema di appoggio. Distanze da rilevare in direzione longitudinale

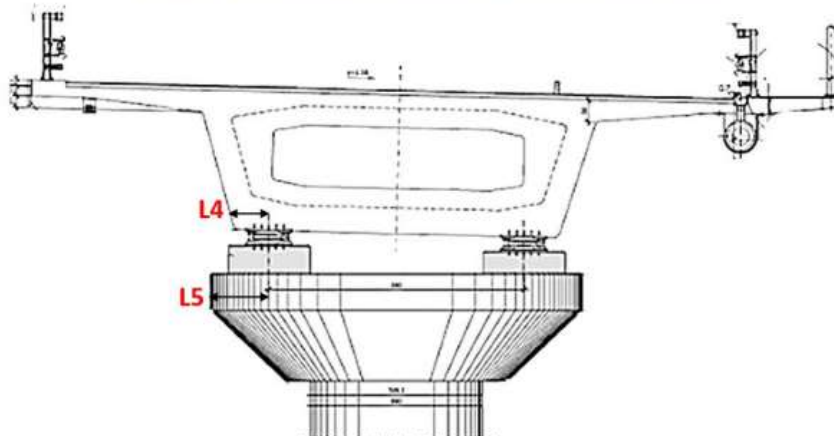


Figura 20-2: Sistema di appoggio. Distanze da rilevare in direzione trasversale

Per i dispositivi mobili deve essere rilevato lo spostamento rispetto all'asse del dispositivo per un numero di elementi tale da fornire un quadro rappresentativo del generale stato dei dispositivi presenti sull'opera, avendo cura di identificare i dispositivi che presentano i maggiori spostamenti (+/-).

Con particolare riferimento agli apparecchi mobili o semi-rigidi, in presenza di uno stato di degrado dei dispositivi che si ritenga tale da pregiudicarne la funzionalità, si deve prevedere un controllo dello stato dell'apparecchio, in termini di spostamento, sia in estate che in inverno. Ai fini della redazione della VAL4, tuttavia, si potrà considerare la condizione di funzionamento ritenuta più attendibile sulla base dell'osservazione visiva, adottando le eventuali e necessarie cautele del caso.

Nel caso di dispositivi mobili che presentano spostamenti eccessivi e/o deformazioni anomale rispetto al funzionamento atteso, si valuterà, di concerto con ASPI, l'opportunità di prevedere un monitoraggio, con letture puntuali o continue a seconda delle circostanze.

Deve essere inoltre misurata la larghezza del varco tra le travi e, qualora possibile, tra le solette degli impalcati adiacenti.

20.2 Indagini sui dispositivi di appoggio

L'indagine dei dispositivi di appoggio deve essere condotta per almeno un elemento di ogni tipologia di dispositivo presente sull'opera.

Di seguito si esaminano le tipologie di appoggio più ricorrenti.

20.2.1 Dispositivi di appoggio fissi in acciaio

Di seguito si riportano le indicazioni relative alle prove da eseguire sui dispositivi di appoggio fissi in acciaio.

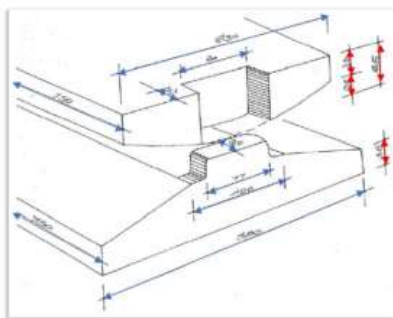


Figura 20-3- Appoggi fissi in acciaio

Tabella 20-1: Prove e indagini da eseguire sugli appoggi fissi in acciaio

Rilievo geometrico	Caratterizzazione meccanica
Rilievo geometrico finalizzato alla restituzione delle grandezze riportate in Figura 20-3	n.3 prove durometriche

20.2.2 Dispositivi di appoggio mobili a rullo o a pendolo

Di seguito si riportano le indicazioni relative alle prove da eseguire sui dispositivi di appoggio mobili a rullo o a pendolo in acciaio.

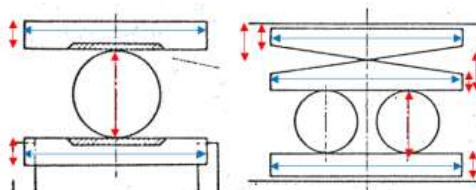


Figura 20-4- Appoggi a rullo in acciaio

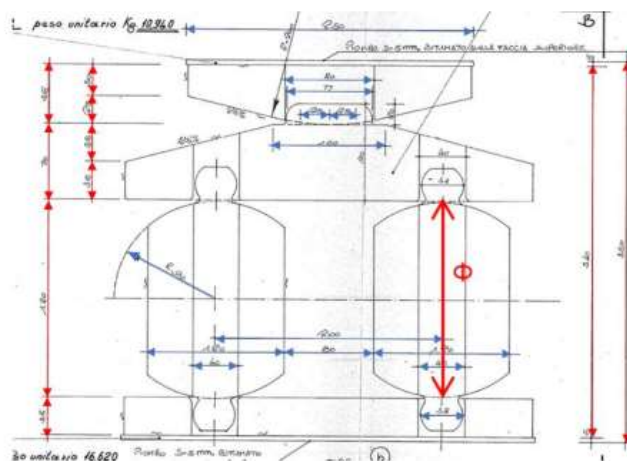


Figura 20-5- Appoggi a doppio pendolo in acciaio

Tabella 20-2: Prove e indagini da eseguire sugli appoggi mobili in acciaio

Rilievo geometrico	Caratterizzazione meccanica
Rilievo geometrico finalizzato alla restituzione delle grandezze riportate in Figura 20-4/ Figura 20-5, compresa l'eventuale inclinazione dei rulli.	n.3 prove durometriche

20.2.3 Dispositivi di appoggio in neoprene

Di seguito si riportano le indicazioni relative alle prove da eseguire sui dispositivi di appoggio in neoprene.



Figura 20-6- Appoggio in neoprene

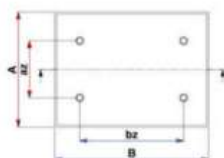
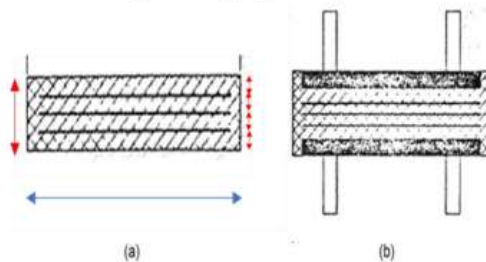


Figura 20-7- Appoggi in neoprene con lamierini a) senza e con zanche di ancoraggio b)



Figura 20-8- Appoggio in neoprene con superficie di acciaio grafitata

Tabella 20-3: Prove e indagini da eseguire sugli appoggi in neoprene

Rilievo geometrico
Rilievo geometrico finalizzato alla restituzione delle dimensioni in pianta e dello spessore del dispositivo; rilievo del numero e dello spessore degli strati tra i lamierini e, se possibile, lo spessore del lamierino.

20.2.4 Dispositivi Fip tipo "Cernoflon"

Di seguito si riportano le indicazioni relative alle prove da eseguire sui dispositivi di tipo "Cernoflon"

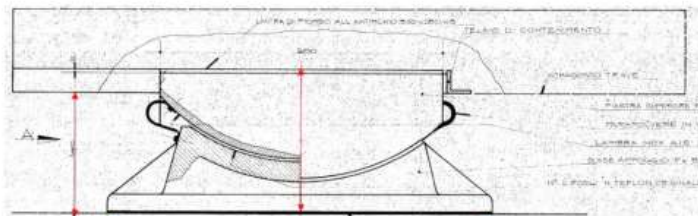


Figura 20-9- Appoggio tipo Cernoflon fisso

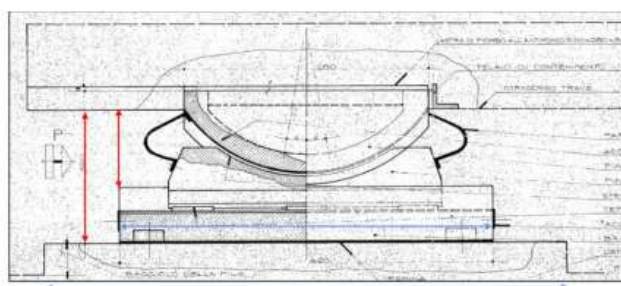


Figura 20-10- Appoggio tipo Cernoflon mobile unidirezionale

Tabella 20-4: Prove e indagini da eseguire sugli appoggi tipo "Cernoflon"

Rilievo geometrico
Rilievo geometrico finalizzato alla restituzione delle dimensioni in pianta e dello spessore del dispositivo.

20.2.5 Dispositivi di appoggio in PTFE

Di seguito si riportano le indicazioni relative alle prove da eseguire sui dispositivi di appoggio in PTFE.

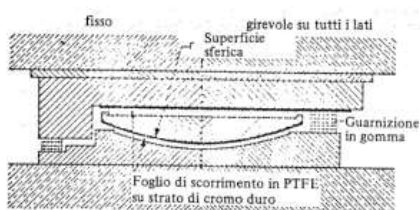


Figura 20-11: Appoggi in PTFE

Tabella 20-5: Prove e indagini da eseguire sugli appoggi in PTFE

Rilievo geometrico
Rilievo geometrico finalizzato alla restituzione delle dimensioni in pianta e dello spessore del dispositivo

20.3 Indagini sui baggioli in cls

Le prove potranno essere condotte convenientemente per i baggioli posti in corrispondenza dei dispositivi di appoggio per i quali sia stata già prevista l'indagine. Oltre alle dimensioni dei baggioli (v. Figura 20-12), si richiede di misurare la distanza relativa tra i baggioli sia in direzione longitudinale che in direzione trasversale.

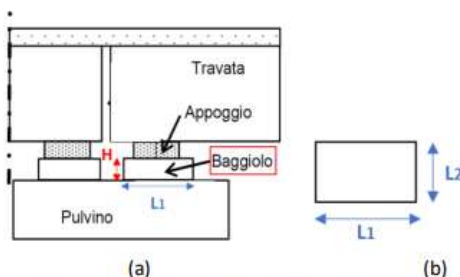


Figura 20-12- Baggioli: a) vista frontale; b) vista in pianta

La numerosità degli elementi da indagare è pari ad 1 baggiolo per ciascun impalcato affine, nel caso di baggioli aventi similari caratteristiche geometriche. Nel caso di baggioli con marcate differenze, tipicamente in altezza per impalcati in curva, si valuterà caso per caso, selezionando in via preferenziale gli elementi aventi altezza maggiore.

Le indagini da effettuare sul baggiolo selezionato sono indicate nelle tabelle seguenti. Nella scelta delle indagini si deve sempre tener conto delle dimensioni geometriche della porzione di baggiolo sulla quale si prescrivono le indagini.

Tabella 20-6: Prove e indagini da eseguire sui baggioli

Rilievo geometrico	Dettagli costruttivi
Rilievo geometrico finalizzato alla restituzione delle dimensioni geometriche ($H \times L_1 \times L_2$) riportate in Figura 20-12	Prove pacometriche
Prove sui materiali per caratterizzazione meccanica	
Calcestruzzo	Acciaio
<p>Indagini sclerometriche per ogni baggiolo da indagare.</p> <p><i>Qualora il progettista lo ritenga necessario:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - n.3 SonReb per ogni baggiolo da indagare, se possibile eseguirle in zone distanti dall'armatura di rinforzo. - solo in presenza di calcestruzzo di buona qualità e in assenza di ammaloramenti, è possibile eseguire prove di pull-out sull'estradosso del baggiolo, al fine di aumentare l'accuratezza nella stima della resistenza del materiale. 	Assumere le caratteristiche delle armature delle sottostrutture

Nel caso di baggioli già oggetto di ripristino, si deve indagare lo stato di conservazione del ripristino e, qualora esso risulti in procinto di distacco e tale difetto non è già riportato nella scheda di sorveglianza, si deve darne comunicazione alla Direzione di Tronco ed al RUP.

Restituzione dei rilievi

Si richiede all'ESECUTORE una chiara rappresentazione delle zone indagate in pianta, come riportato di seguito, e di tutte le misure richieste in precedenza riportandole su un elemento tipo (es. desunto da as-built), il tutto corredato da documentazione fotografica.

Nel caso di appoggi mobili è richiesta l'indicazione della corsa (corredata dalla temperatura dell'aria), evidenziando quelli che sono caratterizzati dai maggiori spostamenti.

Per gli apparecchi di appoggio più recenti è possibile riportare, oltre alla foto della targhetta, anche la foto del righello della corsa, con la direzione. Per gli apparecchi di appoggio più datati (es. neoprene o rullo/pendolo) si può essere richiesta la misurazione dell'eventuale fuori asse o perdita di verticalità misurandoli con una livella a bolla.

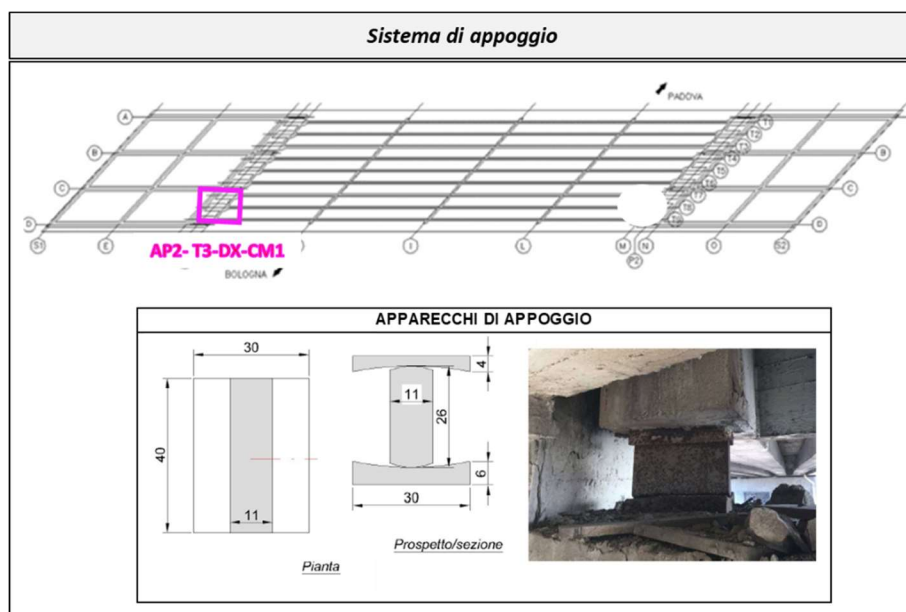


Figura 6 – Esempio di restituzione- Apparecchi di appoggio

2.2 Rilievo a campione

Il **rilievo a campione** dovrà essere eseguito nel caso in cui la geometria della struttura e dei successivi interventi sia nota dai disegni originali, per verificarne l'effettiva corrispondenza del costruito. Si richiede il rilievo in campo di elementi strutturali significativi (ad esempio, la sezione trasversale e la lunghezza complessiva di uno degli impalcati costituenti l'opera, la sezione trasversale e l'altezza di una pila verificandone la verticalità...). Tali elementi saranno esplicitamente indicati nel PIN.

Si precisa che oggetto di rilievo geometrico potrebbero essere anche eventuali rinforzi degli elementi strutturali (es. incamiciature di calcestruzzo, beton-plaqué, fibre...) o porzioni di elementi strutturali risanati con materiali diversi da quelli di progetto (es. risanamento del copriferro mediante malte fibrorinforzate...): i dati da rilevare saranno indicati nel PIN (es. sezione trasversale e la lunghezza complessiva, posizione del rinforzo rispetto un punto noto, distribuzione in pianta dell'intervento...). Nel caso fossero richiesti approfondimenti anche in merito alle armature, si faccia riferimento ai paragrafi successivi della presente Istruzione, in base al tipo di materiale. Quando la presenza di rinforzi, ripristini o risanamenti non è nota, l'ESECUTORE dovrà tempestivamente avvisare il COMMITTENTE.

Il rilievo a campione degli elementi indicati nel PIN sarà svolto con le modalità indicate al §2.1.3 "Rilievo dei singoli componenti", in base all'elemento da rilevare, e dovrà contenere tutte le informazioni di dettaglio ivi richieste.

2.3 Rilievo di elementi non strutturali

La presente procedura ha come oggetto la definizione delle modalità di esecuzione delle indagini tese alla conoscenza di elementi non strutturali e di arredo stradale (e.g. dispositivi di sicurezza e/o antirumore, pacchetto della pavimentazione stradale).

2.3.1 Stratigrafia del pacchetto della pavimentazione stradale

La conoscenza delle caratteristiche del pacchetto della pavimentazione stradale potrà essere raggiunta mediante:

1. l'esecuzione di saggi diretti;
2. l'esecuzione di fori con trapano;
3. il prelievo di carote;
4. l'indagine GPR.

Lo svolgimento di saggi o di prelievo di carote, solitamente, è finalizzato all'esecuzione anche di altre prove (ad esempio il rilievo dei dettagli costruttivi di estradosso soletta o la valutazione del peso specifico della pavimentazione).

Di seguito si riportano le modalità di esecuzione e la presentazione dei risultati richiesta.

Tutte le operazioni dovranno essere effettuate nel rispetto del codice stradale, delimitando la zona di esecuzione dei lavori con la segnaletica prevista.

2.3.1.1 Saggi diretti ed esecuzione di fori

2.3.1.1.1 Modalità di esecuzione

L'esecuzione del saggio diretto solitamente è finalizzata al rilievo dei dettagli costruttivi di estradosso soletta (si rimanda al §4.4) e consente, contestualmente, di conoscere le caratteristiche stratigrafiche del pacchetto di pavimentazione stradale.

La finalità del saggio è indicata nel PIN.

L'esecuzione del saggio avviene secondo la seguente procedura:

- a) Taglio della pavimentazione mediante troncatrice a disco su una superficie di 50x50 cm (se si vogliono conoscere solo le caratteristiche della pavimentazione) e di almeno 100 x 100 cm (se la finalità del saggio è indagare i dettagli costruttivi della soletta);
- b) rimozione della pavimentazione nella zona delimitata dal taglio, mediante martello demolitore elettrico, fino ad arrivare alla superficie di estradosso della soletta; nel caso in cui sia presente materiali impermeabilizzante per la piattaforma stradale, è necessario lasciare un lembo di 5 cm per lato oltre il taglio, al fine di consentire il ripristino per la sovrapposizione della guaina;
- c) misura dello spessore della pavimentazione e documentazione fotografica.
Nel caso in cui si dovessero indagare anche i dettagli costruttivi della soletta, si proseguirà come indicato al §4.4, concludendo in ogni caso il saggio come al punto successivo.
- d) richiusura del saggio con bitume a freddo o a caldo da concordare con la Direzione di Tronco competente (a carico del COMMITTENTE).

Nel caso in cui la finalità dell'indagine è la conoscenza dello spessore della pavimentazione stradale per la definizione compiuta dei carichi permanenti, è possibile procedere mediante l'esecuzione di fori con trapano, secondo una griglia tipicamente composta da almeno n.9 punti di misura, costituiti dall'incrocio di 3 allineamenti paralleli al senso di marcia e 3 allineamenti trasversali:

- i primi 3 allineamenti sono posti rispettivamente n.1 in asse all'opera e n.2 in prossimità degli sbalzi;
- i rimanenti 3 allineamenti sono posti n.2 ai quarti dell'impalcato e n.1 nella mezzzeria.

Eventuali ulteriori punti o modifiche alla griglia potranno essere indicati nel PIN (ad. Esempio in corrispondenza dei giunti).

L'indagine consiste nella esecuzione di fori nei nodi (incrocio tra le due direttrici ortogonali) fino ad intercettare l'estradosso della soletta, percepito tramite la variazione di resistenza alla penetrazione della punta e dal rumore metallico del percussore. La quantità di pavimentazione si stima misurando la lunghezza di punta emergente rispetto alla lunghezza totale della stessa.

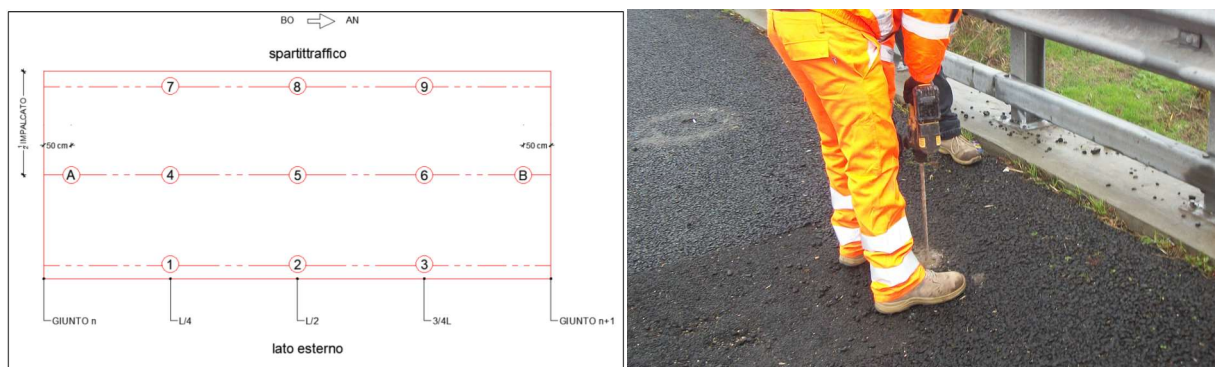


Figura 7 – Esempio di esecuzione di fori su asfalto (griglia ed esecuzione)

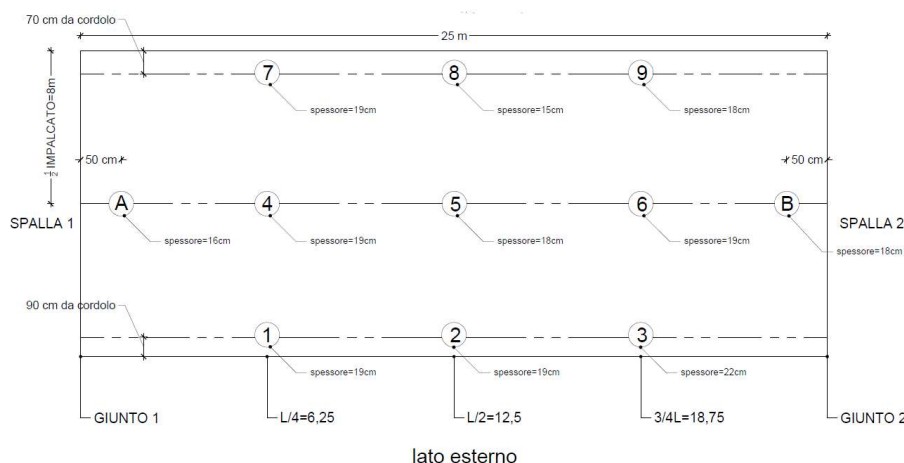
Il saggio diretto consente la misura puntuale dello spessore della pavimentazione, mentre i fori ne consentono una mappatura diffusa sull'impalcato (e rapida). È possibile combinare entrambi i metodi e ciò consente di estendere la conoscenza del pacchetto di pavimentazione sull'intero impalcato (stratigrafia locale e spessore in diversi punti).

2.3.1.1.2 Presentazione dei risultati

La relazione tecnica restituita dall'ESECUTORE dovrà contenere:

- Descrizione e identificazione della tasca eseguita o della griglia di punti, con localizzazione rispetto un punto noto (es. giunto o filo cordolo);
- Sezione della pavimentazione con indicazione dello spessore misurato;
- Documentazione fotografica.

Un esempio di presentazione dei risultati richiesta è riportato di seguito.



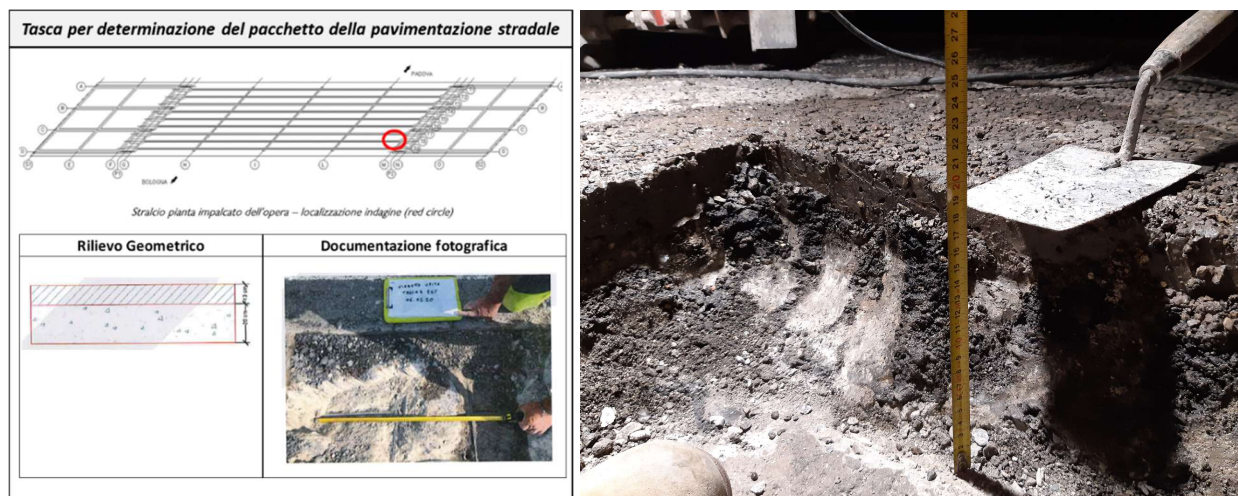


Figura 8 – Esempio di restituzione- Determinazione spessore pavimentazione stradale (saggio diretto e fori)

2.3.1.2 Prelievo di carote di conglomerato bituminoso

Il prelievo di carote di conglomerato bituminoso consente sia di valutare la stratigrafia della pavimentazione con i singoli spessori costituenti (es. massetti, strati differenti di bitume come usura, drenante, binder...) sia lo spessore complessivo. Può essere considerato un'alternativa al saggio diretto, qualora la finalità sia soltanto conoscere la composizione del pacchetto stradale, in quanto meno invasivo e più rapido.

Altresì consente di valutare la massa volumica complessiva del pacchetto stradale mediante successiva prova di laboratorio eseguita ai sensi della UNI EN 12697-6:2020 e UNI EN 12697-8:2020, oppure dei singoli strati. Per la determinazione dello spessore di una stesa di conglomerato bituminoso è possibile fare riferimento alle indicazioni contenute nella UNI EN 12697-36.

Le finalità dell'indagine e la posizione sono indicate nel PIN.

Nel caso di ponti ad arco, potrebbe essere richiesta la determinazione della massa volumica del riempimento: in tal caso particolare, le modalità verranno concordate con il COMMITTENTE e specificate nel PIN.

2.3.1.2.1 Presentazione dei risultati

La relazione tecnica restituita dall'ESECUTORE dovrà contenere:

- Identificazione della sezione in cui è stato eseguito il prelievo (posizione in planimetria);
- Spessore del pacchetto della pavimentazione stradale, espresso in mm;
- Stratigrafia del pacchetto stradale;
- Dimensioni del provino;
- Massa volumica del provino;
- Documentazione fotografica.

Carota	Ubicazione	Lato	Lungh. Tot. Carota (mm)	Spessori (mm)			Massa vol. (kg/m³)
				Drenante	Base-Binder	Cappa Asfaltica	
CB1	CARREGGIATA SUD CORSIA DI SORPASSO	FERRARA	180,0	52,0	118,0	10,0*	2360
CB2	CARREGGIATA SUD CORSIA DI SORPASSO	BOLOGNA	185,0	50,0	128,0	7,0*	2371
CB3	CARREGGIATA SUD CORSIA D'EMERGENZA	FERRARA	180,0	53,0	120,0	-	2413
CB4	CARREGGIATA SUD CORSIA D'EMERGENZA	BOLOGNA	220,0	51,0	153,0	-	2478

SIGLA PROVA	SPESSORE PAVIMENTAZIONE mm	STRUTTURA DI PRELIEVO	dimensioni carota					massa volumica carota
			Ø	h	superficie	volume	peso	
			mm	mm	mm²	cm³	g	Kg/m³
1	350	SOLETTA SPALLA PISA	94	300,0	6940	2082	4469	2.146,56
2	350	L/4 ARCO LATO PISA	94	310,0	6940	2151	4610	2.142,86
3	300	MEZZERIA ARCO	94	260,0	6940	1804	3740	2.072,78
4	350	L/4 ARCO LATO FIRENZE	94	290,0	6940	2013	4317	2.145,06



Figura 9 – Esempio di restituzione – Prelievo di carota da pavimentazione stradale

2.3.1.3 Indagine Georadar

2.3.1.3.1 Strumentazione e attrezzatura

In commercio esistono diverse strumentazioni georadar da impiegare la cui tipologia è connessa alla finalità e alla rapidità di esecuzione dell'indagine:

- Per rilievi riguardanti l'intera lunghezza dell'opera o più campate, è preferibile impiegare un georadar multicanale con antenne polarizzate, a frequenza indicativamente di 900 Mhz. Sono solitamente dotati di carrello manuale o di gancio per traino con veicolo.
- Per rilievi limitati (lunghezza massima di 10 m), è possibile usare georadar con singola antenna ad alta frequenza (tipici per uso strutturale), che fornisce anche un alto grado di dettaglio.



Figura 10 –Determinazione spessore pavimentazione stradale da piattaforma stradale con georadar multicanale

2.3.1.3.2 Modalità di esecuzione

La misura dello spessore della pavimentazione stradale, oltre ai metodi indicati in precedenza, può avvenire anche mediante tecniche non distruttive, quali ad esempio l'indagine georadar. In base alle condizioni del materiale, da valutare caso per caso, potrebbe essere possibile anche discriminare la stratigrafia. È possibile eseguire rilievi estesi, con antenne a basse frequenze multicanale, e rilievi puntuali, con antenne ad alta frequenza anche singolo canale.

Prima dell'inizio della prova è necessario calibrare i parametri di acquisizione: si procede con fori o con carotaggi (§2.3.1 e §2.1.2) appositamente eseguiti, e in un numero limitato, oppure, come spesso accade, la prova viene eseguita in concomitanza a questi, sia per calibrarne i parametri, sia per "estenderne" i risultati puntuali forniti. In ogni caso, le finalità sono indicate nel PIN.

In generale, nel caso di rilievi puntuali si procederà disponendo una griglia di rilevazione composta da due direzioni ortogonali, una nella direzione dell'opera, l'altra ortogonale. Il passo tra le direttrici è circa 1,00 m (in ogni caso da valutare in sito). Questo tipo di rilievi possono anche avvenire in occasione di indagini per i dettagli costruttivi della soletta da estradosso (fare riferimento al §4.4).

Nel caso di rilievi estesi (riguardanti più campate o l'intera lunghezza dell'opera) si procederà principalmente con scansioni lineari nella direzione dell'opera, in generale su tre allineamenti (uno in mezzzeria impalcato e due in corrispondenza dei due sbalzi).

È possibile impiegare la stessa strumentazione in entrambi i casi, a richiesta dell'ESECUTORE e di concerto con il COMMITTENTE, sulla base del livello di dettaglio richiesto.

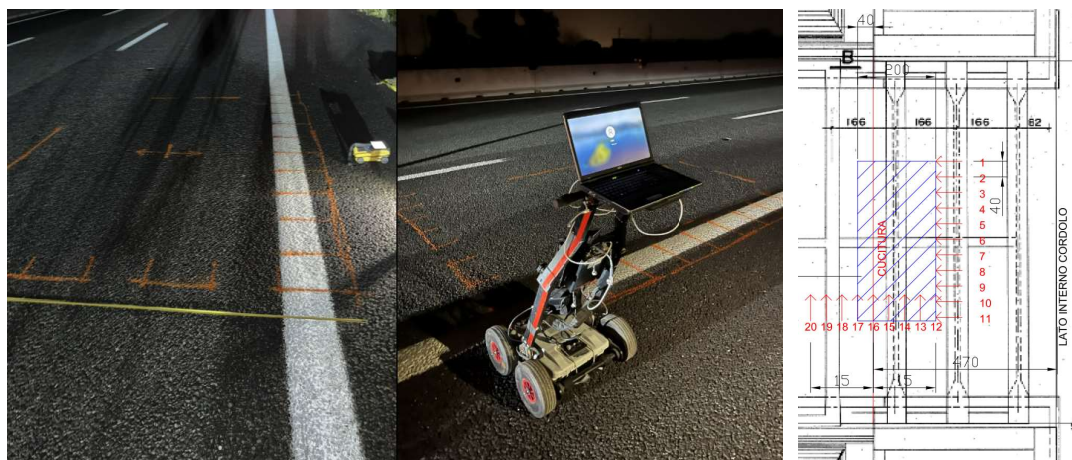


Figura 11 –Determinazione spessore pavimentazione con georadar multicanale – griglia di acquisizione

2.3.1.3.3 Presentazione dei risultati

La relazione tecnica restituita dall'ESECUTORE dovrà contenere:

- Griglia di acquisizione quotata rispetto un punto noto (es. giunto e cordolo), per scansioni puntuali (vedere immagine precedente);
- Distanza trasversale da un punto noto (es. cordolo), per scansioni lineari;
- Radargramma relativo ad ogni direttrice (direzione di acquisizione), in cui sono riportate le tracce acquisite dallo strumento, che consentono di individuare le singole interfacce nel passaggio da uno strato al successivo e il relativo spessore; in alternativa indicazione dell'intero spessore;
- tabulato con indicazione degli spessori degli strati che costituiscono la sovrastruttura e relativa composizione, in corrispondenza dei punti di battuta del FWD;
- Posizione del punto di calibrazione (foro, carotaggio...) e spessore noto misurato.

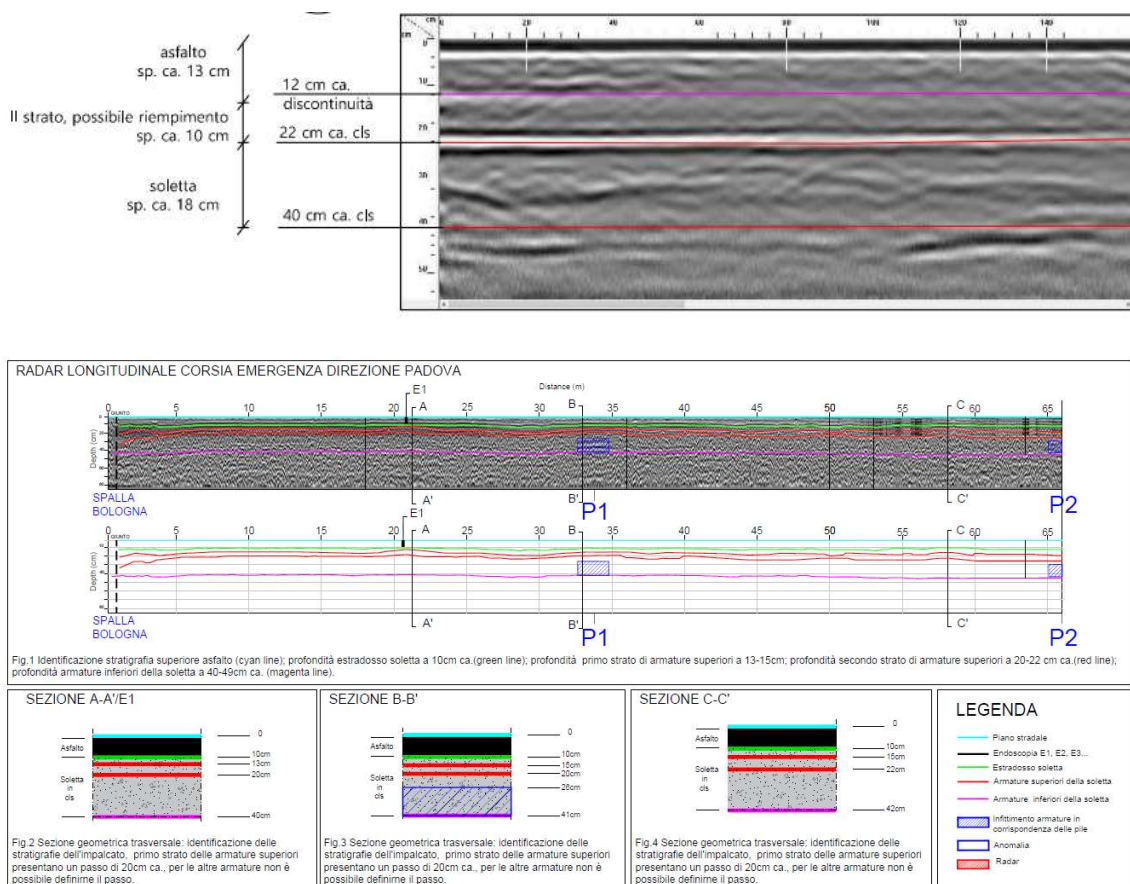


Figura 12 – Esempio di restituzione – tecnica georadar per la rilevazione dello spessore della pavimentazione

2.3.2 Sistemi di ritenuta stradale

Il rilievo geometrico è rivolto a tutti i sistemi di ritenuti installati sulla piattaforma stradale (e.g. *guard-rail* metallici, new jersey, barriere integrate di sicurezza ed antirumore)

La classificazione sarà eseguita sulla base del presente documento e in base alla zona che necessitano proteggere:

- Barriere centrali di spartitraffico;
- Barriere per opere d'arte (ponti, viadotti, cavalcavia, sottovia e muri);
- Barriere di bordo laterale.

E a seconda del materiale da cui sono costituite:

- Calcestruzzo;
- Acciaio;
- Legno (con anima in acciaio).

Per la configurazione più tradizionale delle barriere metalliche si richiede il rilievo delle dimensioni (sezione trasversale retta e lunghezza/altezza/larghezza per ogni elemento, diametro e tipologia per viti e bulloni e rondelle di collegamento) dei seguenti componenti:

- se nota, indicazione della tipologia di barriera e del produttore (es. H4...);
- montanti, con particolare riferimento all'altezza: infissi su terra o vincolati con bulloni al supporto;
- nastro/i: generalmente costituito/i da una o più lamiere sagomate a doppia o tripla onda;
- correnti longitudinali: elementi disposti parallelamente al nastro, inferiori (pararuota) o superiori (in corrispondenza delle opere d'arte);
- distanziatori: se presenti, posti tra i nastri e i montanti e con funzione di dissipare l'energia di urti leggeri e garantire l'effetto di risalita del nastro durante l'urto al fine di impedire lo scavalco della barriera;
- diagonali di controvento, se presenti;
- bulloneria di collegamento e vincolo;
- supporti per l'ancoraggio o per l'infissione dei montanti.

Per la configurazione più tradizionale degli elementi di ritenuta new jersey si richiede il rilievo delle dimensioni dei seguenti elementi strutturali:

- corpo in cls (sezione retta trasversale e lunghezza);
- ancoraggi (piastra, dimensioni e sezione, e tirafondi, diametro e tipologia);
- mancorrente superiore e manicotti.

2.3.2.1 Presentazione dei risultati

L'ESECUTORE dovrà produrre una scheda contenente:

- informazioni sulla tipologia della barriera in termini di classe (H1, H2...) oppure, laddove non fosse deducibile la classe, il rilievo completo dei componenti strutturali indicati precedentemente (da riportare poi in sezione e con ubicazione in planimetria); è possibile riassumere il rilievo mediante una tabella, come sintesi dell'elaborato di dettaglio;
- fornire la posizione di installazione (spartitraffico, bordo laterale...) e materiale costituente;
- indicare la presenza del dispositivo salva motociclisti;
- lunghezza del tratto;
- la presenza di eventuali pezzi speciali da considerare a parte;
- eventuali note relative al tratto in questione (es. anomalie o difetti);
- documentazione fotografica.

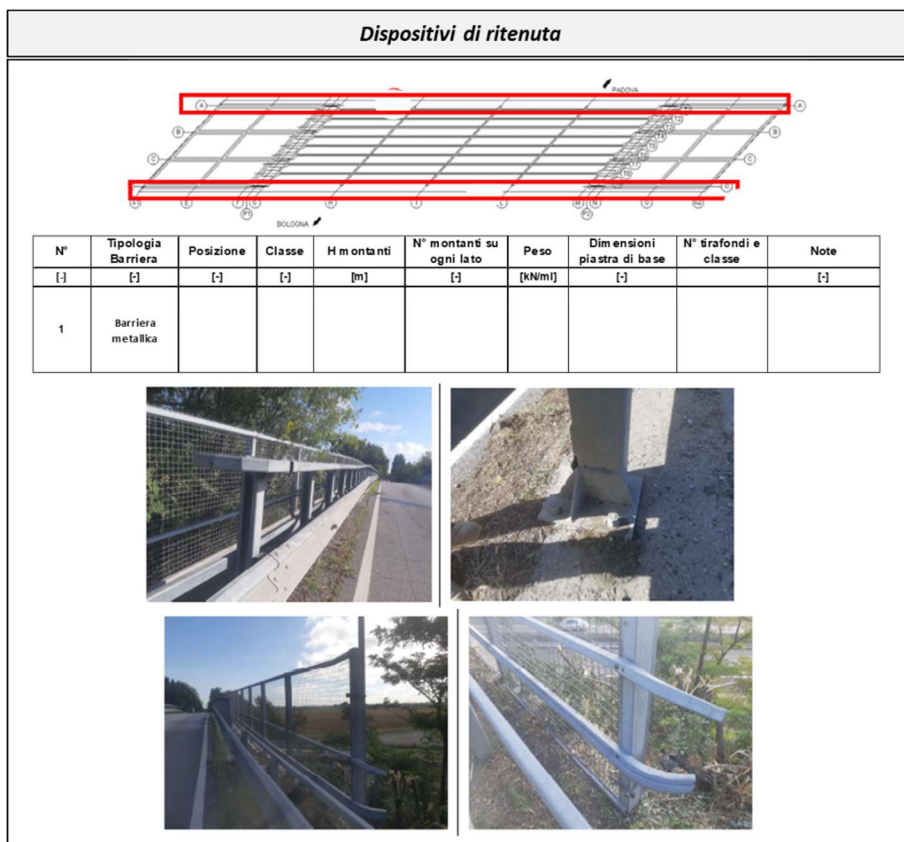


Figura 13 – Esempio di restituzione- Rilievo geometrico sistemi di ritenuta stradale

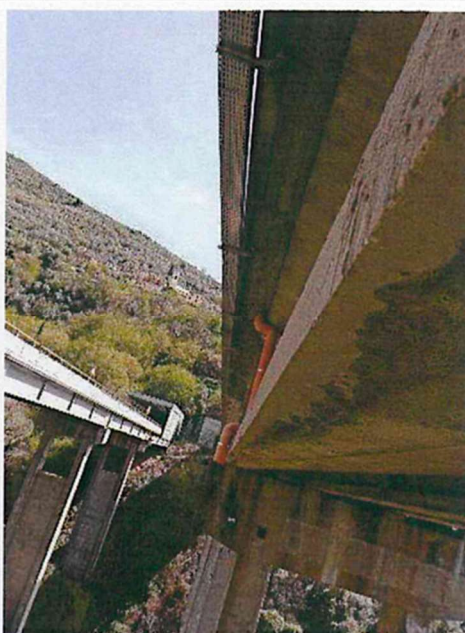
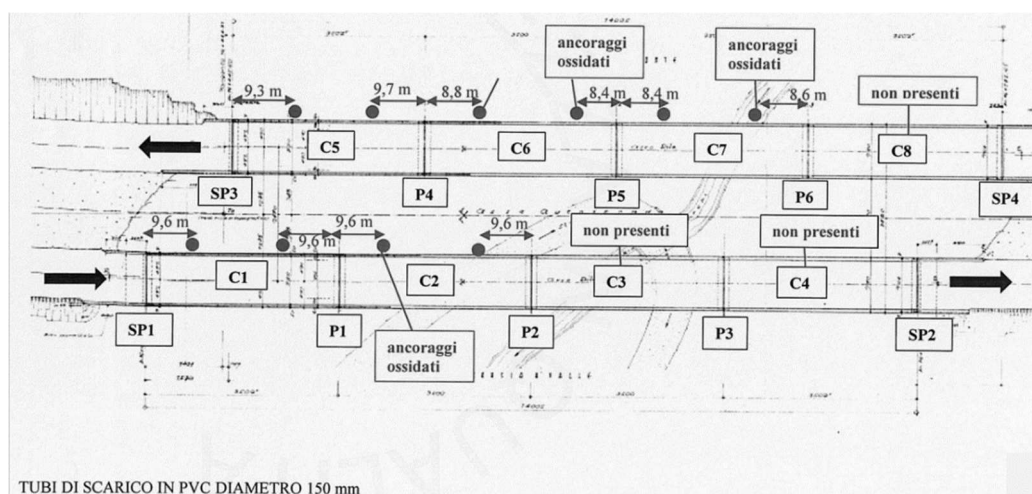
2.3.3 Sistema di smaltimento delle acque

Il rilievo del sistema di smaltimento delle acque dovrà essere condotto nei confronti delle canalette, delle scossaline e dei pluviali di scolo, con cui è garantito l'allontanamento dell'acqua piovana dalla piattaforma stradale.

È richiesta l'ubicazione su pianta dei tubi di scolo in corrispondenza degli sbalzi di implacato e la segnalazione di eventuali rotture e/o malfunzionamento degli stessi, anche mediante documentazione fotografica.

2.3.3.1 Presentazione dei risultati

Un esempio di presentazione del rilievo è riportato di seguito.



Immagini sistema di smaltimento delle acque

Figura 14 – Esempio di restituzione- Sistema di smaltimento dell'acqua dalla piattaforma stradale

3 Rilievo dello stato di conservazione

3.1 Oggetto

Nel presente paragrafo sono illustrate le modalità operative per l'esecuzione del rilievo e della quantificazione del degrado sugli elementi strutturali di ponti, viadotti e cavalcavia e della relativa restituzione, oggetto di verifica di sicurezza accurata (VAL4) e/o di sviluppo di progetti.

Di seguito si troveranno istruzioni di dettaglio su come rilevare un difetto, in base al tipo di materiale costituente l'opera, e come restituire i dati di misura raccogliendo, nel modo più esaustivo possibile, tutte le informazioni utili per poter ricostruire la sezione ammalorata da tenere in conto nelle verifiche.

L'espressione rilievo del degrado racchiude tutte le attività volte a quantificare lo stato di alterazione di un componente del manufatto e a definirne l'esatta estensione ed ubicazione sull'opera. Parimenti all'esecuzione di indagini conoscitive, è un'attività preliminare alle verifiche di sicurezza, tesa al raggiungimento di un'accurata conoscenza dell'opera; in tal senso non deve essere intesa come una semplice misurazione eseguita sull'opera, ma una lettura oggettiva dello stato di conservazione del manufatto.

Dalla presente specifica, sono esclusi i rilievi del degrado legati al funzionamento degli apparecchi di appoggio, che potrà avvenire mediante l'eventuale coinvolgimento di un giudizio esperto specialistico (esempio: produttori di appoggi), i rilievi di alcuni difetti sulle fondazioni e il rilievo dei difetti occulti; questi ultimi, essendo legati principalmente al sistema di precompressione, verranno trattati principalmente durante lo svolgimento delle indagini speciali sulla base di apposito PIN. Le indagini speciali, modalità di esecuzione e restituzione, sono trattati al §7 della presente specifica.

L'elenco dei difetti riportato di seguito è quello in accordo all'Allegato C delle LG2022 e viene integrato con integrato con alcune tipologie dedotte dal Catalogo Difetti ASPI, idonee a rappresentare compiutamente quanto riscontrato sulle opere lungo la rete autostradale di competenza, diversamente non rilevabili con le sole Schede di cui all'Allegato C delle linee guida stesse.

Dall'integrazione apportata alle Schede di cui all'Allegato C delle LG2022, il numero totale delle tipologie di difetti rilevabili sulle opere della rete è pari a n.133: ogni difetto è caratterizzato da parametri G, k1 e k2 (con particolare riferimento al peso G che individua la gravità dello stesso e quindi il possibile effetto sulla struttura) e sono molto differenti tra loro quindi non tutti risultano significativi alla stessa maniera.

Salvo ulteriori precisazioni di volta in volta condivise tra COMMITTENTE ed ESECUTORE, ai fini della quantificazione del degrado, sono stati identificati n.74 difetti significativi e n. 59 non significativi.

3.2 Modalità di esecuzione del rilievo

Il rilievo dei difetti deve essere rivolto a tutti gli elementi interessati da degrado indicati nel PIN, in una tavola apposita dove saranno indicati e ubicati tramite ID tutti i difetti che il PRG ha ritenuto significativi ai fini delle verifiche (VAL4, progetti...) e desunti dalla più recente scheda di ispezione dell'Ente Sorvegliante. Tale scheda sarà parte integrante del PIN.

L'ESECUTORE è tenuto a conoscere e avere in campo il PIN, eventuali allegati e le schede ispettive di sorveglianza consegnate.

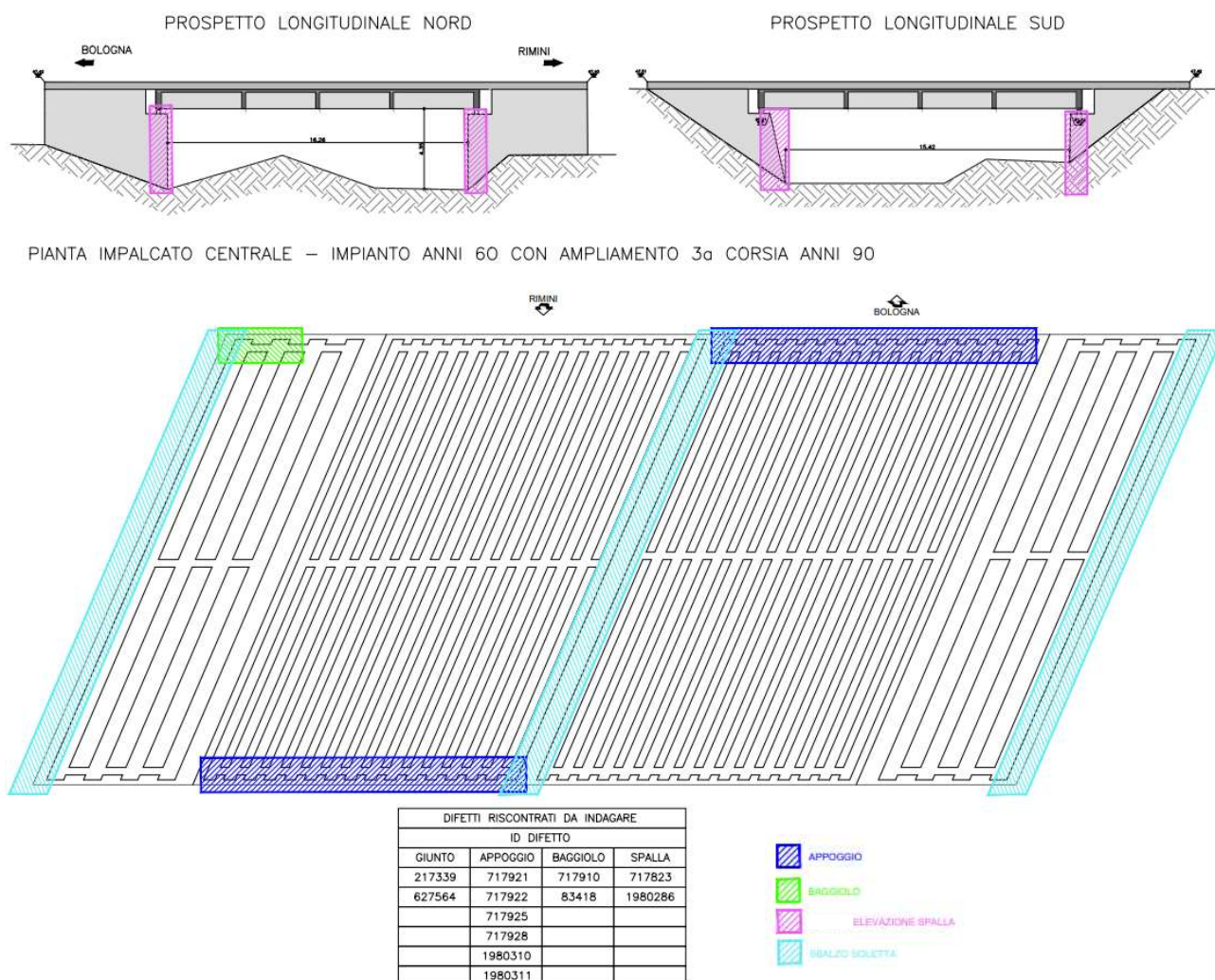


Figura 15 – Esempio di planimetria difetti da rilevare con relativo ID come da scheda ispezione

L'ESECUTORE dovrà quindi seguire un procedimento logico finalizzato a fornire l'esatta fotografia del difetto raccogliendo le informazioni in modo quantitativo, sistematico, ripetibile ed esaustivo: l'obiettivo del rilievo del degrado è quindi quello di raccogliere tutti i dati possibili e in maniera esaustiva in modo da poter consentire al PRG di ricostruire la sezione ammalorata dell'elemento ed eseguire le relative verifiche di sicurezza.

Il rilievo dello stato di conservazione deve fornire la diagnosi sullo stato di alterazione e degrado mediante tecniche manuali e strumentali, conservando l'integrità degli elementi indagati. In casi specifici, legati ad esempio alla presenza di ripristini, reti di protezione, calcestruzzo distaccato e/o risonante, potranno essere richiesti approfondimenti e/o indagini avanzate e/o specifici disaggi e/o saggi visivi, da concordare con COMMITTENTE nello specifico.

In sintesi, dopo aver riconosciuto il difetto da rilevare in base all'ID difetto riportato nel PIN e nella scheda di ispezione, l'ESECUTORE procede al suo rilievo con lo scopo di:

- Ubicare univocamente il difetto sull'elemento dell'opera;
- Quantificare l'ammaloramento in tutti i suoi aspetti (es. estensione, misure, diametri, rapporti tra le aree) in modo da fornire al PRG una "fotografia" dello stato di fatto.

Le modalità operative e la presentazione dei risultati saranno esplicitate nei paragrafi successivi.

Si precisa che, qualora l'ESECUTORE intercetti difetti significativi non segnalati dal PIN e/o dalle schede di ispezione, dovrà farne immediata segnalazione al COMMITTENTE per la valutazione di eventuali approfondimenti del difetto e/o integrazioni e/o indagini avanzate.

L'elenco dei difetti (n.74) tipicamente ritenuti significativi e da rilevare, di cui all'allegato C delle LG2022 e catalogo ASPI, sono:

	DIFETTO	ID DIFETTO ASPI/LG2022		DIFETTO	ID DIFETTO ASPI/LG2022
ACCIAIO	Difetti di saldatura	Acc_1	CA / CAP	Calcestruzzo dilavato/ammalorato testate	c.a.\c.a.p._21
ACCIAIO	Rottura di saldature	Acc_2	CA / CAP	Lesioni distacco travi/traversi	c.a.\c.a.p._22
ACCIAIO	Difetti di chiodatura	Acc_4	CA / CAP	Rottura staffe	c.a.\c.a.p._23
ACCIAIO	Bulloni allentati	Acc_5	CA / CAP	Lesioni attacco trave soletta	c.a.\c.a.p._24
ACCIAIO	Bulloni tranciati	Acc_6	CA / CAP	Staffe scoperte/ossidate	c.a.\c.a.p._16
ACCIAIO	Deformazione anime / piattabande	Acc_7	CA / CAP	Fessure longitudinali	c.a.\c.a.p._18
ACCIAIO	Deformazione pareti travi scatolari	Acc_8	CA / CAP	Distacco del timpano	c.a.\c.a.p._20
ACCIAIO	Lesioni ai nodi	Acc_9	CAP	Testate di ancoraggio non sigillate	c.a.p._2
ACCIAIO	Corrosione	Acc_10	CAP	Distacco tamponi testate	c.a.p._3
ACCIAIO	Ossidazione	Acc_11	CAP	Lesioni su anima lungo i cavi	c.a.p._4
APPOGGI	Fuori sede rulli metallici	App_13	CAP	Lesioni lungo suola del bulbo	c.a.p._5
APPOGGI	Piastra di base deformata	App_1	CAP	Guaine in vista	c.a.p._6
APPOGGI	Preregolazione Sbagliata	App_4	CAP	Umidità dall'interno	c.a.p._10
APPOGGI	Deformazione orizzontale eccessiva neoprene	App_8	CAP	Guaine degradate e fili ossidati	c.a.p._7
APPOGGI	Ammaloramento pendoli in C.A.	App_10	CAP	Fili aderenti in vista ossidati	c.a.p._8
APPOGGI	Ovalizzazione rulli metallici	App_12	CAP	Riduzione armatura di precompressione	c.a.p._9
APPOGGI	Fuori piombo permanente pendoli	App_11	CAP	Armatura scoperta/ossidata testate	c.a.p._11
ASPI	Fibre di carbonio non aderenti	ASPI_114	CAP	Fuoriuscita barre ancoraggio	c.a.p._12
ASPI	Fibre di carbonio tranciate	ASPI_115	DIFETTIGENERICI	Danni da urto	Dif.Gen_3
ASPI	precompressione esterna non efficace	ASPI_116	DIFETTIGENERICI	Lesioni caratteristiche in zona appoggio	Dif.Gen_4
ASPI	tranciamento pali	Aspi_045	DIFETTIGENERICI	Ristagni d'acqua nei cassoni	Dif.Gen_5
ASPI	riduzione della superficie di appoggio	Aspi_127	DIFETTIGENERICI	Fuori piombo	Dif.Gen_6
ASPI	presenza di acqua nelle strutture cave	Aspi_131	FONDAZIONI	Scalzamento	Ril\Fond_1-1
ASPI	guaine non intasate	Aspi_110	FONDAZIONI	Scalzamento	Ril\Fond_1-2
CA / CAP	Riprese successive deteriorate	c.a.\c.a.p._12	FONDAZIONI	Movimenti di fondazione	Ril\Fond_5
CA / CAP	Calcestruzzo dilavato/ammalorato	c.a.\c.a.p._3	LEGNO	Attacco di funghi	Legno_2
CA / CAP	Distacco del copriferro	c.a.\c.a.p._5	LEGNO	Attacco di insetti	Legno_3
CA / CAP	Armatura ossidata e/o corrosa	c.a.\c.a.p._6	LEGNO	Fessurazioni trasversali	Legno_6
CA / CAP	Fessure orizzontali	c.a.\c.a.p._8	LEGNO	Ristagni d'acqua (Trappole d'acqua)	Legno_7
CA / CAP	Fessure verticali	c.a.\c.a.p._9	LEGNO	Danni da urto	Legno_8
CA / CAP	Fessure diagonali	c.a.\c.a.p._10	LEGNO	Connessioni deteriorate	Legno_11
CA / CAP	Lesioni attacco pilastri	c.a.\c.a.p._11	MURATURA	Fessure verticali	Mur_2
CA / CAP	Lesioni da schiacciamento	c.a.\c.a.p._13	MURATURA	Fessure diagonali	Mur_3
CA / CAP	Lesioni in corrispondenza delle staffe	c.a.\c.a.p._15	MURATURA	Porzione di muratura mancante	Mur_4
CA / CAP	Armatura longitudinale deformata	c.a.\c.a.p._17	MURATURA	Fessure trasversali	Mur_5
CA / CAP	Fessure trasversali	c.a.\c.a.p._19	MURATURA	Fessure longitudinali	Mur_6
			MURATURA	Fessure orizzontali	Mur_1
			MURATURA	Distacco del timpano	Mur_7

Eventuali difettosità differenti da quelle sopra riportate verranno discusse e concordate con il COMMITTENTE.

3.3 Estensione del difetto e approccio di indagine

L'estensione del difetto, a seconda della sua natura/origine, potrà essere localizzato in una porzione definita e limitata dell'elemento strutturale o esteso su tutta la sua superficie.

La diversa estensione comporta anche un differente approccio e grado di indagine, di seguito specificato:

- Laddove il difetto sia **LOCALIZZATO**, i.e. aree ammalorate di dimensioni contenute, è possibile individuare una sezione unica e per quella sezione ottenere tutte le informazioni significative (es. copriferro mancante, diametri residui, stato di conservazione armature).
Si richiede quindi una valutazione puntuale del difetto sull'elemento (*ad esempio*: per armatura corrosa, opportunamente ripulita dall'ossido e dal calcestruzzo per l'inserimento del calibro, si dovrà indicare il diametro misurato e, possibilmente, il diametro della relativa barra integra).
È sempre richiesta anche l'ubicazione, l'estensione (lineare o areale) della sezione interessata dal degrado sull'opera.



Figura 16 – Esempio di restituzione- Identificazione e misurazione del difetto localizzato

- Laddove il difetto sia **ESTESO**, i.e. aree ammalorate di dimensioni estese, non è possibile individuare una sezione unica, ovvero ottenere le informazioni significative generalizzando l'estensione in un'unica sezione rappresentativa. Si dovrà pertanto procedere all'individuazione di opportune sezioni rappresentative del difetto; per esempio:
 - NEL CASO DI ELEVAZIONI (PILE/SPALLE/PULVINI):
Quantificazione dell'ammaloramento nelle sezioni significative (se raggiungibili, ad esempio di base e di sommità per le pile e spalle o nelle sezioni di massima sollecitazione per i pulvini, quale la parte in sbalzo).
Indicare poi se l'ammaloramento delle suddette sezioni può essere individuato anche nelle restanti porzioni dell'elemento (centro pila/spalla) ed esprimerne l'estensione (per esempio in percentuale) e l'eventuale variazione (es. più o meno intenso).



Figura 17 – Esempio di restituzione- Identificazione del difetto esteso

- NEL CASO DI IMPALCATI (TRAVI/TRAVERSI/SOLETTE/SOLETTONI):
Quantificazione dell'ammaloramento nelle sezioni significative (per esempio in mezzeria e all'appoggio per le travi, al nodo con la trave per i traversi, in mezzeria del campo per la soletta). Indicare poi se l'ammaloramento delle suddette sezioni può essere individuato anche nelle restanti porzioni dell'elemento ed esprimerne l'estensione (per esempio in percentuale) e l'eventuale variazione (es. più o meno intenso). Le sezioni individuate dovranno essere ubicate nell'elemento in maniera univoca.



Figura 18 – Esempio di restituzione- Identificazione del difetto esteso

Per tutte le sezioni oggetto di rilievo, l'ESECUTORE deve eseguire le misure di diametro delle armature corrose nella sezione ove la riduzione è massima (solitamente l'appiattimento avviene tra le due facce parallele al copriferro).

In generale, nel caso di inaccessibilità alla zona di rilievo, si richiedono foto di dettaglio dando indicazioni anche qualitative sullo stato di degrado (ad esempio, se la sezione ha subito variazioni come appiattimenti o squadrature che lasciano presupporre una riduzione di diametro oppure eseguire un confronto con altri punti di misura).

È possibile, in accordo con la COMMITTENTE, valutare tecniche differenti di rilievo come, ad esempio, la mappatura per zone o la tecnica SAPR.

3.4 Strumentazione e attrezzatura

L'attività deve essere eseguita da personale specializzato (preferibilmente un ingegnere in possesso del corso di ispettori ponti di 2° livello) per l'identificazione dei difetti e per l'uso della strumentazione richiesta per il rilievo e la quantificazione del degrado.

La scelta della strumentazione da impiegare è funzione delle specifiche esigenze legate alla tipologia e all'estensione di difetto e può includere:

- Calibro a corsoio;
- Spazzola metallica;
- Strumenti di misura lineari (metro, distanziometri);
- Mazzetta per battitura e individuazione di eventuali zone risonanti;
- Demolitore (Tipo HILTI TE 50);
- Fotocamera digitale;
- Endoscopio;
- Sistemi SAPR o Droni con sistemi LIDAR;
- Misure ultrasoniche per carpenterie metalliche;
- Eventuale strumentazione specialistica (laser scanner, fotogrammetria, termografia);
- Spessimetro a lamelle.
- Spessimetro a ultrasuoni

3.5 Modalità di rilievo dei difetti per elementi in c.a.o. e c.a.p.

L'ESECUTORE, munito di PIN con l'elaborato riguardante i difetti e la scheda d'ispezione, dovrà preliminarmente:

1. Identificare e ubicare il difetto sull'elemento con coordinate rispetto a punti noti (per esempio nodi strutturali, appoggi, intradosso...).
Indicare se possibile la presenza di percolazioni, pluviali rotti e giunti in prossimità del difetto.
2. Delimitare e circoscrivere il difetto individuato con le dimensioni dell'estensione (Base x Altezza x Profondità), prima del rilievo.
3. Battitura delle zone circostanti il difetto per individuare le zone risonanti e/o in distacco, riportandone l'estensione.
4. Rimozione delle parti in distacco individuate: l'unica operazione meccanica possibile è quella finalizzata al disgaggio/vibrazione meccanica delle parti deteriorate attraverso l'utilizzo della mazzetta, spazzola metallica e al limite di un piccolo demolitore. Rilevare nuovamente le dimensioni dell'estensione.

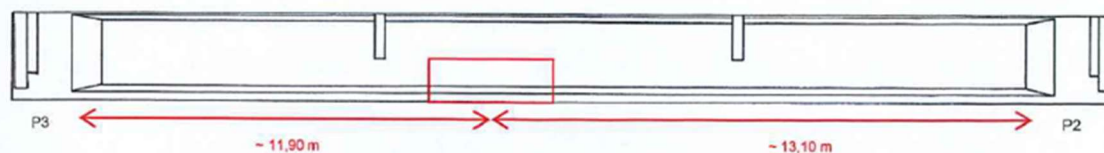
Dopo aver eseguito i punti precedenti si procederà, nelle modalità di rilievo e nella presentazione dei relativi risultati, come riportato nei punti successivi, specifici a seconda della tipologia del difetto e del tipo di elemento indagato.

3.5.1 Elementi in c.a.o.

3.5.1.1 Rilievo calcestruzzo ammalorato e armatura lenta esposta

ID DIFETTO ASPI/LG2022	MODALITA' DI RILIEVO
c.a.\c.a.p._3 c.a.\c.a.p._5 c.a.\c.a.p._6 c.a.\c.a.p._12 c.a.\c.a.p._16 c.a.\c.a.p._17 c.a.\c.a.p._20 c.a.\c.a.p._21 c.a.\c.a.p._23	<p>Misura o stima della sezione di CLS residua e/o perdita di copriferro. È importante ai fini della restituzione dei dati ricostruire la sezione ammalorata in termini di dimensioni e area di CLS.</p> <p>Descrizione della tipologia di tutti i ferri esposti (per esempio staffe anima, staffe bulbo, ferri longitudinali di intradosso o di parete, ferri di estradosso, cavallotti o sagomati).</p> <p>Descrizione dello stato di conservazione di tutti i ferri esposti (n° ferri rotti, n° ferri integri e n° ferri corrosi).</p> <p>Se possibile individuazione su tutti i ferri esposti del punto avente maggiore riduzione di sezione, quindi rimozione dell'ossido prima della misurazione con spazzola metallica. Per questa operazione potrebbe essere necessaria la battitura/vibrazione del ferro.</p> <p>Misura delle sezioni minime di tutti i ferri esposti (diametro minimo).</p> <p>Nel caso delle staffe, oltre ad individuare il n° di bracci ammalorati/integri, misurarne <u>tutti i passi</u> (non a campione e comprese le staffe rotte). La prima staffa dovrà essere posizionata rispetto un punto noto (es. appoggio).</p> <p>Nel caso di ferri longitudinali, per più ordini di armatura, misurare tutti i ferri visibili indicandone l'ordine di riferimento.</p> <p>Controllo dell'eventuale corrosione da cloruri (vaiolatura) e darne evidenza.</p> <p>Nel caso siano presenti ripristini successivi eseguire la battitura e la verifica dell'aderenza all'elemento originale.</p> <p>Opportuno report fotografico e schemi.</p>

3.5.1.1.1 Esempio restituzione rilievo:



Si riporta il rilievo schematico delle staffe:

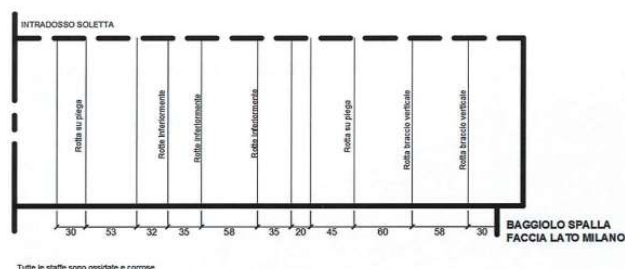


Figura 19 - Esempio di restituzione con ubicazione e ricostruzione del profilo/sezione dell'elemento

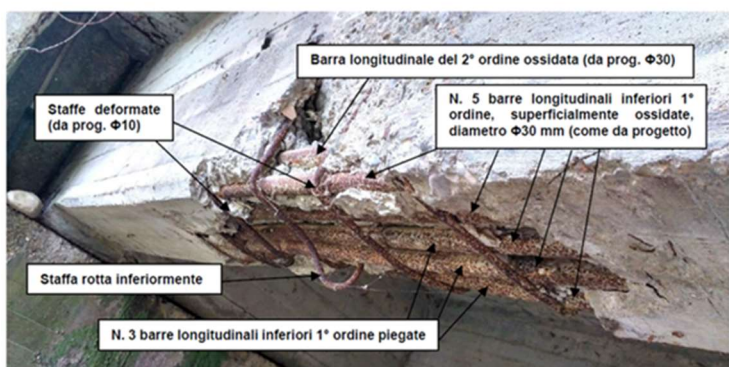
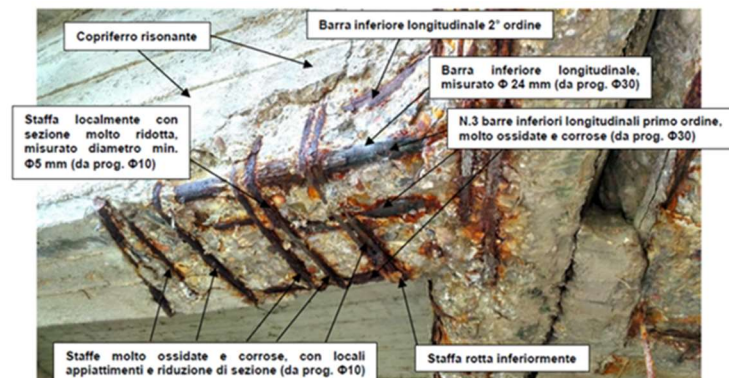


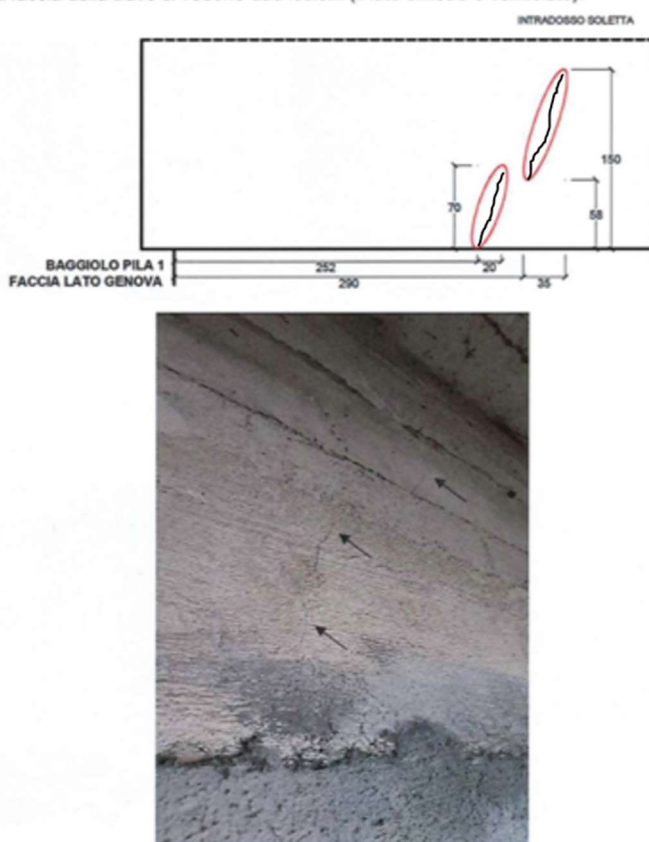
Figura 20 - Esempio di restituzione con rappresentazione delle misure indicate su foto del difetto

3.5.1.2 Rilievo lesioni/fessure

ID DIFETTO ASPI/LG2022	MODALITA' DI RILIEVO
c.a.\ c.a.p._8 c.a.\ c.a.p._9 c.a.\ c.a.p._10 c.a.\ c.a.p._11 c.a.\ c.a.p._13 c.a.\ c.a.p._15 c.a.\ c.a.p._18 c.a.\ c.a.p._19 c.a.\ c.a.p._22 c.a.\ c.a.p._24 Dif.Gen_5	<p>Ubicazione delle estremità delle lesioni/fessure rispetto a punti noti (pila, spalla, intradosso...) avendo cura di seguirle lungo tutto il loro andamento.</p> <p>Misura della larghezza massima e minima di ogni lesione/fessura individuata (attraverso strumenti come spessimetro a lamelle). E' richiesta sempre la misurazione della larghezza/apertura di tutte le lesioni individuate.</p> <p>Indicare in caso di ripristini successivi se la lesione/fessura insiste anche sulla struttura originaria.</p> <p>Controllo della presenza di armatura al di sotto della superficie dove è presente la lesione/fessura (per verifica eseguire sulla lesione una pacometria/piccolo saggio).</p> <p>Battitura della zona intorno alla lesione per determinare la presenza di CLS risonante. In caso affermativo indicare l'area risonante.</p> <p>Controllare se possibile entrambi i lati dell'elemento indagato (per capire se si tratta di lesioni passanti).</p> <p>Opportuno report fotografico e schemi.</p>

3.5.1.2.1 Esempio restituzione rilievo:

Su questa faccia della trave si vedono due lesioni (il lato sinistro è verniciato).



La lesione inferiore ha un'ampiezza che va da circa 1 mm (nella parte vicina all'intradosso) a circa 0,5.
 La lesione superiore ha un'ampiezza costante di circa 0,5 mm.

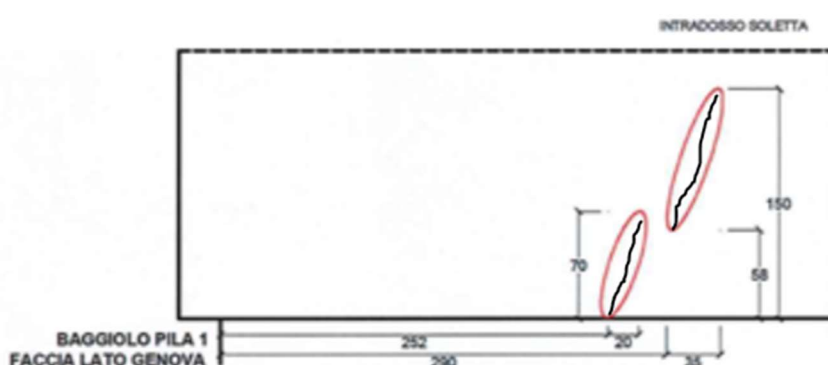


Figura 21 - Esempio di restituzione con ubicazione e ricostruzione del profilo/sezione dell'elemento

3.5.2 Elementi in c.a.p.

3.5.2.1 Rilievo testate di ancoraggio

ID DIFETTO ASPI/LG2022	MODALITA' DI RILIEVO
c.a.p._2 c.a.p._3 c.a.p._11 c.a.p._12	<p>Pulizia della superficie intorno al cuneo/piastra tramite spazzola/vibrazione.</p> <p>Riconoscimento tipologia di ancoraggio.</p> <p>Rilievo geometria e stato di conservazione del cuneo/piastra. Rilevare la posizione in sezione (rispetto a intradosso e lato trave).</p> <p>Conteggio del numero dei fili/trefoli ancorati al cuneo/piastra e relativo stato di conservazione.</p>
c.a.\c.a.p._12	<p>Rilievo stato di conservazione dell'iniezione (se visibile) e verifica corretta sigillatura della cannuccia di iniezione (se possibile eseguire tramite quest'ultima una videoendoscopia per determinare stato conservazione dei fili/trefoli all'interno della piastra di ancoraggio).</p> <p>Nel caso siano presenti ripristini successivi eseguire la battitura e la verifica dell'aderenza all'elemento originale.</p> <p>Opportuno report fotografico e schemi.</p>

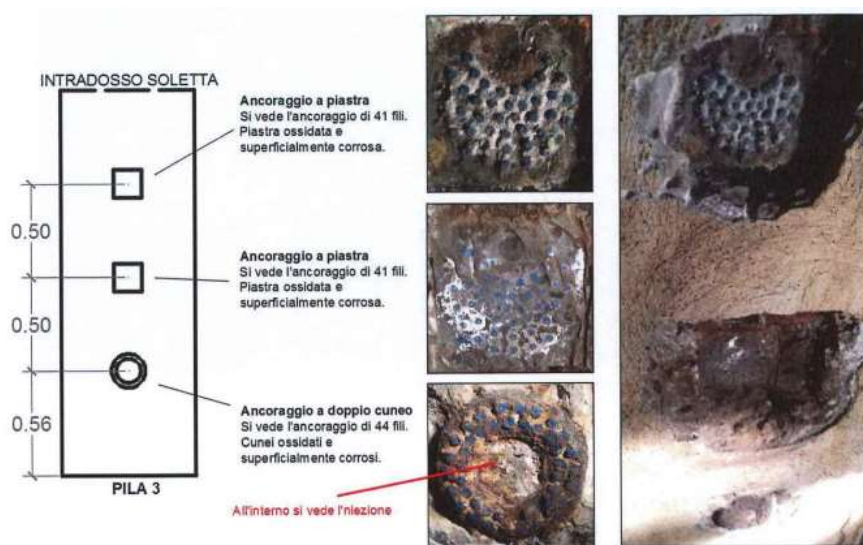
3.5.2.1.1 Esempio restituzione rilievo:

Campata 3 - Trave 1 – Testata su Pila 3

Rilievo ancoraggio cavi di precompressione tramite saggio sulla faccia della testata

Nella notte tra il 28 e il 29 agosto si sono eseguiti dei saggi sulla testata della trave in modo da scoprire ancoraggio dei cavi sulla stessa e contarne i relativi fili.

Si riporta di seguito quanto rilevato:



Complessivamente sono stati individuati n.3 ancoraggi di testata.

Figura 22 - Esempio di restituzione rilievo degrado testate

3.5.2.2 Rilievo lesioni/fessure travi c.a.p.

ID DIFETTO ASPI/LG2022	MODALITA' DI RILIEVO
c.a.p._4 c.a.p._5 c.a.\ c.a.p._8 c.a.\ c.a.p._9 c.a.\ c.a.p._10 c.a.\ c.a.p._11 c.a.\ c.a.p._13 c.a.\ c.a.p._15 c.a.\ c.a.p._18 c.a.\ c.a.p._19 c.a.\ c.a.p._22 c.a.\ c.a.p._24 Dif.Gen_5	<p>Ubicazione delle estremità delle lesioni/fessure rispetto a punti noti (pila, spalla, intradosso...) avendo cura di seguirle lungo tutto il loro andamento.</p> <p>Misura della larghezza massima e minima di ogni lesione/fessura individuata (attraverso strumenti come spessimetro a lamelle). E' richiesta sempre la misurazione della larghezza/apertura di tutte le lesioni individuate.</p> <p>Dare evidenza di eventuali efflorescenze/percolazioni dalle lesioni/fessure.</p> <p>Indicare in caso di ripristini successivi se la lesione/fessura insiste anche sulla struttura originaria.</p> <p>Controllo della presenza di armatura al di sotto della superficie dove è presente la lesione/fessura (per verifica eseguire sulla lesione una pacometria/piccolo saggio).</p> <p>Battitura della zona intorno alla lesione per determinare la presenza di CLS risonante. In caso affermativo indicare l'area risonante.</p> <p>Quando indicato dal PRG eseguire un'endoscopia/piccolo saggio in corrispondenza della lesione per capire se questa si trova effettivamente in corrispondenza di un cavo. In caso affermativo rilevare le condizioni della guaina, dei fili/trefoli e dell'iniezione secondo le modalità operative indicate nei capitoli §7.4 e §7.5.</p> <p>Controllare se possibile entrambi i lati dell'elemento indagato (per capire se si tratta di lesioni passanti).</p> <p>Opportuno report fotografico e schemi.</p>

3.5.2.2.1 Esempio restituzione rilievo:

Per quanto concerne l'elemento strutturale, a 3,16 m da inizio trasverso TR2 della campata 3D, si vede uno stato di degrado del cls molto spinto, con forte presenza di umidità. In particolare, si riconosce una lesione ad andamento parabolico in corrispondenza del cavo a tergo del cls, con conseguente essudazione di sali di colore bianco dalla stessa. All'interno del foro dell'endoscopia, si evidenzia uno stato di ossidazione della guaina e dei fili all'interno della stessa,

La lesione ha un'ampiezza costante di circa 1mm dal punto A al punto C, circa 0.5mm dal punto C al punto B

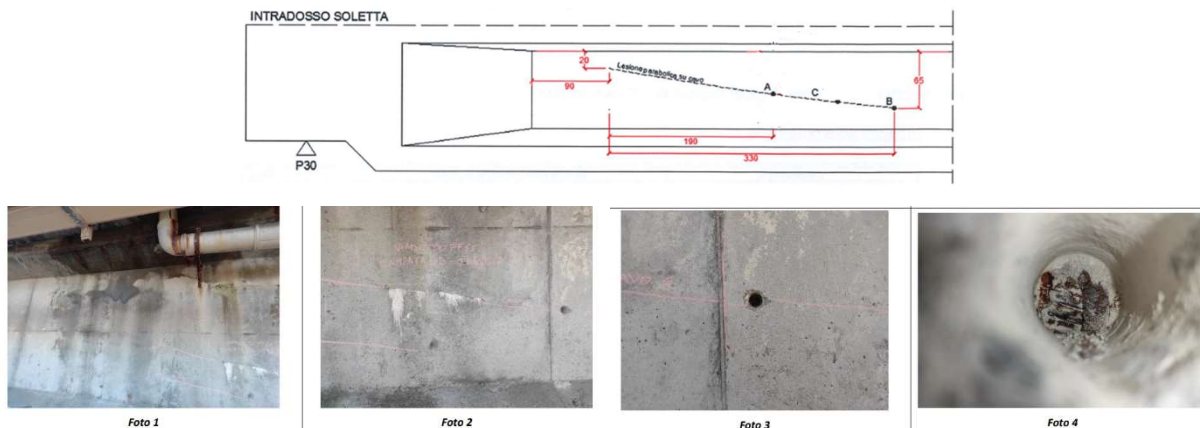


Figura 23 - Esempio di restituzione rilievo lesioni con ubicazione su foto. Esempio di approfondimento con videoendoscopia

3.5.2.3 Rilievo armatura di precompressione esposta: trefoli aderenti

Prima del rilievo dell'armatura di precompressione eseguire il rilievo relativo a rilievo calcestruzzo ammalorato e armatura lenta esposta in c.a. (§3.5.1).

ID DIFETTO ASPI/LG2022	MODALITA' DI RILIEVO	
	DIFETTO LOCALIZZATO	DIFETTO ESTESO
	Quando è possibile ricondurre tutto l'ammaloramento ad un'unica sezione rappresentativa del difetto	Quando non è possibile individuare una sezione unica rappresentativa del difetto (generalmente quando i trefoli sono a tratti scoperti e a tratti inglobati nel calcestruzzo integro)
c.a.p._8 c.a.p._9 c.a.\c.a.p._12	<p>Procedere alla misura o alla stima della sezione di CLS residua e/o perdita di copriferro. È importante ai fini della restituzione dei dati ricostruire la sezione ammalorata in termini di dimensioni e area di CLS.</p> <p>Dopo aver rimosso le parti ammalorate, procedere alla descrizione dello stato di conservazione dei trefoli visibili indicando la quantità di eventuali fili/trefoli rotti e misurando il diametro di quelli ridotti di sezione.</p> <p>In caso si riscontrassero fili rotti, indicare per ogni trefolo esposto il numero di fili rotti/ridotti lungo tutta la sua lunghezza esposta. Nel caso di trefoli a 7 fili, data la geometria dei fili avvolti, potrebbe non essere possibile quantificare esattamente le sezioni ridotte e/o conteggiare i punti di rottura, in quanto non è possibile stabilire se questi appartengono o no allo stesso filo; in questi casi se si contano più di 6 punti di rottura/sezioni ridotte tra i vari fili interrompere il conteggio annotando la circostanza. Non è possibile, infatti, determinare esattamente quanti sono i fili rotti/ridotti.</p> <p>Per la determinazione della sezione residua del trefolo, si può fare riferimento alla IO22 riportata al §1.3, della quale si richiama di seguito al §3.5.2.4.2.</p> <p>Riportare in sezione la posizione dei trefoli rispetto il bordo dell'elemento ed intradosso.</p> <p>Nel caso siano presenti ripristini successivi eseguire la battitura e la verifica dell'aderenza all'elemento originale.</p> <p>Opportuno report fotografico e schemi.</p>	<p>Definire un numero di sezioni significative di rilievo da trattare ciascuna come fosse un DIFETTO LOCALIZZATO.</p> <p>Se possibile verificare sempre l'allineamento dei trefoli tra le varie sezioni di misura individuate (per esempio in base alla posizione in sezione).</p>

3.5.2.3.1 Esempio restituzione rilievo

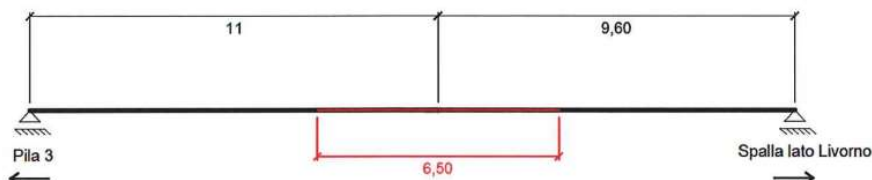
Si riporta di seguito la restituzione del rilievo del difetto eseguito nel caso di difetto esteso, ovvero nel caso in cui non è stato possibile individuare una sezione unica di rilievo (es. la sezione rappresentativa peggiore). In questo caso, quindi, si riportano i rilievi per ogni sezione individuata.

Ogni rilievo della singola sezione può essere preso come esempio per la restituzione di difetti nel caso di difetti localizzati.

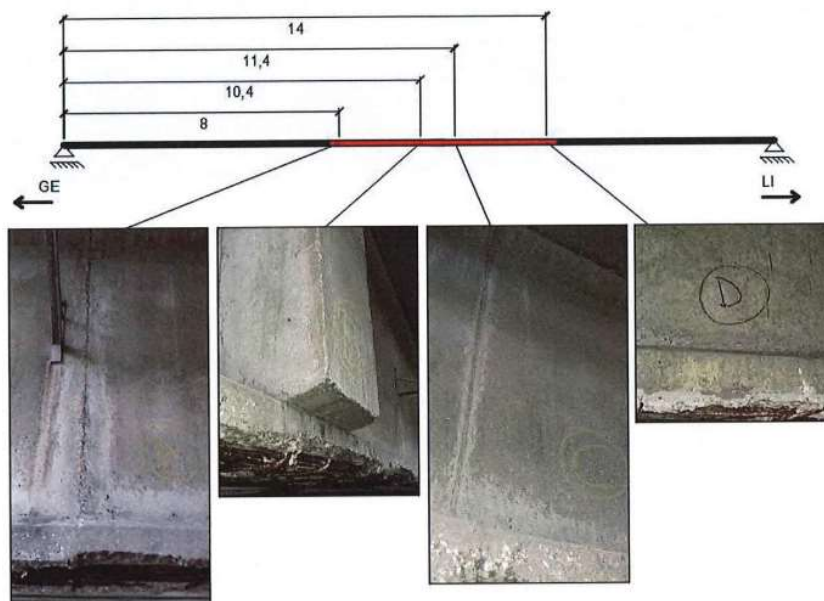
Campata 4 - Trave 11 – Mezzeria

Bulbo inferiore

Come riportato nello schema successivo, nella zona di mezzeria della trave all'intradosso, il cls di copriferro si presenta a tratti risonante e a tratti in distacco con trefoli e armatura lenta in vista, per un'estensione totale di circa 6,50 m.



La zona è stata ripulita rimuovendo il cls in distacco e individuando 4 sezioni (di seguito denominate A, B, C e D) in corrispondenza di 4 percolamenti provenienti dalla soletta dove l'ammaloramento è risultato più significativo. La zona individuata e di seguito rappresentata è circonscritta da cls duro.



SEZIONE A (a 8 metri da P3):

Rilievo armatura di precompressione



Si contano complessivamente 11 trefoli (misurato diametro complessivo a campione $\phi 8$) di cui:

- 9 probabilmente del 1° ordine
3/4 fili rotti, appiattiti o lenti, per ciascun trefolo;
- 2 probabilmente del 2° ordine parzialmente inglobati nel cls e superficialmente ossidati e corrosi.



Superiormente e tra i trefoli il cls è duro.

TRA LA SEZIONE A E LA SEZIONE B (a circa 9 metri da P3):

Al 1° ordine, in corrispondenza di un vespaio, si contano 10 trefoli di cui:

- 9 ossidati e corrosi con 2/3 fili appiattiti;
- 1 lucido.



SEZIONE B (a 10,40 metri da P3):

Rilievo armatura di precompressione



Si contano 1: fili rotti e appiattiti. Di questi trefoli, inoltre, 3 risultano lenti;

- 9/10 da ritenere inefficaci a causa di 2/3 fili rotti e appiattiti. Di questi trefoli, inoltre, 3 risultano lenti;
- 3 a tratti parzialmente inglobati nel cls e a tratti in vista ossidati e corrosi.

SEZIONE D (a 14 metri da P3):

Rilievo armatura di precompressione



Si contano 13 trefoli di cui:

- 2 in parte parzialmente inglobati nel cls duro e in parte in vista superficialmente ossidati e corrosi;
- 4 superficialmente corrosi con appiattimenti dei fili;
- 7 rotti o con diversi fili rotti.



Figura 24 - Esempio di restituzione rilievo degrado per c.a.p. a trefoli aderenti

3.5.2.4 Rilievo armatura di precompressione esposta: cavi scorrevoli con trefoli

Prima del rilievo dell'armatura di precompressione eseguire il rilievo relativo a rilievo calcestruzzo ammalorato e armatura lenta esposta in elementi in c.a. (§3.5.1).

ID DIFETTO ASPI/LG2022	MODALITA' DI RILIEVO	
	DIFETTO LOCALIZZATO	DIFETTO ESTESO
	Quando è possibile ricondurre tutto l'ammaloramento ad un'unica sezione rappresentativa del difetto	Quando non è possibile individuare una sezione unica rappresentativa del difetto (generalmente quando i cavi/trefoli sono a tratti scoperti e a tratti inglobati nel calcestruzzo integro)
c.a.p._6 c.a.p._7 c.a.p._8 c.a.p._9 c.a.p._10 c.a.\c.a.p._12	<p>Procedere alla misura o alla stima della sezione di CLS residua e/o perdita di copriferro. È importante ai fini della restituzione dei dati ricostruire la sezione ammalorata in termini di dimensioni e area di CLS.</p> <p>Nel caso vi siano guaine in vista (c.a.p._6) in accordo preventivo con la COMMITTENTE mediante il gruppo LABORATORI procedere a eseguire un piccolo saggio propedeutico al rilievo delle condizioni della guaina, dei trefoli e dell'iniezione con le modalità operative indicate nei capitoli §7.4 e §7.5</p> <p>Per i restanti difetti, dopo aver rimosso le parti ammalorate, procedere alla descrizione dello stato di conservazione dei trefoli visibili indicando la quantità di eventuali fili/trefoli rotti e misurando il diametro di quelli ridotti di sezione.</p> <p>In caso si riscontrassero fili rotti, indicare per ogni trefolo esposto il numero di fili rotti/ridotti lungo tutta la sua lunghezza esposta. Nel caso di trefoli a 7 fili, data la geometria dei fili avvolti, potrebbe non essere possibile quantificare esattamente le sezioni ridotte e/o conteggiare i punti di rottura, in quanto non è possibile stabilire se questi appartengono o no allo stesso filo; in questi casi se si contano più di 6 punti di rottura/sezioni ridotte tra i vari fili interrompere il conteggio annotando la circostanza. Non è possibile, infatti, determinare esattamente quanti sono i fili rotti/ridotti.</p> <p>Per la determinazione della sezione residua del trefolo, si può fare riferimento alla IO22 riportata al §1.3, della quale si richiama di seguito al §3.5.2.4.2.</p> <p>Particolare attenzione deve essere posta nei riguardi delle condizioni di conservazione della guaina e dello stato del riempimento di malta di iniezione. E' richiesto quindi di verificare le condizioni esterne ed interne della guaina, di verificare il grado di compattezza ed addensamento della malta, nonché l'uniformità della sua distribuzione tra la guaina e l'armatura.</p> <p>Descrivere qualitativamente le condizioni di tesatura dei trefoli, per esempio esercitando una leva (utilizzando uno scalpello).</p> <p>Riportare in sezione la posizione dei trefoli rispetto il bordo dell'elemento ed intradosso.</p> <p>Nel caso siano presenti ripristini successivi eseguire la battitura e la verifica dell'aderenza all'elemento originale.</p> <p>Opportuno report fotografico e schemi.</p>	<p>Procedere individuando una sezione rappresentativa <u>per ogni cavo</u> tra le parti esposte. Se non si riesce a determinare la sezione rappresentativa allora verranno rilevate più sezioni dello stesso cavo nelle porzioni in cui è esposto.</p> <p>Per ogni sezione individuata quindi procedere come un DIFETTO LOCALIZZATO.</p> <p>Se possibile verificare sempre l'allineamento dei trefoli tra le varie sezioni di misura individuate (per esempio in base alla posizione in sezione).</p>

3.5.2.4.1 Esempio restituzione rilievo

Si riporta di seguito la restituzione del rilievo del difetto eseguito nel caso di difetto localizzato, ovvero nel caso in cui è stato possibile individuare una sezione unica di rilievo (es. la sezione rappresentativa peggiore). Nel caso di difetto esteso, la restituzione per ogni singola sezione individuata può avvenire alla stessa maniera, dovendo trattare il difetto come localizzato.

E' richiesto all'ESECUTORE di restituire, oltre alle informazioni riguardanti l'armatura, anche specifiche informazioni riguardanti le condizioni di conservazione della malta di iniezione e della guaina (rilevate secondo le modalità in tabella).

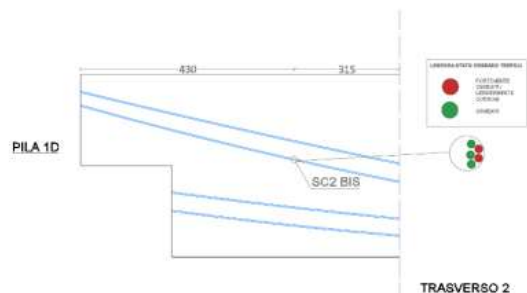






Rappresentazione Grafica	Posizionamento indagine	
	Indagine eseguita a: <ul style="list-style-type: none">• 4,30 m da inizio sella (pulvino 1D);• 3,15 m dal traverso TR2;• 1,26 m dall'intradosso della soletta;• 0,70 m dall'intradosso della trave.	
	Descrizione <p>È stato rilevato un consistente stato di corrosione nella guaina del cavo, con spessore e diametro non quantificabili (Foto 1,2). La boiaccia cementizia risulta presente e compatta all'interno, "farinosa" all'esterno (Foto 2). Sono stati visti 5 trefoli di dimensioni non misurabili (Foto 3,4,5,6). Tre di questi risultano ossidati mentre i restanti due presentano 3 e 4 fili spezzati con i rimanenti soggetti ad una forte riduzione di sezione (Foto 4,5,6). Il copriferro misurato della guaina risulta pari a 75 mm mentre quello dei fili 83 mm.</p>	
Fotografie		
		
Foto 1	Foto 2	Foto 3
		
Foto 4	Foto 5	Foto 6
Note: Le armature lente dell'elemento strutturale risultano ossidate e corrose, con conseguente riduzione di sezione .		

Figura 25 - Esempio di restituzione rilievo degrado per c.a.p. a cavi scorrevoli con trefoli

3.5.2.4.2 VALUTAZIONE DELL'AREA RESIDUA – IO22 ASPI




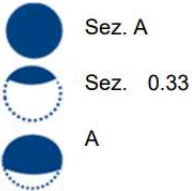


La trattazione di seguito sinteticamente riportata fa riferimento alla procedura nell'Allegato 4 alle Istruzioni Operative "Piano delle Indagini su elementi in c.a.p. post-tesi ai fini delle verifiche accurate di sicurezza" di cui al §1.3 della presente Istruzione.

La valutazione dell'area residua dei cavi interessati da corrosione è praticamente difficoltosa, in quanto non è possibile a causa della mancanza di accessibilità diretta a tutte le porzioni di trefolo, ma soltanto a quella portata in vista dal saggio: in pratica non è possibile misurare direttamente in situ la sezione trasversale di tutti i fili o trefoli.

Nel caso ricorrente di trefolo costituito da 7 fili di sezione A, si possono prevedere 3 classi di corrosione:

- **S0** - trefolo integro o ossidato superficialmente (l'ossido è facilmente rimuovibile tramite spazzolatura): la riduzione di sezione è trascurabile. L'area è 7A.
- **S1** - trefolo corrosivo: i fili esterni presentano uno stato corrosivo paragonabile a quello intermedio tra la condizione di trefolo integro e quella di trefolo fortemente corrosivo; quantificando la sezione residua di ogni singolo filo esterno del 66% rispetto alla sezione integra A si ottiene che la sezione dei fili esterni è di $6 \times 0,66A = 3,96A$ a cui si somma la sezione A del filo centrale ipotizzata integra, per un totale di 4,96A. La sezione residua del trefolo è pari al 71% di quella del trefolo integro.
- **S2** - trefolo fortemente corrosivo: quando la corrosione è tale che non sono più visibili i contorni laterali dei singoli fili esterni e pertanto il perimetro della sezione del trefolo può essere assimilato ad una circonferenza passante per i punti di contatto dei fili esterni; quantificando la sezione residua di ogni singolo filo esterno del 33% rispetto alla sezione integra A si ottiene che la sezione dei fili esterni è di $6 \times 0,33A = 1,98A$ a cui si somma la sezione A del filo centrale ipotizzata integra, per un totale di 2,98A. La sezione residua del trefolo è pari al 42% di quella del trefolo integro.

Per ogni trefolo è inoltre possibile tenere conto dei fili interrotti, sottraendo dall'area del trefolo (con i conteggi previsti nelle possibili condizioni di S0, S1 e S2) quelle dei vari fili interrotti.

		
Trefolo integro $S0 = 7A$	Trefolo corrosivo $S1 = A + 6 \times 0.66A = 0.71 S0$	Trefolo fortemente corrosivo $S2 = A + 6 \times 0.33A = 0.43 S0$
		
	Trefolo con 1 filo rotto $S3 = 6A = 0.86 S0$	Trefolo corrosivo + 2 fili rotti $S4 = A + 4 \times 0.66A = 0.52 S0$

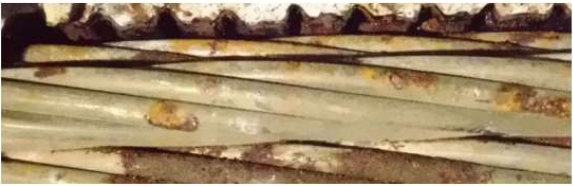





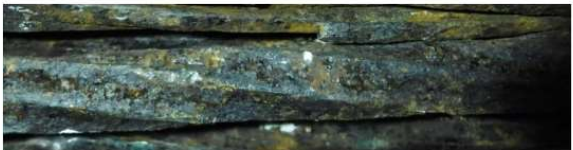



	<p><u>Trefolo integro</u></p> 
	<p><u>Trefolo ossidato</u></p> 
	<p><u>Trefolo corrosivo</u></p> 
	<p><u>Trefolo fortemente corrosivo</u></p> 
	<p><u>Trefolo fortemente corrosivo</u> <u>con 1 filo rotto</u></p> 

Figura 26 - Valutazione dell'area residua – IO22 ASPI

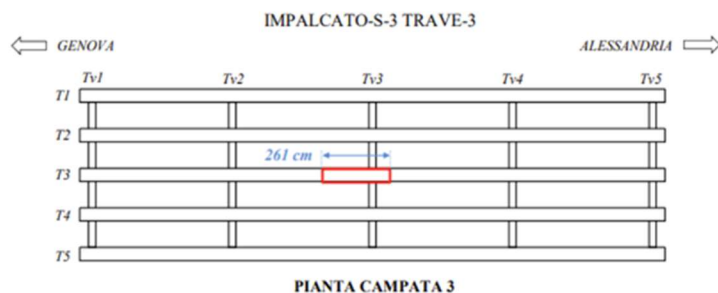
3.5.2.5 Rilievo armatura di precompressione esposta: cavi scorrevoli a fili paralleli

Prima del rilievo dell'armatura di precompressione eseguire il rilievo relativo a rilievo calcestruzzo ammalorato e armatura lenta esposta in elementi in c.a. (§3.5.1)

ID DIFETTO ASPI/LG2022	MODALITA' DI RILIEVO	
	DIFETTO LOCALIZZATO	DIFETTO ESTESO
	Se è possibile ricondurre tutto l'ammaloramento ad un'unica sezione rappresentativa del difetto	Se non è possibile individuare una sezione unica rappresentativa del difetto (generalmente quando i cavi sono a tratti scoperti e a tratti inglobati nel calcestruzzo integro)
c.a.p._6 c.a.p._7 c.a.p._8 c.a.p._9 c.a.p._10 c.a.\c.a.p._12	<p>Procedere alla misura o alla stima della sezione di CLS residua e/o perdita di copriferro. È importante ai fini della restituzione dei dati ricostruire la sezione ammalorata in termini di dimensioni e area di CLS.</p> <p>Nel caso vi siano guaine in vista (c.a.p._6) in accordo con la COMMITTENTE procedere a eseguire un piccolo saggio propedeutico al rilievo delle condizioni della guaina, dei fili e dell'iniezione con le modalità operative indicate nei capitoli §7.4 e §7.5.</p> <p>Per i restanti difetti, dopo aver rimosso le parti ammalorate, procedere alla descrizione dello stato di conservazione dei fili visibili indicando la quantità di eventuali fili rotti e misurando il diametro di quelli ridotti di sezione.</p> <p>Descrivere qualitativamente le condizioni di tesatura dei fili, per esempio esercitando una leva (utilizzando uno scalpello).</p> <p>Particolare attenzione deve essere posta nei riguardi delle condizioni di conservazione della guaina e dello stato del riempimento di malta di iniezione. E' richiesto quindi di verificare le condizioni esterne ed interne della guaina, di verificare il grado di compattezza ed addensamento della malta, nonché l'uniformità della sua distribuzione tra la guaina e l'armatura. Fare riferimento ai parametri di descrizione al §7.4 e §7.5.</p> <p>Riportare in sezione la posizione dei trefoli rispetto il bordo dell'elemento ed intradosso.</p> <p>Nel caso siano presenti ripristini successivi eseguire la battitura e la verifica dell'aderenza all'elemento originale.</p> <p>Opportuno report fotografico e schemi.</p>	<p>Procedere individuando una sezione rappresentativa <u>per ogni cavo</u> tra le parti esposte.</p> <p>Se non si riesce a determinare la sezione rappresentativa allora verranno rilevate più sezioni dello stesso cavo nelle porzioni in cui è esposto.</p> <p>Per ogni sezione individuata quindi procedere come un DIFETTO LOCALIZZATO.</p> <p>Se possibile verificare sempre l'allineamento dei fili tra le varie sezioni di misura individuate (per esempio in base alla posizione in sezione).</p>

3.5.2.5.1 Esempio restituzione rilievo

E' richiesto all'ESECUTORE di restituire, oltre alle informazioni riguardanti l'armatura, anche specifiche informazioni riguardanti le condizioni di conservazione della malta di iniezione e della guaina (rilevate secondo le modalità in tabella).



NOTA: presenza di cls duro/non risonante oltre il copriferro e oltre la zona di estensione dell'ammaloramento

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



DIFETTI 407793 - 407795

IMPALCATO-S-3 TRAVE-3

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA - ZONA a 60 cm da L/2 (direzione GE)

SEZIONE PEGGIORE DEL DIFETTO

N.2 barre longitudinali $\phi = 14$ mm ossidate

CAVO A: n.13 fili visibili di cui:

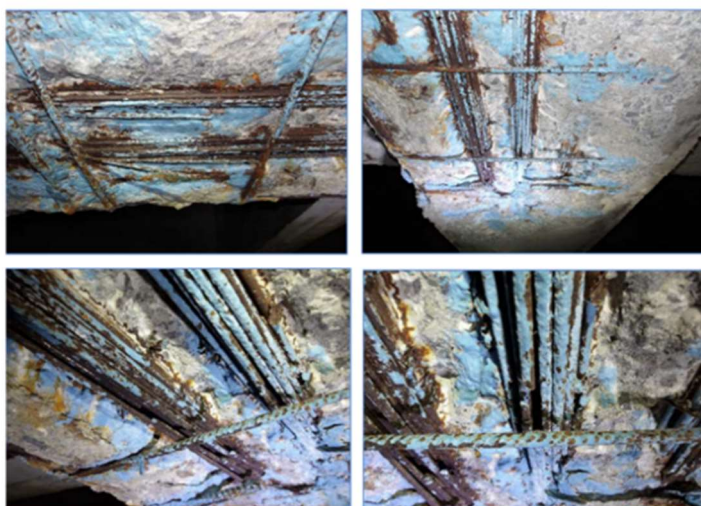
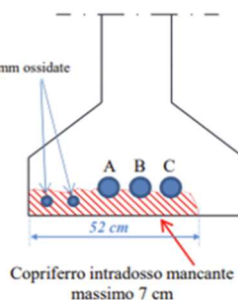
n.6 fili rotti;
n.7 fili appiattiti con riduzione di sezione di circa 2 mm.

CAVO B: n.18 fili visibili di cui:

n.6 fili rotti;
n.7 fili appiattiti con riduzione di sezione di circa 2 mm.
n.5 fili tesi e solo fortemente ossidati.

CAVO C: n.11 fili visibili di cui:

n.1 filo rotto;
n.3 fili appiattiti con riduzione di sezione di circa 2 mm.
n.7 fili tesi e solo fortemente ossidati.



STATO DI CONSERVAZIONE GUAINA: Per tutti i cavi nelle zone scoperte la guaina è presente solo nella parte superiore (ossidata e corrosa). Si vede la guaina ossidata nella zona dove il cavo torna dentro il cls non risonante.

STATO DI CONSERVAZIONE RIEMPIMENTO: Per tutti i cavi nelle zone scoperta la boiaccia non è presente. Si vede boiaccia solidale ai fili nelle zone dove il cavo torna dentro il cls non risonante.

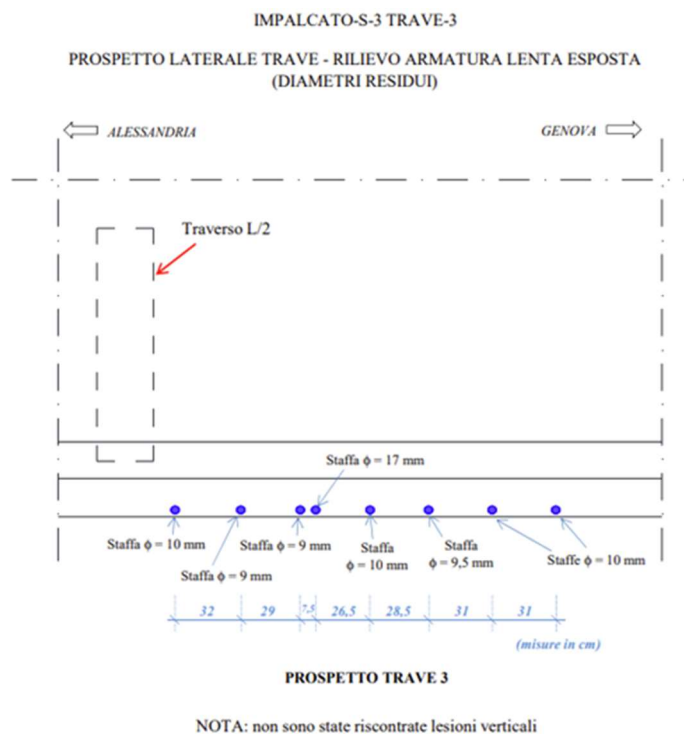


Figura 27 - Esempio di restituzione rilievo degrado per c.a.p. a cavi scorrevoli con fili

3.6 Modalità di rilievo dei difetti per elementi in acciaio

L'ESECUTORE, munito di PIN con l'elaborato riguardante i difetti e la scheda d'ispezione, dovrà preliminarmente:

1. Identificare e ubicare il difetto sull'elemento con coordinate rispetto a punti noti (per esempio nodi strutturali, appoggi, intradosso...).
- Indicare se possibile la presenza di percolazioni, pluviali rotti e giunti in prossimità del difetto.
2. Delimitare e circoscrivere il difetto individuato con le dimensioni dell'estensione (Base x Altezza x Profondità), prima del rilievo.
3. Pulizia delle parti in distacco individuate: rimozione di ossidi o vernici in distacco. Rilevare nuovamente le dimensioni dell'estensione.

Dopo aver eseguito i punti precedenti si procederà, nelle modalità di rilievo e nella presentazione dei relativi risultati, come riportato nei punti successivi, specifici a seconda della tipologia del difetto e del tipo di elemento indagato.

Ulteriori dettagli relativi ad elementi in acciaio sono forniti al §5 e §6 della presente procedura.

Qualora fosse necessario provvedere al ripristino delle parti spazzolate/smerigliate, le modalità dovranno essere concordate con la COMMITTENTE, secondo quanto riportato nello schema Tipologici Ripristini Indagini ALLEGATO 1.

3.6.1 Elementi in carpenteria metallica.

ID DIFETTO ASPI/LG2022	MODALITA' DI RILIEVO
Acc_4 Acc_5 Acc_6 Acc_7 Acc_8 Acc_9 Acc_10 Acc_11	<p>Nel caso di corrosione e ossidazione, misura della perdita di sezione dell'elemento o della sezione residua (anche tramite l'utilizzo di spessimetri a ultrasuoni), previa smerigliatura a metallo vivo del punto.</p> <p>In caso di ammaloramenti su bulloni/chiodi indicarne stato di conservazione (es. corrosione della testa e/o del gambo, deformazioni).</p> <p>Nel caso di bulloni allentati verificarne il serraggio previo accordo con COMMITTENTE e identificarne la posizione e il numero.</p> <p>In caso di bulloni tranciati identificarne la posizione e il numero. Segnalare e misurare l'eventuale rifollamento dei fori e/o lacerazioni degli elementi collegati (piastre di collegamento).</p> <p>In caso di deformazioni, individuarne la geometria (es. inclinazione, estensione, posizione, fuori piombo) e se possibile indicare la perdita di forma rispetto alla sezione originaria.</p> <p>In caso di lesioni avvisare tempestivamente il COMMITTENTE.</p>

3.6.1.1 Esempio restituzione rilievo.

E' richiesto all'ESECUTORE di restituire gli ammaloramenti rilevati nella sezione trasversale dell'elemento, oltre ad un posizionamento in pianta, raccogliendo tutte le informazioni richieste nella tabella precedente.

STRUTTURA VERTICALE	Difetto	Ossidazione, corrosione e sfogliamenti		
	Ubicazione	Piedritto alla base		
	Estensione	Totalità alla base		
	Note	L'ossidazione e corrosione sono presenti su tutta la base del ritto per 20 cm dalla piastra di base, gli sfogliamenti interessano i primi 15 cm.		
	Spessore elemento (mm)	13,8 ÷ 14,0	Zona corrosa portata ad acciaio bianco	
	<i>(Anima piedritto alla base)</i>	15,0 ÷ 15,5	Zona integra portata ad acciaio bianco	
		15	Spessore nominale (da elaborati forniti dalla Committente)	
		Note	Presenti locali riduzioni di spessore	
	Spessore elemento (mm)	38,8	Zona ossidata portata ad acciaio bianco	
	<i>(All piedritto alla base)</i>	38	Spessore nominale (da elaborati forniti dalla Committente)	
Spessore elemento (mm)		20,5	Zona portata ad acciaio bianco	
STRUTTURA ORIZZONTALE	<i>(Coronamento piedritto alla base)</i>	20	Spessore nominale (da elaborati forniti dalla Committente)	
		Difetto	Verniciatura esfoliata o assente con ossidazione superficiale puntiforme	
	Ubicazione	Travi Telaio, secondarie, arcarecci, controventi		
	Estensione	Diffusi		
	Difetto	Verniciatura esfoliata o assente con ossidazione superficiale puntiforme		
	Ubicazione	Nodo tra montante e trave del portale (nodi di entrambi i montanti)		
	Estensione	Diffusa		
	Orizzontalità	Trave portale e travi secondarie pressochè orizzontali		
	Presenza di uno spessore di legno tra piastra di collegamento della 1° trave secondaria (lato Autostrada) in corrispondenza della Piastra 1 e la controsoffittatura.			



Ossid. e corrosione piastre e lamiere



Sfogliamento della verniciatura



Ossidazione piastre



Misure dimensionali bulloni

Figura 28 - Esempio di restituzione rilievo degrado per elementi in carpenteria metallica

3.8 Modalità di rilievo dei difetti per elementi in muratura

ID DIFETTO ASPI/LG2022	MODALITA' DI RILIEVO
Mur_1 Mur_2 Mur_3 Mur_4 Mur_5 Mur_6 Mur_7	<p>Data la particolarità di queste tipologie di difetti, nonché la loro numerosità e frequenza riscontrata, le modalità di rilievo e restituzione saranno di volta in volta dettagliate COMMITTENTE.</p> <p>In ogni caso, l'ESECUTORE dovrà:</p> <ul style="list-style-type: none"> • segnalare l'elemento mancante della muratura (blocchi, malta) ed ubicare il difetto sull'elemento • descrivere lo stato di conservazione dei componenti della muratura e indicare se il difetto è posto in corrispondenza di punti particolari (es. percolazioni, giunti) • misurare l'area interessata dal difetto e la profondità • mappare le lesioni eventualmente presenti (es. sul timpano), misurandone estensioni, inclinazioni e ampiezza, con referenziazione sull'elemento interessato, anche con schemi grafici.

3.9 Modalità di rilievo dei difetti generici

ID DIFETTO ASPI/LG2022	MODALITA' DI RILIEVO
Dif.Gen_3 Dif.Gen_4 Dif.Gen_5 Dif.Gen_6	<p>Per i difetti riguardanti il c.a./c.a.p. in cui è danneggiata la sezione o sono presenti lesioni (es. Dif.Gen_3, Dif.Gen_4) fare riferimento al §3.5-3.6 della presente specifica.</p> <p>Nel caso di ristagni di acqua nei cassoni (Dif.Gen_5) ubicare il difetto e misurare l'estensione dei ristagni, evidenziando se accompagnato da ossidazione/corrosione. In caso affermativo procedere il rilievo come nei difetti corrispondenti (in base al tipo di materiale, come indicato nei paragrafi successivi).</p> <p>Nel caso di fuori piombo (Dif.Gen_6), misurare l'inclinazione ed indicare il verso. L'inclinazione può essere espressa o in rotazione (°) oppure con rilievi dimensionali.</p>

3.10 Modalità di rilievo delle fondazioni

ID DIFETTO ASPI/LG2022	MODALITA' DI RILIEVO
Ril/Fond_1-1 Ril/Fond_1-2 Ril/Fond_1-3	<p>Data la particolarità di queste tipologie di difetti, nonché la loro numerosità e frequenza riscontrata, le modalità di rilievo e restituzione saranno di volta in volta dettagliate COMMITTENTE.</p> <p>In ogni caso, l'ESECUTORE dovrà:</p> <ul style="list-style-type: none"> • nel caso di scalzamento, misurarne l'altezza e definirne l'ubicazione rispetto alla base (es. spigolo plinto) • nel caso di movimenti in fondazione, si richiede il rilievo e la ricostruzione del quadro fessurativo e/o degli spostamenti correlati es. mediante laser scanner o altre metodologie specifiche in accordo con COMMITTENTE

3.11 Modalità di rilievo dei difetti per elementi in legno

ID DIFETTO ASPI/LG2022	MODALITA' DI RILIEVO
Legno_2 Legno_3 Legno_6 Legno_7 Legno_8 Legno_11	<p>Data la particolarità di queste tipologie di difetti, nonché la loro numerosità e frequenza riscontrata, le modalità di rilievo e restituzione saranno di volta in volta dettagliate COMMITTENTE.</p> <p>In ogni caso, l'ESECUTORE dovrà:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Misurare l'ampiezza e l'estensione delle fratture/spaccature sul legno con ubicazione sull'elemento • Ubicare e misurare la presenza di fori e di tunnel sull'elemento • Mappare sull'elemento le macchie d'acqua • Quantificare e ubicare il danneggiamento subito dall'urto • Stato di conservazione complessivo e delle connessioni (in caso procedere come indicato al §3.6 per acciaio)

3.12 Modalità di rilievo dei difetti da catalogo ASPI

ID DIFETTO ASPI/LG2022	MODALITA' DI RILIEVO
ASPI_114 ASPI_115 ASPI_116 ASPI_045 ASPI_110 ASPI_127 ASPI_131	<p>L'ESECUTORE dovrà, in via preliminare, ubicare il difetto sull'elemento strutturale e descriverne lo stato di conservazione. Successivamente:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Nel caso di rinforzi a fibre (es. FRP): <ul style="list-style-type: none"> - indicazione di tutte le fibre FRP distaccate/tranciate con segnalamento dell'esatta ubicazione (anima o intradosso bulbo) e misurazione della lunghezza di distacco. Con il COMMITTENTE potrebbe essere concordata una prova di adesione (pull-off). • Nel caso di precompressione esterna: <ul style="list-style-type: none"> - misurazione della corrosione localizzata dei cavi (se barre) e ubicazione - indicazione di numero di trefoli rotti/corrosi (se trefoli) e ubicazione - segnalazione di barre non collegate da manicotti Con il COMMITTENTE potrebbero essere concordate prove per la valutazione del decremento/perdita totale del carico di precompressione. • Nel caso di tranciamento pali: <ul style="list-style-type: none"> - Ubicazione difetto - Indicazione del n° di pali interessati dal difetto • Nel caso di riduzione della superficie di appoggi: <ul style="list-style-type: none"> - Misurazione con metro della superficie di appoggio degradata e confronto con l'attuale. Per difetti tipici di materiali trattati ai paragrafi precedenti, l'ESECUTORE deve fare riferimento a questi per le modalità di esecuzione e restituzione • Nel caso di presenza di acqua nelle strutture cave (utile riferimento Dif.Gen_5): <ul style="list-style-type: none"> - Segnalazione presenza difetto ed estensione dei ristagni - Se accompagnato da ossidazione/corrosione se richiede il rilievo come nei difetti corrispondenti • Nel caso di guaine non intasate: <ul style="list-style-type: none"> - Estensione area e stato di conservazione della guaina o di tutti i fili (ossidati /corrosi) - Eventuale misurazione con calibro della riduzione di sezione dei fili del cavo Per casi simili, procedere come indicato al §3.5 per c.a.p.

4 Indagini per elementi in cemento armato

4.1 Prelievo di carote di cls e prove di resistenza a compressione

4.1.1 Oggetto

Il presente paragrafo ha come oggetto la definizione delle procedure per l'esecuzione dei prelievi di campioni cilindrici (definiti anche carote) da calcestruzzo indurito, la loro preparazione per le prove e la successiva esecuzione delle prove di compressione in laboratorio; infine, saranno indicate le modalità di restituzione e di presentazione dei risultati della prova.

4.1.2 Descrizione del metodo

La prova consiste nell'estrazione di un campione cilindrico (*o carota*) di calcestruzzo da un elemento strutturale in calcestruzzo (armato e non), mediante carotatrice elettrica con corona diamantata, nella preparazione del provino avente stabilito rapporto H/D (taglio e rettifica del campione) e nell'esecuzione della prova di compressione a rottura in laboratorio.

4.1.3 Normativa di riferimento

- CSLP – Linee Guida per la valutazione delle caratteristiche del calcestruzzo in opera – Calcestruzzo strutturale, 2017
- UNI EN 12390-3:2019 “Prove sul calcestruzzo indurito – Parte 3: Resistenza alla compressione dei provini”
- UNI EN 12390-1:2021 “Prove sul calcestruzzo indurito – Parte 1: Forma, dimensioni ed altri requisiti per provini e per casseformi”
- UNI EN 12390-2:2019 “Prove sul calcestruzzo indurito – Parte 2: Prove su calcestruzzo indurito – Confezione e stagionatura dei provini per prove di resistenza”
- UNI EN 12390-7:2021 “Prove sul calcestruzzo indurito – Parte 7: Massa volumica del calcestruzzo indurito”
- UNI EN 12504-1:2021 “Prove sul calcestruzzo nelle strutture – Parte 1: Carote – Prelievo, esame e prova di compressione”
- UNI EN 13791:2019 “Valutazione della resistenza a compressione in sito nelle strutture e nei componenti prefabbricati di calcestruzzo”

4.1.4 Strumentazione e attrezzatura per prelievo campioni

- Carotatrice elettrica a circolazione di acqua;
- Corone diamantate per diametro effettivo del carotaggio ≥ 50 mm;
- Carrello con piastra di fissaggio a parete;
- Trapano, punte e tasselli per il fissaggio della piastra sull'elemento in c.a.;
- Gruppo elettrogeno;
- Pacometro e/o georadar ad alta frequenza;
- Cassetta catalogatrice;
- Fotocamera digitale.

4.1.5 Ubicazione dei prelievi e dimensione delle carote

Le carote dovrebbero essere prelevate in punti lontano da giunti strutturali, bordi dell'elemento, da zone dove sono presenti percolazioni e in generale da zone in cui il calcestruzzo è degradato. Il punto di prova, inoltre, deve essere scelto dove sia presente poca o nessuna armatura.

Se non diversamente specificato, eseguire il carotaggio perpendicolarmente alla superficie, in modo tale da evitare il danneggiamento del provino.

In generale, si procederà al prelievo di carote orizzontali dal fusto delle pile, dal muro frontale delle spalle e dall'anima delle travi e dei traversi in prossimità della sezione di mezzeria. Nel caso delle solette, a seconda delle situazioni operative, si potrà procedere al prelievo sia di carote verticali (ortogonali alla soletta) che di carote orizzontali (attraversando il cordolo laterale degli sbalzi); le carote verticali possono essere eseguite sia dall'alto verso il basso (a partire da estradosso) sia dal basso verso l'alto (a partire dall'intradosso).

Nel caso delle travi in c.a.p., allo scopo di evitare i cavi di precompressione, le carote andranno preferibilmente prelevate in prossimità della sezione di mezzeria, sulla parte alta dell'anima.

La lunghezza delle carote deve essere scelta sulla base dei seguenti rapporti lunghezza/diametro(*):

- 2,0 se il risultato di resistenza è da confrontare alla resistenza cilindrica;
- 1,0 se il risultato di resistenza è da confrontare alla resistenza cubica.

(*) indicazione sull'utilizzo dell'una o dell'altra può essere indicata nel *Piano di Indagine* fornito dal PRG, altrimenti si procederà con campioni aventi rapporto $H/D=1$ (lunghezza/diametro).

Sono ammesse le seguenti tolleranze [§8.3 – UNI-EN 12-504:1:2021]:

- Per essere classificato come 2:1 il rapporto tra lunghezza e diametro deve essere contenuto nell'intervallo da 1,95 a 1 e da 2,05 a 1.
- Per essere classificato come carota 1:1 il rapporto tra lunghezza e diametro deve essere contenuto nell'intervallo da 0,95 a 1 e da 1,05 a 1.

Con riferimento alle norme vigenti bisognerà di regola prelevare carote di diametro pari o superiore a 3 volte il diametro massimo dell'aggregato, il quale dovrà essere dichiarato con apposita scheda dall'ESECUTORE, contenente, per ogni campione, la misura del diametro massimo dell'inerte nel calcestruzzo.

4.1.6 Modalità di esecuzione dei prelievi

Il prelievo dei provini di cls avverrà secondo le modalità descritte di seguito.

- a) Individuazione della zona dell'elemento in corrispondenza della quale eseguire il carotaggio: la zona deve essere caratterizzata da una superficie esente da lesioni, microfessurazioni, vespai, distacchi, etc.;
- b) rilievo delle barre di armatura mediante strumento pacometrico e/o georadar ad alta frequenza, e tracciamento delle stesse sulla superficie del calcestruzzo; la prova eseguita mediante georadar ad alta frequenza si rende necessaria nel caso di spessori superiori a 8 cm e comunque in tutte quelle situazioni in cui il pacometro perde di risoluzione. Il georadar risulta particolarmente adatto nel caso di incamiciature o rinforzi presenti sull'elemento (escluso il caso di fibre o placcaggi in acciaio);
- c) individuazione del punto di carotaggio, mediante giustapposizione della piastra sulla superficie dell'elemento, ed in funzione delle caratteristiche superficiali del materiale, della maglia di armatura e del diametro del carotiere, la cui sagoma deve essere sufficientemente lontana dalle barre (almeno $\div 3$ cm);

- d) fissaggio della carotatrice a parete mediante un tassello ad espansione, verificando che non vi sia alcun giuoco tra le varie componenti del sistema;
- e) esecuzione del carotaggio a circolazione d'acqua, fino a raggiungere la lunghezza richiesta nel PIN;
- f) estrazione della carota inserendo uno scalpello nel taglio anulare compreso tra elemento e carota e fornendo un impulso assiale secco allo scalpello con un martello;
- g) operazioni di marcatura, identificazione e siglatura della carota estratta come §1.2.1;
- h) compilazione scheda con informazioni relative a sigla, ubicazione, diametro e lunghezza del campione, nonché il diametro massimo degli inerti presenti per l'accettazione del diametro;
- i) posizionamento nelle cassette catalogatrici;
- j) documentazione fotografica della carota;
- k) ripristino del foro del carotaggio come da schema Tipologici Ripristini Indagini ALLEGATO 1;
- l) documentazione fotografica dei ripristini eseguiti da allegare al report finale.

Assicurarsi che le carote destinate alla determinazione della resistenza a compressione non contengano armatura disposta lungo l'asse longitudinale dei provini o in prossimità di esso. In tal caso, le carote saranno scartate e saranno prelevate carote sostitutive da concordare con il COMMITTENTE.

Se è presente un'armatura trasversale, registrare il suo diametro e la sua posizione in mm.

4.1.7 Modalità di esecuzione delle prove su carote

Una volta prelevate e catalogate, le carote dovranno essere accuratamente custodite in maniera tale da evitare danneggiamenti di alcun tipo e quindi trasportate presso un laboratorio ufficiale ed autorizzato di cui all'art.59 del DPR n.380/2001 (rif. §1.2.1 del presente documento) **che eseguirà e certificherà le prove di compressione ai sensi della circolare 7617/STC**. Per le prove si faccia riferimento a:

- a) prova di compressione a rottura secondo UNI EN 12390-3
- b) determinazione della massa volumica secondo EN 12390-7.

Non sottoporre a prova le carote con superfici fessurate, con armature longitudinali, con vespai e scagliate.

Le resistenze f_c misurate sulle carote verranno elaborate, a cura del PRG, seguendo le procedure descritte dalla citata UNI EN 13791:2019 "Valutazione della resistenza a compressione in sito nelle strutture e nei componenti prefabbricati di calcestruzzo".

Sulle carote prelevate potranno essere eseguite anche prove per la misura delle profondità di carbonatazione e/o prove di misura della penetrazione dello ione cloruro: per ognuna delle prove si faccia riferimento ai relativi paragrafi successivi.

4.1.8 Presentazione dei risultati

Per ogni carota sottoposta a compressione dovranno essere rilevati i seguenti dati:

- Descrizione e identificazione del provino su piante e/o prospetti e/o sezioni;
- Sigla del provino;
- Dimensione massima stimata dell'aggregato;
- Data del carotaggio;
- Ispezione visiva, annotando le anomalie identificate;
- Armature (ove pertinenti): diametro espresso in mm e posizione espressa in mm;
- Lunghezza e diametro della carota al ricevimento;
- Lunghezza del provino dopo la sua preparazione;
- Rapporto lunghezza/diametro del provino;

- Data di esecuzione della prova;
- Carico massimo di rottura espresso in kN;
- Resistenza a compressione della carota, espressa al più prossimo 0,1 Mpa;
- Coefficiente di correlazione in funzione del rapporto H/D (snellezza) del provino;
- Indicazione sulla tipologia di rottura (soddisfacente o insoddisfacente in accordo con 12390-3 §7.3);
- Una dichiarazione del tecnico sperimentatore con nomina e della prova attestante che sono state eseguite in conformità alla norma;
- Nel caso di prove di carbonatazione e/o di penetrazione dello ione cloruro, riportare i dati con le stesse modalità indicate nei paragrafi relativi ad ogni prova;
- Report fotografico dei provini singoli con siglatura e identificazione (non in gruppo).
- Massa del provino espressa in kg;
- Massa volumica apparente del provino, espressa al più prossimo in 10 kg/m³;
- Tempo di prova (se appropriato);
- Età del provino al momento della prova;
- Altre informazioni pertinenti, ad esempio numero eccessivo di vuoti

I certificati delle prove di compressione di laboratorio ai sensi della circolare 7617/STC saranno forniti in allegato alla relazione tecnica.

Le informazioni sopra rilevate dovranno essere inserite all'interno di una tabella riepilogativa, avente il formato e il contenuto come riportato nell'esempio di seguito.

L'ESECUTORE dovrà utilizzare le tabelle relative riportate nell'Allegato 3, delle quali se ne richiede anche la restituzione editabile in formato Excel .xls.

Il codice di identificazione dei campioni e del punto di prova (§1.2.1) dovrà corrispondere a quello riportato in pianta e/o sezioni. L'ubicazione di ogni prova eseguita, su piante/sezioni rappresentanti gli elementi strutturali indagati, dovrà essere univocamente indicata mediante il corrispondente codice di identificazione riportato sul campione o punto di prova (§1.2.1).

N°	Elemento indagato	Identificazione campioni	Massa Volumica	Dimensioni carota			Sezione resistente	Carico di rottura	Carico unitario f _c	Coeff. Correlativi	Resistenza a compr	Tipo di rottura (*)
				Φ	h	Snellezza (Φ/h)						
			[kg/m ³]	[mm]	[mm]	[-]	[mm ²]	[kN]	[N/mm ²]	[-]	[N/mm ²]	[-]
1	Travi	C1-T2-DX-CM1										1
2		C2-T4-SX-CM3										n
[..]		[..]										

(*) Indicare il tipo di rottura: ad esempio 1 soddisfacente; n non soddisfacente secondo UNI12390 figura 2 e 4.

L'esecutore dovrà riportare i dati nella tabella relativa riportata nell'Allegato 3 (della quale se ne richiede anche la restituzione editabile in formato Excel .xls.), da completare, in caso, anche con i dati delle prove non distruttive eseguite ai fini della calibrazione con prove distruttive (§4.5):

4.2 Prelievo di carote di cls e determinazione del modulo elastico secante

4.2.1 Oggetto

Il presente paragrafo ha come oggetto la definizione delle procedure per la determinazione del valore del modulo di elasticità secante a compressione su provini di conglomerato cementizio indurito.

4.2.2 Descrizione del metodo

Un provino è caricato sotto compressione assiale, gli sforzi e le deformazioni sono registrati e la pendenza della secante alla curva sforzo-deformazione è determinata alla prima applicazione del carico (metodo A definito secondo UNI EN 12390-13) e dopo tre cicli di applicazione del carico (metodo A e B definiti nella UNI EN 12390-13). Il prelievo è eseguito secondo le indicazioni riportate al §4.1.6.

La pendenza della secante è nota come modulo di elasticità secante in compressione.

4.2.3 Normative di riferimento

- UNI 12390-13:2021 "Determinazione del modulo elastico secante a compressione";
- UNI EN 12390-3:2019 "Prove sul calcestruzzo indurito – Parte 3: Resistenza alla compressione dei provini";
- UNI EN 12390-1:2021 "Prove sul calcestruzzo indurito – Parte 1: Forma, dimensioni ed altri requisiti per provini e per casseformi";
- UNI EN 12390-2:2019 "Prove sul calcestruzzo indurito – Parte 2: Prove su calcestruzzo indurito – Confezione e stagionatura dei provini per prove di resistenza";
- UNI EN 12504-1 (Carote – prelievo ed esame).

4.2.4 Strumentazione e attrezzatura per prelievo in sito

- Carotatrice elettrica a circolazione di acqua;
- corone diamantate di diametro nominale ≥ 74 mm;
- carrello con piastra di fissaggio a parete;
- trapano, punte e tasselli per il fissaggio della piastra sull'elemento in c.a.;
- gruppo elettrogeno;
- pacometro e/o georadar ad alta frequenza;
- cassetta catalogatrice;
- fotocamera digitale.

La strumentazione e l'attrezzatura da impiegare per la successiva prova di laboratorio è indicata nelle norme UNI di riferimento richiamate al §4.2.3.

4.2.5 Forma e dimensione dei provini

I provini devono essere carote conformi ai requisiti della UNI EN 12390-1. La dimensione del diametro d deve essere 3,5 volte D_{max} . Il rapporto tra la lunghezza del provino L e la dimensione d deve essere nell'intervallo $2 \leq L/d \leq 4$.

I provini raccomandati devono essere cilindri di diametro 150 mm e altezza 300 mm.

In alternativa è possibile utilizzare altri provini che soddisfano generalmente i requisiti della UNI EN 12390-1, purché il provino sia conforme alle dimensioni e la dimensione dell'aggregato al diametro o alla larghezza precedentemente dichiarati.

È necessario tenere conto anche la necessità di avere ulteriore provino (o provini) sul quale ricavare la resistenza a compressione del calcestruzzo in oggetto (al fine di definire i livelli di sforzo del ciclo di prova). In alternativa è possibile utilizzare quella stimata da prove non distruttive.

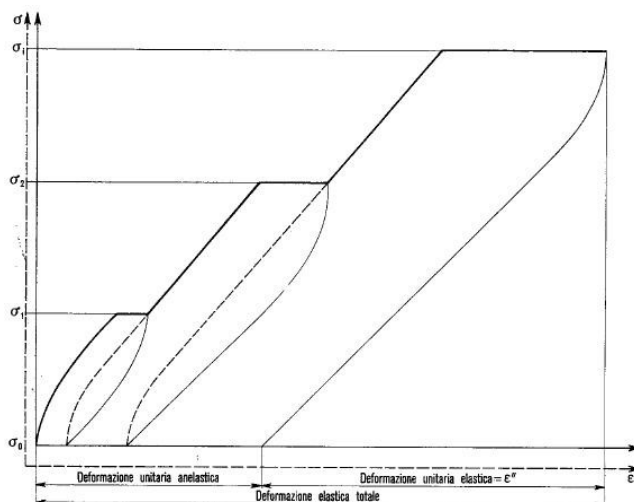
4.2.6 Modalità di esecuzione prova di laboratorio

- a) Gli strumenti di misurazione devono essere posizionati in modo tale che la base di misurazione sia a una distanza equivalente dalle facce di estremità del provino;
- b) Trascrivere i dati del provino e la data di esecuzione della prova;
- c) Misurare con il calibro le dimensioni del provino e trascrive i valori espressi in mm;
- d) Pesare i provini e ne riporta il valore in kilogrammi sul report;
- e) Provvedere alla determinazione della massa volumica dei provini;
- f) Provvedere a stabilizzare i provini alla temperatura e all'umidità dell'ambiente di prova;
- g) Porre gli estensimetri, a seconda del tipo di provino, sulle quattro facce del provino prismatico o a 120° tra loro per il provino cilindrico;
- h) Fissare la forza massima di prova (F_{max}) e ne riportare il valore in KN sulla report;
- i) Fissare la forza di base (F_o) pari ad 1/10 della forza massima di prova (F_{max}) e ne riportare il valore in KN sul I report;
- j) Determinare l'intervallo ($\Delta F = F_{max} - F_o$) tra la forza massima di prova e la forza di base e ne riportare il valore in KN sul report;
- k) Determinare le forze di salita intermedie per i vari step di carico ($F_1-F_2-F_3$) su cui effettuare la prova e ne riportare i valori in KN sul report ($F_1= 1/3\Delta F + F_o$; $F_2= 2/3\Delta F + F_o$; $F_3= \Delta F + F_o$);
- l) Il programma procede, come da norma, a registrare i valori medi delle deformazioni per ogni ciclo di carico effettuato, fino a che lo scarto fra tali valori medi in due misure successive risulta minore di 10×10^{-6} ;
- m) La media delle deformazioni delle diverse basi di misura è presa come risultato della misura.

Il modulo di elasticità secante a compressione è dato dalla seguente equazione:

$$E = \frac{\Delta \sigma}{\Delta \varepsilon} = \frac{\sigma_i - \sigma_0}{\Delta \varepsilon}$$

- a) E = modulo di elasticità secante a compressione, in N/mm²
- b) $\Delta \sigma$ = intervallo di tensione entro cui si opera, in N/mm²
- c) σ_i = tensione superiore del ciclo, in N/mm²
- d) σ_0 = tensione di base, in N/mm²
- e) $\Delta \varepsilon$ = variazione unitaria di lunghezza corrispondente a tale intervallo misurata, in fase di ritorno, a cicli completamente stabilizzati (indicata con ε = deformazione unitaria elastica nel diagramma illustrativo di riferimento in figura).



Il prelievo dei campioni avverrà alla stessa maniera della procedura indicata al §4.1.6.

La prova di laboratorio per la determinazione del modulo elastico sui provini preparati come al §4.2.5 deve essere eseguita in conformità alla UNI EN 12390-13:2021, che ne richiama altresì anche i provini.

E' richiesta la determinazione del modulo elastico secante iniziale, quindi si procederà secondo il "Metodo A". Nel caso in cui sia richiesta, in aggiunta o in concomitanza, la determinazione del modulo elastico secante stabilizzato si procederà con il "Metodo A" o il "Metodo B", indicato nel PIN.

Solitamente ciò avviene per studiare la suscettibilità del materiale a microfessurazioni, legate agli sforzi o al prelievo.

4.2.7 Presentazione dei risultati

Per ogni carota sottoposta a misura del modulo elastico dovranno essere rilevati i seguenti dati:

- Descrizione e identificazione del provino su piante e/o prospetti e/o sezioni;
- Dimensione massima stimata dell'aggregato;
- Sigla dei provini;
- Data del carotaggio;
- Ispezione visiva, annotando le anomalie identificate;
- Presenza di armature (ove pertinenti): diametro espresso in mm e posizione espressa in mm;
- Lunghezza e diametro della carota al ricevimento;
- Lunghezza del provino dopo la sua preparazione;
- Rapporto lunghezza/diametro del provino;
- Data di esecuzione della prova;
- Valori della Resistenza a compressione dei provini di riferimento e valore medio di tale resistenza in N/mm² (espressa al più prossimo 0,5 N/mm²);
- Tensioni di prova (base, intermedie e massima);
- Metodo utilizzato per determinare il modulo di elasticità secante (A o B, definito nella UNI EN 12390-13:2021);
- Valori del modulo secante e degli intervalli di tensione a cui si riferisce – come indicato nella UNI EN 12390-13:2021;
- Coefficiente di correlazione in funzione del rapporto H/D (snellezza) del provino;
- Una dichiarazione del tecnico sperimentatore con nomina e della prova attestante che sono state eseguite in conformità alla norma;

- Report fotografico dei provini con siglatura e identificazione.
- Massa del provino espressa in kg;
- Massa volumica apparente del provino, espressa al più prossimo in 10 kg/m³;
- Tempo di prova (se appropriato);
- Età del provino al momento della prova;
- Altre informazioni pertinenti, ad esempio numero eccessivo di vuoti.

I certificati delle prove di laboratorio ai sensi della circolare 7617/STC saranno forniti in allegato alla relazione tecnica.

Le informazioni sopra rilevate dovranno essere inserite all'interno di una tabella riepilogativa, avente il formato e il contenuto come riportato nell'esempio di seguito. Il codice di identificazione dei campioni e del punto di prova (§1.2.1) dovrà corrispondere a quello riportato in pianta e/o sezioni. L'ubicazione di ogni prova eseguita, su piante/sezioni rappresentanti gli elementi strutturali indagati, dovrà essere univocamente indicata mediante il corrispondente codice di identificazione riportato sul campione e punto di prova (§1.2.1).

CALCOLO DEL MODULO DI ELASTICITA' SECANTE (metodo A)						
tipo di modulo	sforzo applicato		deformazione		valore calcolato	
		MPa		$\epsilon \times 10^{-6}$	MPa	GPa
iniziale $E_{c,0}$	σ_b^m	3,01	$\epsilon_{b,0}$	325,2	14.210	14,2
	σ_a^m	8,51	$\epsilon_{a,1}$	712,3		
stabilizzato $E_{c,s}$	σ_b^m	3,01	$\epsilon_{b,2}$	433,5	18.734	18,7
	σ_a^m	8,51	$\epsilon_{a,3}$	727,0		
resistenza a compressione unitaria stimata:					49,3	349,4 kN
resistenza unitaria a compressione misurata f_c :					29,3	207,7 kN
differenza tra la resistenza stimata e quella misurata:					68,3%	
primo livello di tensione stimato (sforzo inferiore σ_b):					3,0	21,3 kN
secondo livello di tensione stimato (sforzo inferiore σ_a):					16,4	116,5 kN

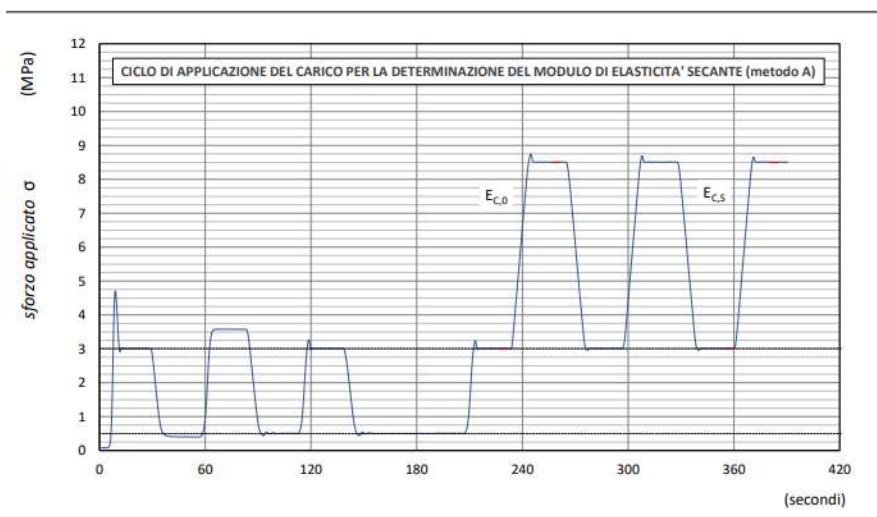


Figura 31 – Esempio restituzione dati – Determinazione del modulo elastico del calcestruzzo

4.3 Prelievo e prove su barre di armatura

4.3.1 Oggetto

Il presente paragrafo ha come oggetto la definizione delle procedure per il prelievo di spezzoni di barre di armatura da elementi strutturali in c.a. da sottoporre a prove di trazione in laboratorio.

4.3.2 Descrizione del metodo

La prova consiste nel prelievo di uno spezzone di barra d'armatura mediante demolizione locale del copriferro di calcestruzzo, taglio della barra con troncatrice angolare ed esecuzione, in laboratorio, di una prova di trazione a rottura. I parametri restituiti dalla prova (e **certificati**) sono:

- sono la resistenza allo snervamento f_y ;
- la resistenza a rottura f_t per trazione;
- l'allungamento percentuale a rottura A ;
- l'allungamento percentuale totale sotto carico massimo A_{gt} ;

Gli spezzoni da assoggettare a prova dovranno essere privi difetti (intagli, ossidazione/corrosione), salvo specifica approvazione del COMMITTENTE.

4.3.3 Normativa di riferimento

- UNI EN ISO 6892-1:2020 "Materiali metallici - Prova di trazione - Parte 1: Metodo di prova a temperatura ambiente";
- UNI EN ISO 15630-1:2019 "Acciaio per calcestruzzo armato e calcestruzzo armato precompresso - Metodi di prova - Parte 1: Barre, rotoli e fili per calcestruzzo armato";
- UNI EN 10002-1:2004 "Materiali metallici. Prova di trazione. Metodo di prova (a temperatura ambiente);
- NTC2018 §Cap.11.3.

4.3.4 Strumentazione e attrezzatura per prelievo campioni

- Martello demolitore;
- pacometro/georadar ad alta frequenza;
- smerigliatrice angolare con disco da taglio;
- gruppo elettrogeno;
- fotocamera digitale;
- saldatrice.

4.3.5 Modalità di esecuzione dei prelievi

I prelievi di barre di armatura dovranno essere eseguiti secondo la seguente procedura:

- a) Concordare con l'ESECUTORE, prima dell'inizio delle attività, la lunghezza necessaria e sufficiente del campione per poter eseguire la prova di trazione secondo §4.3.3 e per poter determinare i parametri richiesti.
- b) Rilievo delle barre di armatura mediante strumento pacometro e/o georadar ad alta frequenza, e tracciamento delle stesse sulla superficie del calcestruzzo; la prova eseguita mediante georadar ad alta frequenza si rende necessaria nel caso di spessori superiori a 8 cm e comunque in tutte quelle

situazioni in cui il pacometro perde di risoluzione. Il georadar risulta particolarmente adatto nel caso di incamiciature o rinforzi presenti sull'elemento (escluso il caso di fibre o placcaggi in acciaio).

1. Il prelievo interessa di solito le barre principali: Nel caso delle travi, il prelievo dovrà generalmente essere effettuato su una trave non di bordo, a circa 1 m dalla sezione di appoggio, all'intradosso su una barra longitudinale, solitamente, non di spigolo. Potrebbe essere richiesto il prelievo di spezzoni di staffe, in genere, nella sezione di mezzzeria.
 2. Nel caso dei traversi, il prelievo avverrà nella mezzzeria dell'elemento interessando una barra trasversale (staffe).
 3. Nel caso delle solette, dovrà essere prelevata una barra trasversale (ortogonale alle travi). Il prelievo potrà avvenire all'intradosso dell'impalcato o all'estradosso, previa esecuzione di saggio (§2.3.1.1 e §4.4).
 4. Nel caso dei solettoni, dovrà essere prelevata una barra longitudinale (parallela alla luce dell'impalcato) all'intradosso, ad una distanza di circa 1.5 m dalla sezione di appoggio. Nel caso venisse richiesto il prelievo di staffe si potrà procedere, previa verifica dello spessore dell'elemento, dal lato esterno o dal lato spartitraffico.
 5. Nel caso delle pile, dovrà essere prelevata una barra verticale, solitamente, non di spigolo. Nel caso venisse richiesto il prelievo di staffe, solitamente, si potrà procedere da circa metà altezza del fusto.
 6. Nel caso delle spalle, dovrà essere prelevata una barra verticale dal muro frontale.
- c) I dettagli relativi ai prelievi, nonché eventuali casi particolari vengono trattati nello specifico nel PIN (es. nel caso di due tipologie di acciaio oppure nel caso di elevati spessori di copriferro);
- d) demolizione locale del copriferro in corrispondenza della barra individuata, mediante martello demolitore elettrico, con messa a nudo ed isolamento della barra di armatura per una lunghezza pari a quella concordata con l'ESECUTORE (per poter eseguire la prova di trazione) oltre a 10 volte il diametro per lato, per poter eseguire il ripristino mediante saldatura (nel caso di ripristino con una barra) o almeno 6 volte il diametro (nel caso di ripristino con doppia barra);
- e) eventualmente, taglio e piegatura delle staffe ubicate esternamente alla parte scoperta della barra oggetto del prelievo;
- f) taglio e prelievo, mediante smerigliatrice angolare con disco da taglio, dello spezzone di barra avente la lunghezza concordata con l'ESECUTORE;
- g) siglatura dello spezzone di barra ed annotazione sul foglio di campagna delle informazioni relative a: sigla, ubicazione, tipo, diametro, lunghezza (§1.2.1), che costituirà il campione di prova;
- h) documentazione fotografica della zona di prelievo;
- i) ripristino del copriferro demolito come da schema Tipologici Ripristini Indagini ALLEGATO 1;
- j) documentazione fotografica dei ripristini eseguiti (comprensivo della saldatura di ripristino) da allegare al report finale.

4.3.5.1 Processo di saldatura per il ripristino della barra prelevata

I procedimenti e i saldatori impiegati dovranno essere qualificati secondo:

- UNI EN ISO 9606-1:2017 "Prove di qualificazione dei saldatori - Saldatura per fusione - Parte 1: Acciai"
- UNI EN ISO 17660-1:2007 "Saldatura - Saldatura degli acciai d'armatura - Parte 1: Giunti saldati destinati alla trasmissione del carico".

L'esecuzione del ripristino della barra prelevata è a carico dell'ESECUTORE secondo le modalità nello schema Tipologici Ripristini Indagini ALLEGATO 1.

4.3.6 Modalità di esecuzione delle prove di trazione in laboratorio

Una volta prelevati e catalogati, i campioni di barra dovranno essere accuratamente custoditi in maniera tale da evitare danneggiamenti di alcun tipo e quindi trasportate presso un laboratorio ufficiale ed autorizzato di cui all'art.59 del DPR 380/2001 (rif. §1.2.1 del presente documento) **che eseguirà e certificherà le prove di trazione ai sensi della circolare 7617/STC**, con determinazione almeno delle grandezze sottoelencate:

- resistenza allo snervamento f_y ;
- resistenza a rottura f_t per trazione;
- allungamento percentuale a rottura A ;
- allungamento percentuale totale sotto carico massimo A_{gt} .

4.3.7 Presentazione dei risultati

Per ogni barra sottoposta a trazione dovranno essere rilevati i seguenti dati:

- Sigla identificativa del campione di barra (§1.2.1);
- Indicazione della modalità di rottura (es. su intaglio o in prossimità dell'afferraggio);
- Indicazione di eventuali difetti del campione di barra (es. corrosione, riduzioni sezione...);
- Diametro nominale Φ espresso in mm;
- Lunghezza in mm e peso in g della barra prelevata;
- Area della barra prelevata in mmq;
- Diametro equivalente Φ_{eq} della barra equipesante;
- Area della sezione della barra equipesante, espressa in mm (se necessario);
- Carico di snervamento, espresso in N;
- Carico unitario di snervamento f_y in N/mm²;
- Carico di rottura espresso in N;
- Carico unitario a rottura f_t in N/mm²;
- Il rapporto tra f_t/f_{ynom} (dove f_{ynom} è il valore di tensione di snervamento nominale, pari a 450 N/mm² per gli acciai B450C e B450A, tabella 11.3 NTC2018) (se richiesto nel PIN);
- Il rapporto tra f_t/f_y ;
- Allungamento percentuale a rottura A (se richiesto nel PIN);
- Allungamento percentuale totale sotto carico massimo A_{gt} .
- Report fotografico dei provini singoli con siglatura e identificazione (non in gruppo).

I certificati delle prove di trazione di laboratorio ai sensi della circolare 7617/STC saranno forniti in allegato alla relazione tecnica.

Le informazioni sopra rilevate dovranno essere inserite all'interno di una tabella riepilogativa, avente il formato e il contenuto come riportato nell'esempio di seguito.

L'ESECUTORE dovrà utilizzare le tabelle relative riportate nell'Allegato 3, delle quali se ne richiede anche la restituzione editabile in formato Excel .xls.

Il codice di identificazione dei campioni e del punto di prova (§1.2.1) dovrà corrispondere a quello riportato in pianta e/o sezioni. L'ubicazione di ogni prova eseguita, su piante/sezioni rappresentanti gli elementi strutturali indagati, dovrà essere univocamente indicata mediante il corrispondente codice di identificazione riportato sul campione e punto di prova (§1.2.1).

L'esecutore dovrà riportare i dati nella tabella relativa riportata nell'Allegato 3 (della quale se ne richiede anche la restituzione editabile in formato Excel .xls.), da completare, in caso, anche con i dati delle prove non distruttive eseguite ai fini della calibrazione con prove distruttive (§4.6).

<p><i>Pianta impalcato campata 1</i></p>	<p><i>Documentazione fotografica</i></p>

Figura 32 – Ubicazione prove in pianta e documentazione fotografica – Prelievo e prove su barre di armature

4.4 Rilievo delle barre di armatura (saggi visivi e prove pacometriche)

4.4.1 Oggetto

Il presente paragrafo ha come oggetto la definizione delle procedure per la localizzazione delle barre di armatura, la determinazione del diametro ad esse associato e la misurazione del copriferro, aventi lo scopo di definire i dettagli costruttivi dell'elemento strutturale.

4.4.2 Descrizione del metodo

Il rilievo delle barre di armatura nella struttura può essere eseguito mediante due tecniche di indagine, che differiscono per il livello di dettaglio restituito:

- Restituzione di posizione e quantità di armature, stima del copriferro e del diametro: mediante ***pacometro e/o mediante georadar ad alta frequenza***: il primo sfrutta l'emissione di un campo elettromagnetico, il secondo l'emissione di onde elettromagnetiche.. Il pacometro in genere può essere impiegato con discreta risoluzione su elementi per individuare barre d'armatura fino a profondità di circa 6-8 cm, mentre il georadar ad alta frequenza riesce ad individuarle, con attendibilità, anche fino a 40 cm circa di profondità (e comunque in relazione alle condizioni del materiale). L'impiego del georadar risulta particolarmente indicato nel caso di elementi incamiciati o con armature aventi copriferri elevati o nel caso in cui sono richieste indagini da estradosso soletta a partire dalla superficie della pavimentazione stradale;
- Restituzione di posizione e quantità di armature, misura esatta del copriferro e del diametro mediante esecuzione di piccoli ***saggi locali*** (che prevedono la rimozione del copriferro). I saggi locali possono essere eseguiti singolarmente o a corredo delle prove pacometriche o georadar: in quest'ultimo caso saranno svolti in corrispondenza di un limitato numero di queste prove, con lo scopo di verificarne e tararne le misure oppure per "risolverne" i limiti, ad esempio indagare l'eventuale presenza di un doppio strato di barre ubicato internamente a quello più superficiale.

L'ESECUTORE dovrà individuare un sistema di riferimento per poter identificare univocamente il verso delle armature rilevate nell'elemento di appartenenza (nel caso delle solette, ad esempio, le armature longitudinali possono essere identificate come quelle nel verso dell'autostrada, le armature trasversali quelle nel verso ortogonale).

4.4.3 Normativa di riferimento

- BS 1881-204:1988 - "Testing concrete. Recommendations on the use of electro-magnetic covermeters".

4.4.4 Strumentazione e attrezzatura

- Fotocamera digitale;
- calibro a corsoio;
- metro e disto per ubicazione della prova rispetto un punto noto (e.g. asse appoggio delle travi);
- martello demolitore, gruppo elettrogeno, mazzetta e scalpello, per l'esecuzione dei saggi locali;
- pacometro o georadar ad alta frequenza.

4.4.5 Modalità di esecuzione

Pile e spalle

Su pile e spalle il rilievo delle barre di armatura dovrà essere eseguito secondo le indicazioni delle Specifiche indicate al §1.3 della presente Istruzione. Sui fusti delle pile e sulle spalle le misure saranno preferibilmente eseguite a circa 1.0 m dall'estradosso del plinto di fondazione o dal piano di campagna e comunque come indicato nel PIN, seguendo la procedura sotto descritta:

- a) per ciascun lato tipo dell'elemento (in base anche all'accessibilità), individuazione puntuale delle barre su una superficie tale da evidenziare con attendibilità una griglia regolare di armature (circa 150x150 cm), con tracciamento della posizione delle stesse sulla superficie dell'elemento;
- b) la scansione delle barre sulla superficie suddetta può avvenire secondo una maglia formata da direttrici ortogonali, orizzontali e verticali, a passo di 25 cm, per ciascun lato tipo dell'elemento; l'estensione del rilievo deve essere tale cogliere, con regolarità, il numero di armature contenute in almeno 1,50 m di elemento;
- c) demolizione locale del copriferro, su una superficie di almeno 10 x 10 cm in corrispondenza dell'incrocio tra una barra verticale ed una staffa, con messa a nudo delle barre e misura del diametro e del copriferro mediante calibro. Se la finalità principale è quella di eseguire sistematicamente saggi locali, le demolizioni saranno diffuse sull'area individuata (su almeno 3 nodi o su una striscia larga 10 cm e lunga 50 cm), altrimenti se i saggi sono a corredo delle prove pacometriche/georadar, con finalità di taratura, si procederà all'esecuzione di demolizione locale del copriferro su di un nodo per ogni area individuata;
- d) sigla identificativa del punto di prova (§1.2.1) e documentazione fotografica;
- e) ubicazione del centro dell'area scansionata rispetto l'intradosso del pulvino (o il p.c.) e rispetto uno spigolo laterale;
- f) ripristino del copriferro demolito come da schema Tipologici Ripristini Indagini ALLEGATO 1.

Eventuali ed ulteriori prescrizioni di approfondimento sono riportati nel PIN.

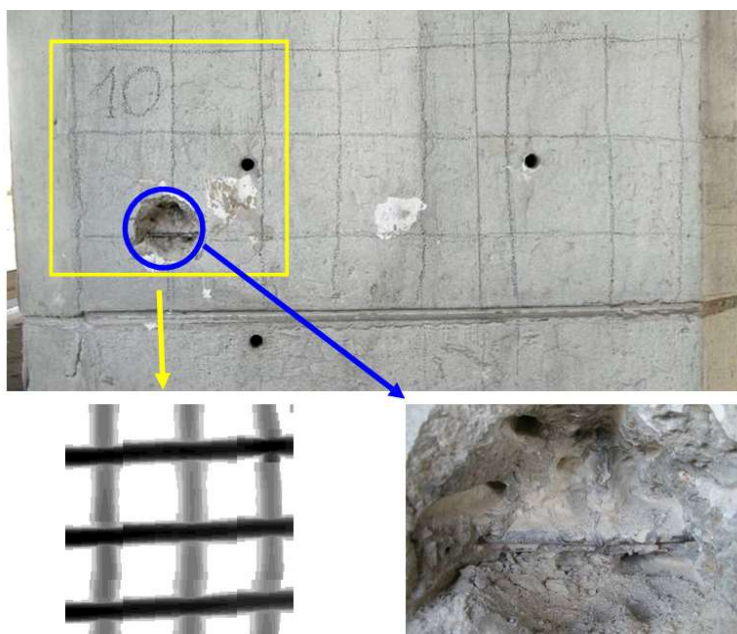


Figura 33 - Rilievo delle barre di armatura sulle pile

Pulvini

Sui pulvini il rilievo delle barre di armatura dovrà essere eseguito secondo le indicazioni delle Specifiche indicate al §1.3 della presente Istruzione e comunque, ove possibile, almeno all'estradosso nella zona di massimo momento negativo (in corrispondenza del nodo d'innesto con gli elementi verticali (es. fusto o fusti), all'intradosso nella zona di massimo momento positivo (es. tra i fusti) e sull'anima nelle zone di taglio massimo

(in corrispondenza del nodo d'innesto con gli elementi verticali), schematicamente come in figura, seguendo la procedura sotto descritta:

- a) individuazione puntuale delle barre su una superficie tale da evidenziare con attendibilità una griglia regolare di armature: esecuzione di una scansione pacometrica/georadar bidimensionale sulla parete verticale, su una superficie di almeno $60 \times h$ con h altezza della parete, e sulle superfici di estradosso e intradosso del pulvino su superfici di almeno $60 \times B/2$ con B larghezza del pulvino (quando accessibili), con memorizzazione del segnale acquisito e tracciamento della posizione delle barre individuate sulla superficie dell'elemento stesso;
- b) la scansione delle barre sulla superficie suddetta può avvenire secondo una maglia formata da direttrici ortogonali, orizzontali e verticali, a passo di 25 cm, per ciascun lato tipo dell'elemento; l'estensione del rilievo deve essere tale da cogliere, con regolarità, il numero di armature contenute in almeno 1,50 m di elemento;
- c) demolizione locale del copriferro, su una superficie di almeno 10×10 cm in corrispondenza dell'incrocio tra una barra verticale ed una staffa, con messa a nudo delle barre e misura del diametro e del copriferro mediante calibro. Se la finalità principale è quella di eseguire sistematicamente saggi locali, le demolizioni saranno diffuse sull'area individuata (su almeno 3 nodi o su una striscia larga 10 cm e lunga quanto l'altezza h o la larghezza $B/2$ dell'elemento), altrimenti se i saggi sono a corredo delle prove pacometriche/georadar, con finalità di taratura, si procederà all'esecuzione di demolizione locale del copriferro su di un nodo per ogni area;
- d) sigla identificativa del punto di prova (§1.2.1) e documentazione fotografica;
- e) ubicazione del centro dell'area scansionata rispetto un punto notevole, ad esempio estremità pulvino;
- f) ripristino del copriferro demolito come da schema Tipologici Ripristini Indagini ALLEGATO 1.

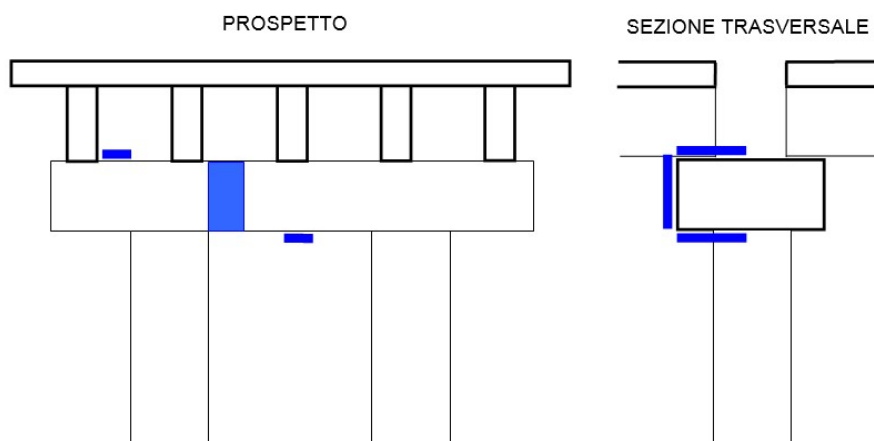


Figura 34 - Rilievo delle barre di armatura sui pulvini

Eventuali ed ulteriori prescrizioni di approfondimento sono riportati nel PIN.

Travi e traversi

Su travi e traversi, il rilievo delle barre di armatura dovrà essere eseguito secondo le indicazioni delle Specifiche indicate al §1.3 della presente Istruzione.

Nei traversi, il rilievo riguarda le armature della parete verticale (staffe e barre a X) e quelle d'intradosso, nelle sezioni di mezzeria e al nodo con le travi.

Nel caso delle travi, il rilievo sarà eseguito in prossimità della sezione trasversale di appoggio e della sezione trasversale di mezzeria, sia sulla superficie di intradosso che sull'anima.

Nella sezione di mezzeria dovranno essere determinate il numero ed il diametro delle barre longitudinali all'intradosso verificando l'eventuale presenza di più registri sovrapposti.

Nella zona di appoggio, essendo l'obiettivo delle misure il rilievo dell'armatura a taglio, dovranno essere determinate le staffe e le eventuali barre sagomate: pertanto, tenendo conto che la scansione non potrà essere inferiore a 2,00 m, le staffe saranno individuate con scansioni verticali sulla parete verticale dell'anima (con particolare attenzione ad eventuale cambio di passo), le barre sagomate, quando presenti, saranno individuate in anima come per le staffe e sulla superficie di intradosso, ancora per almeno 1.5 – 2.0 m verso la mezzeria, con scansioni trasversali. inoltre, ove possibile, bisognerà discriminare tra staffe chiuse, staffe a "spillone" e distanziatori.

Si riporta un esempio di schema di acquisizione (e restituzione) per le travi:

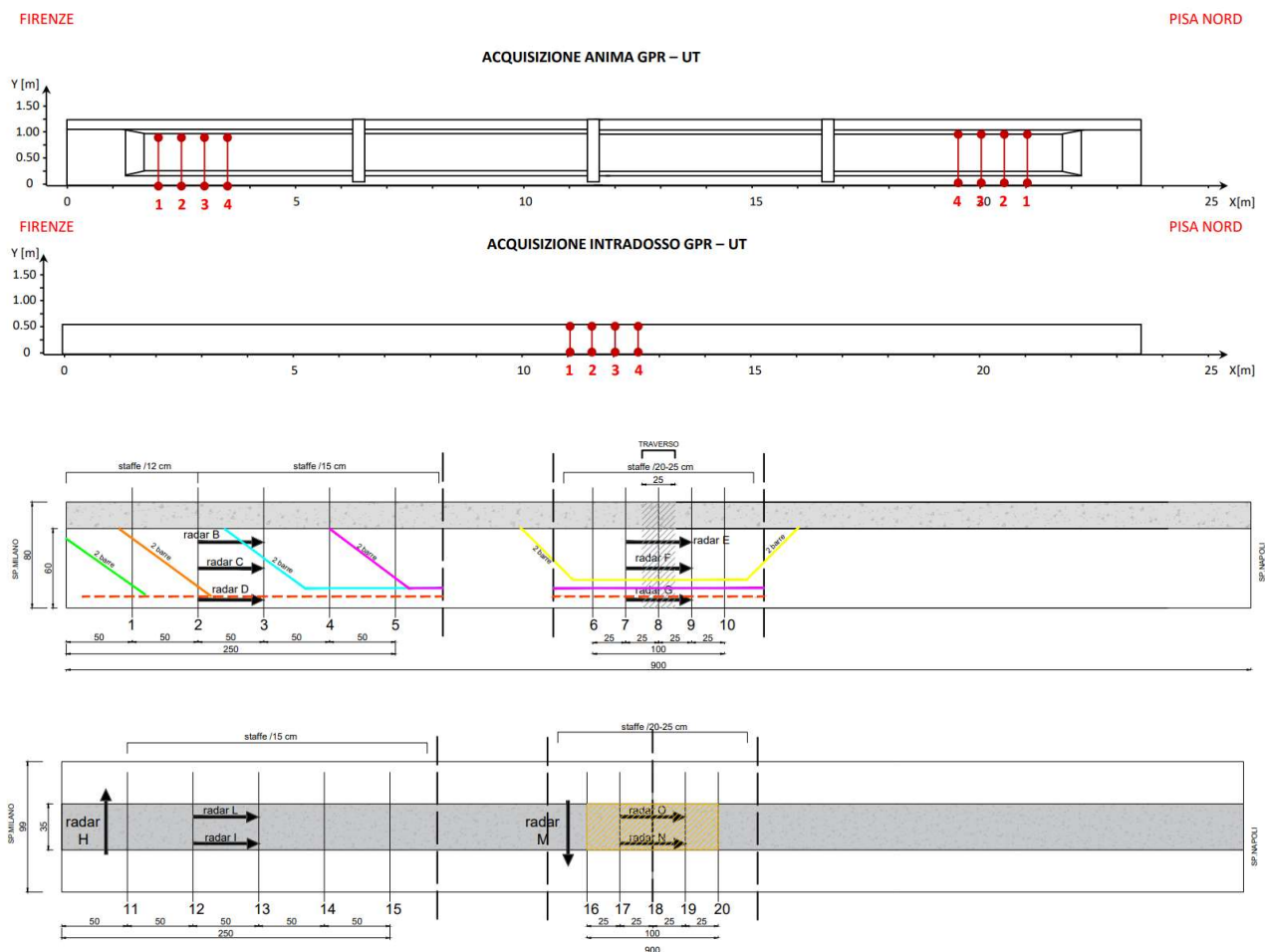


Figura 35 - Rilievo delle barre di armatura sulle travi

Le misure dovranno essere eseguite seguendo la procedura sotto descritta:

- a) individuazione puntuale delle barre su una superficie tale da evidenziare con attendibilità una griglia regolare di armature: esecuzione di una scansione pacometrica/georadar bidimensionale sulla parete verticale d'anima, su una superficie di almeno 150 cm x h (con h altezza dell'anima), e sulla superficie di intradosso della trave su una superficie di almeno 150 cm x B (con B larghezza dell'ala inferiore), con memorizzazione del segnale acquisito e tracciamento della posizione delle barre individuate sulla superficie dell'elemento stesso;
- b) la scansione delle barre sulla superficie suddetta può avvenire secondo una maglia formata da direttrici ortogonali, orizzontali e verticali, a passo di 25 cm, per ciascun lato tipo dell'elemento; l'estensione del rilievo deve essere tale cogliere, con regolarità, il numero di armature contenute in almeno 1,50 m di elemento;
- c) demolizione locale del copriferro, su una superficie di almeno 10 x 10 cm in corrispondenza dell'incrocio tra una barra verticale ed una staffa, con messa a nudo delle barre e misura del diametro e del copriferro mediante calibro. Se la finalità principale è quella di eseguire sistematicamente saggi locali, le demolizioni saranno diffuse sull'area individuata (su almeno 3 nodi o su una striscia larga 10 cm e lunga quanto l'altezza h o la larghezza B dell'elemento), altrimenti se i saggi sono a corredo delle prove pacometriche/georadar, con finalità di taratura, si procederà all'esecuzione di demolizione locale del copriferro su di un nodo per ogni area;
- d) sigla identificativa del punto di prova (§1.2.1) e documentazione fotografica;
- e) ubicazione del centro dell'area scansionata rispetto un punto notevole, ad esempio asse appoggio (per le travi) o parete anima trave (nel caso dei traversi);
- f) ripristino del copriferro demolito come da schema Tipologici Ripristini Indagini ALLEGATO 1.

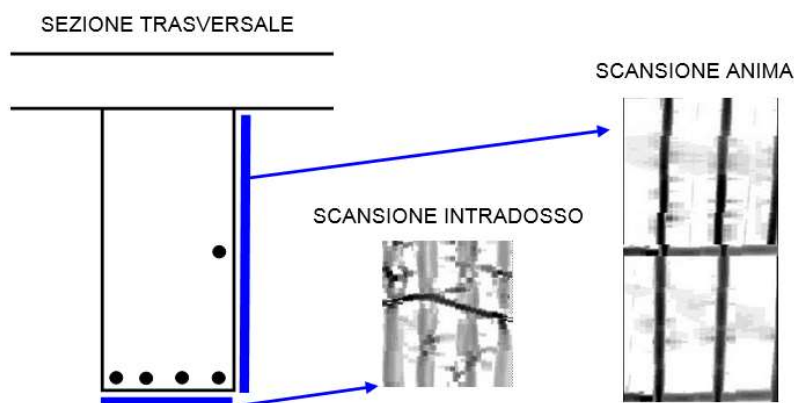


Figura 36 - Rilievo delle barre di armatura delle travi

Eventuali ed ulteriori prescrizioni di approfondimento sono riportati nel PIN.

Solette e sbalzi.

Sulle solette e sugli sbalzi le misure dovranno essere eseguite in corrispondenza delle zone indicate dalle Specifiche indicate al §1.3 della presente Istruzione. Su tali elementi è necessario distinguere la modalità d'intervento dall'estradosso dell'elemento dalla modalità d'intervento dal suo intradosso.

Il rilievo dei dettagli costruttivi dall'estradosso dell'elemento, solitamente, avviene contestualmente al rilievo dello spessore e/o stratigrafia della pavimentazione (trattato al §2.3.1), mentre il rilievo dall'intradosso è connesso alla presenza o meno di lastre (es. lastre predalles, travetti prefabbricati); nel caso di presenza di lastre, si opererà dall'estradosso, salvo diversi accordi e procedure concordate con il COMMITTENTE.

I rilievi dovranno essere effettuati seguendo la procedura sotto descritta:

a) intervento da estradosso:

- 1) richiesta prova georadar: l'individuazione puntuale delle barre su una superficie tale da evidenziare con attendibilità una griglia regolare di armature; esecuzione di una scansione georadar bidimensionale su una superficie di almeno 1,00x1,00 mq con memorizzazione del segnale acquisito e tracciamento della posizione delle barre individuate sulla superficie dell'elemento stesso; la scansione delle barre sulla superficie suddetta può avvenire secondo una maglia formata da direttrici ortogonali, trasversali e longitudinali, a passo di 25 cm. L'estensione del rilievo deve essere tale, comunque, da cogliere il numero di armature contenute in almeno 1,00 m di elemento.

Se in dotazione dell'ESECUTORE, è possibile procedere anche con georadar multicanale (con antenne polarizzate), al fine di procedere in maniera speditiva.

Questa indagine con georadar, solitamente, avviene contestualmente al rilievo dello spessore della pavimentazione (trattato al §2.3.1) e si potrà procedere in unica acquisizione: verrà disposta una griglia di rilevazione composta da due direzioni ortogonali, una nella direzione dell'opera e l'altra a questa trasversale, con passo tra le direttrici da valutare in sito.

E' possibile impiegare la stessa strumentazione in entrambi i casi, a richiesta dell'ESECUTORE e di concerto con il COMMITTENTE, sulla base del livello di dettaglio richiesto.

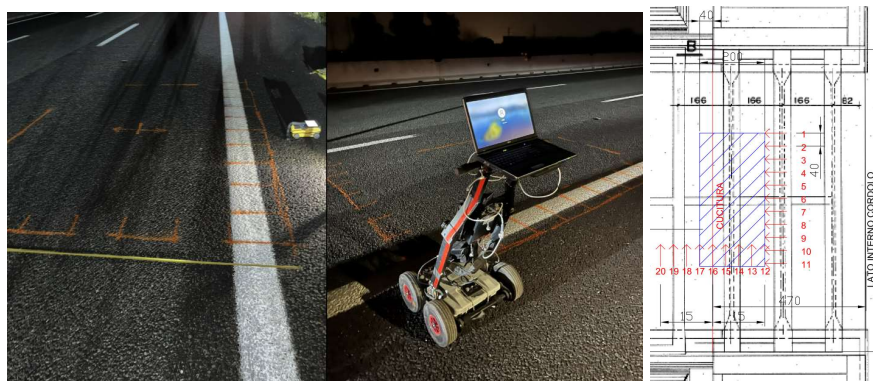


Figura 37 - Rilievo delle barre di armatura della soletta

Potrebbe essere richiesto un saggio locale di taratura, in questo caso procedere alla rimozione della pavimentazione, per la quale si potrà fare riferimento alle modalità di cui §2.3.1.1 con una superficie strettamente limitata (al massimo 50x50 cm); successivamente procedere come dal punto c).

- 2) Richiesta saggio ed esecuzione di tasca: è necessario rimuovere la pavimentazione, per la quale si potrà fare riferimento alle modalità di cui §2.3.1.1.

Dopo aver messo in vista l'estradosso di calcestruzzo della soletta, proseguire con l'individuazione puntuale delle barre su una superficie tale da evidenziare con attendibilità una griglia regolare di armature: esecuzione di una scansione georadar bidimensionale su una superficie di almeno 1,00x1,00 mq con memorizzazione del segnale acquisito e tracciamento della posizione delle barre individuate sulla superficie dell'elemento stesso; la scansione delle barre sulla superficie suddetta può avvenire secondo una maglia formata da direttrici ortogonali, trasversali e longitudinali, a passo di 25 cm. L'estensione del rilievo deve essere tale, comunque, da cogliere il numero di armature contenute in almeno 1,00 m di elemento.

Questa indagine mediante saggio, solitamente, avviene contestualmente al rilievo dello spessore della pavimentazione (trattato al §2.3.1).

Proseguire successivamente come dal punto c).

Salvo diverse indicazioni riportate nel PIN, il rilievo delle armature è eseguito al di sopra ed in asse alla trave, al fine di rilevare quelle resistenti al momento negativo, in particolar modo quando si opera sugli sbalzi, come indicato in figura sotto.

- b) intervento da intradosso, in assenza di lastre: individuazione puntuale delle barre su una superficie tale da evidenziare con attendibilità una griglia regolare di armature: esecuzione di una scansione georadar bidimensionale su una superficie di almeno 1,00x1,00 mq con memorizzazione del segnale acquisito e tracciamento della posizione delle barre individuate sulla superficie dell'elemento stesso; la scansione delle barre sulla superficie suddetta può avvenire secondo una maglia formata da direttrici ortogonali, trasversali e longitudinali, a passo di 25 cm. L'estensione del rilievo deve essere tale, comunque, da cogliere il numero di armature contenute in almeno 1,00 m di elemento.

Salvo diverse indicazioni riportate nel PIN, il rilievo delle armature è eseguito al centro del campo di soletta (mezzeria interasse travi) al fine di rilevare quelle resistenti al momento positivo. E' possibile estendere il rilievo fino alla trave allo scopo di rilevare le armature sagomate che risalgono all'estradosso (in base al copriferro o per differenza rispetto quelle rilevate in mezzeria), come indicato in figura sotto. Nel caso di necessità di procedere dall'estradosso per la presenza di lastre d'intradosso, si opererà in maniera speculare nella stessa sezione.

Proseguire successivamente come dal punto c).

- c) demolizione locale del copriferro, su una superficie di almeno 10 x 10 cm in corrispondenza dell'incrocio tra una barra verticale ed una staffa, con messa a nudo delle barre e misura del diametro e del copriferro mediante calibro. Se la finalità principale è quella di eseguire sistematicamente saggi locali, le demolizioni saranno diffuse sull'area individuata (rimozione copriferro per almeno 1 mq di cls tanto quanto le dimensioni della tasca se in estradosso, due strisce ortogonali larghe 10 cm e lunghe 50 cm se in intradosso), altrimenti se i saggi sono a corredo delle prove georadar, con finalità di taratura, si procederà all'esecuzione di demolizione locale del copriferro su di un nodo per ogni area;
- d) sigla identificativa del punto di prova (§1.2.1) e documentazione fotografica;
- e) ubicazione del centro dell'area scansionata rispetto un punto notevole, ad esempio spigolo cordolo e giunto opera (se estradosso) oppure rispetto la parete dell'anima di una trave e di un traverso (se intradosso), tale da poter eseguire il confronto con elaborati progettuali/as-built (se presenti);

- f) ripristino del copri ferro demolito come da schema Tipologici Ripristini Indagini ALLEGATO 1 e, se l'intervento riguarda l'estradosso con demolizione della pavimentazione, ripristino della stessa come al §2.3.1.1.



Figura 38 – Saggio in estradosso soletta con rimozione pavimentazione

Si precisa che le operazioni sopra descritte, potrebbero essere richieste in concomitanza ad altre indagini, ad esempio prelievo di barre d'armatura o di carotaggi.



Figura 39 - Rilievi principali delle barre di armatura delle solette e sbalzi

Eventuali casi particolari saranno concordati con il COMMITTENTE, ad esempio nel caso in cui l'opera presentasse limitazioni all'accessibilità dall'intradosso oppure o situazioni di incompatibilità con l'esercizio autostradale, tale da rendere impraticabile la rimozione dell'asfalto: in questi casi, si potrebbe procedere con georadar a media o bassa frequenza, dall'estradosso, provando a determinare le quantità di armature sia superiori sia inferiori della soletta.

4.4.6 Presentazione dei risultati

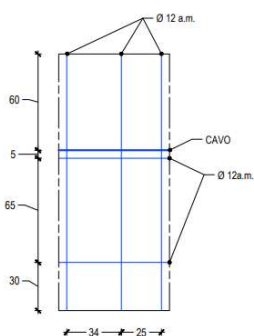
Per ogni elemento sottoposto ad **indagine pacometrica/georadar** dovrà essere prodotta una scheda contenente:

- identificazione dell'elemento e ubicazione della prova su pianta e/o prospetti e/ sezioni, rispetto ad un punto noto (come indicato per le singole modalità in precedenza);
- sigla della prova;
- sezione retta dell'elemento con ubicazione di tutte le barre ;indicare: numero/passo delle barre, diametro (se stimato ed eventualmente quello di taratura), e copriferro di tutte le barre (se stimato ed eventualmente quello di taratura);
- radargrammi o immagini scan con indicazione delle barre e riferimenti rispetto la sezione retta dell'elemento;
- documentazione fotografica, come indicato per le singole modalità di prova.

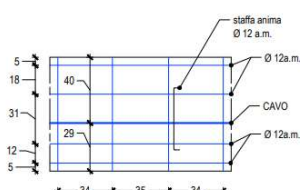
Nel caso dell'esecuzione di **saggi locali** (contestuali alle prove pacometriche/georadar o indipendenti), alla scheda di cui sopra si modificherà come segue:

- sezione retta dell'elemento con ubicazione di tutte le barre, distinguendo quelle effettivamente rilevate e quelle rilevate mediante strumentazione
- indicare: numero/passo delle barre, diametro (stimato o misurato), tipo (aderenza migliorata o lisce) e copriferro di tutte le barre (stimato o misurato),
- radargrammi o immagini scan con indicazione delle barre e riferimenti rispetto la sezione retta dell'elemento,
- documentazione fotografica, come indicato per le singole modalità di prova;
- se indicato nel PIN, potrebbe essere richiesta la descrizione dello stato di conservazione delle armature rilevate (es. ossidate, corrose, con sezione ridotta).

Anima trave Saggio eseguito a 2,5 m da appoggio pila 2



Bulbo inferiore Trave Saggio eseguito in mezzeria



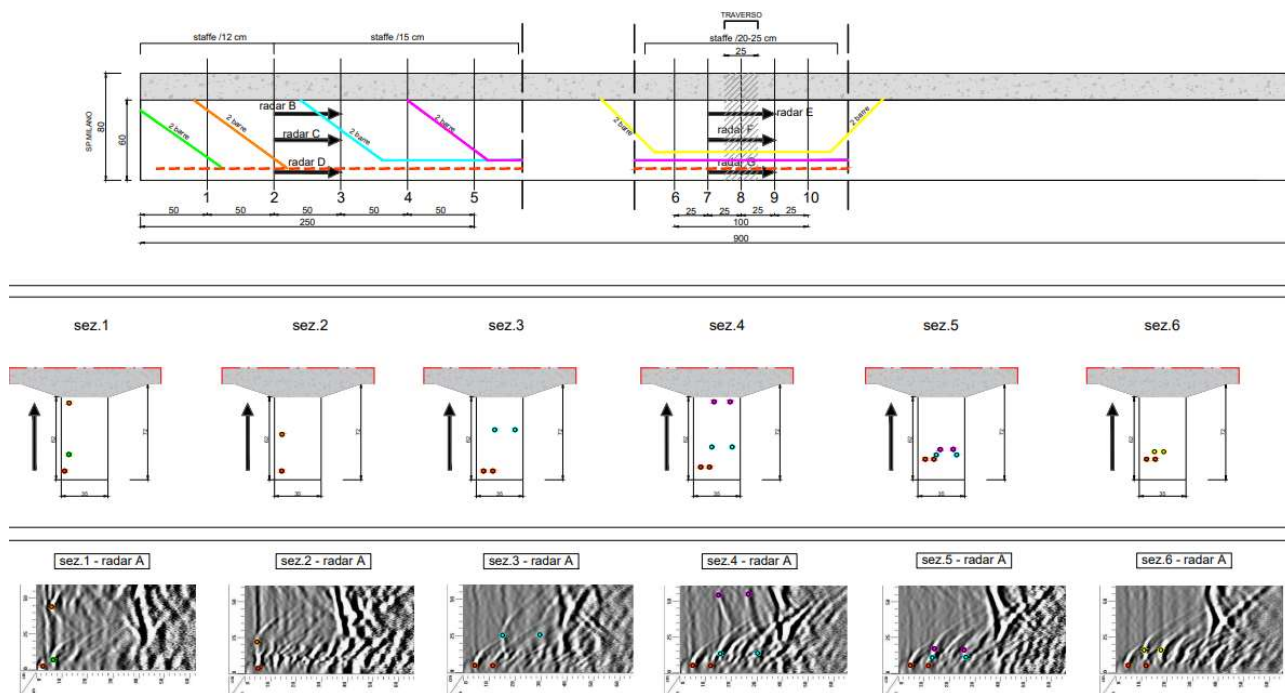
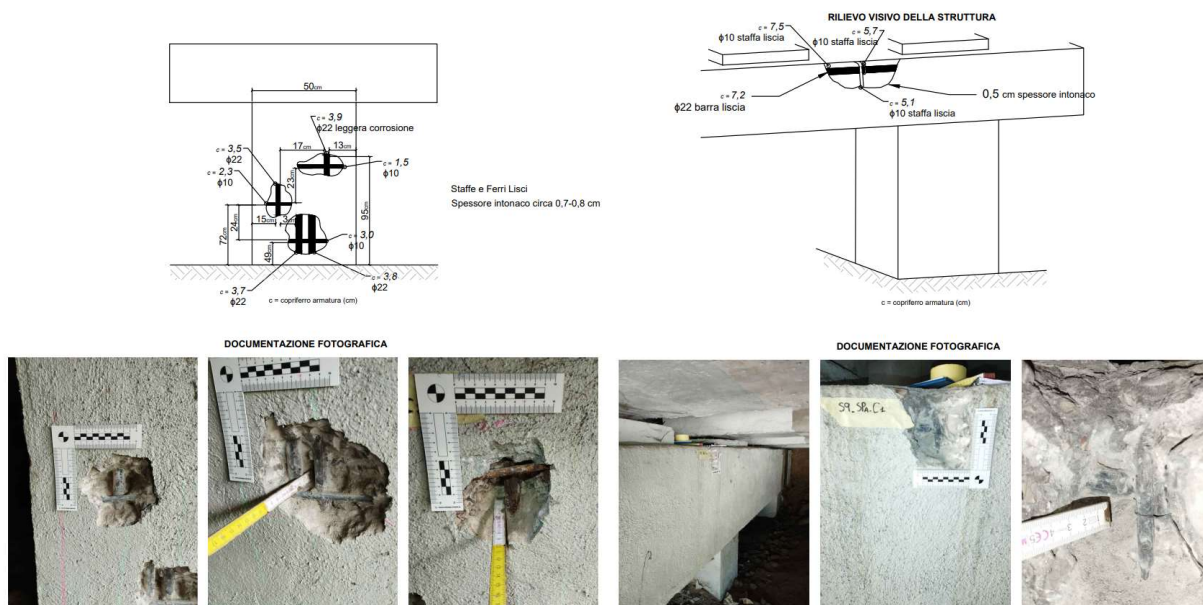


Figura 40 – Esempio restituzione saggi e/o pacometrie/ georadar su trave



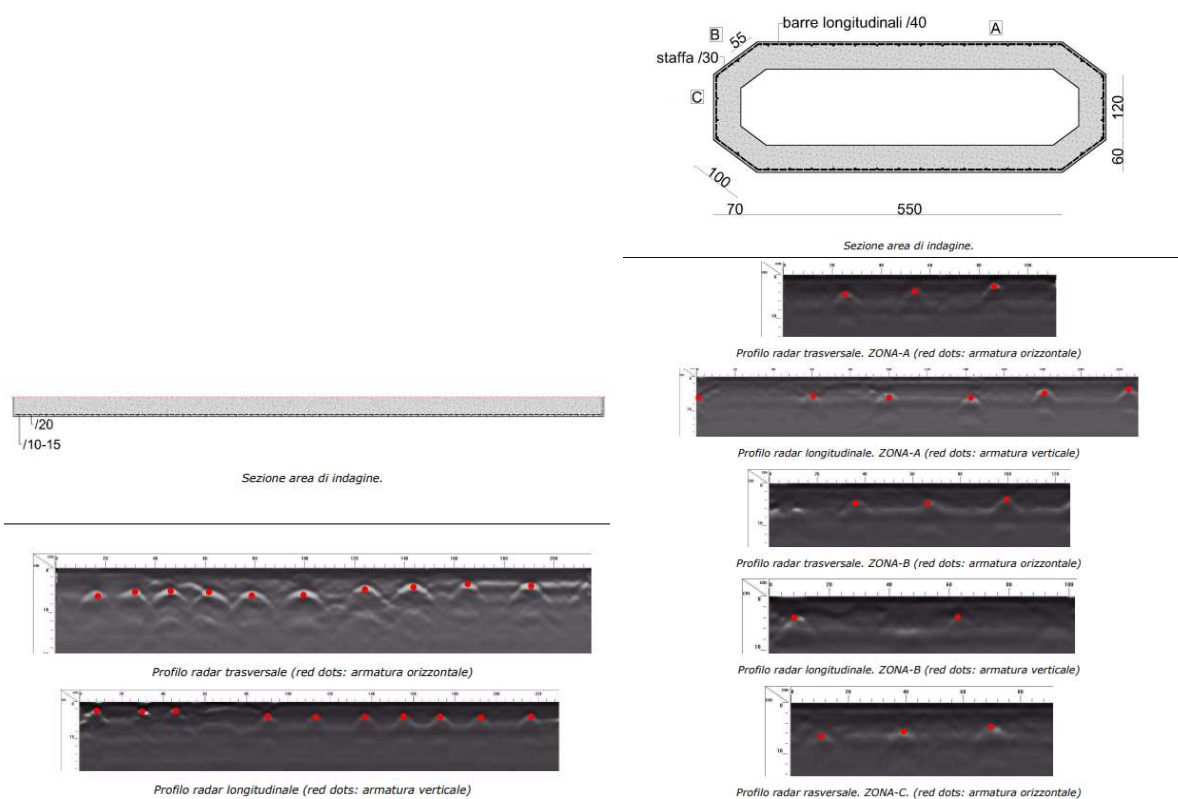
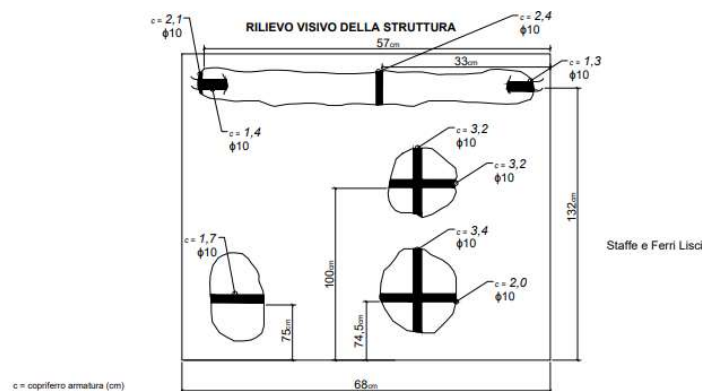


Figura 41 – Esempio restituzione saggi e/o pacometrie/georadar su pile/pulvini e spalle



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



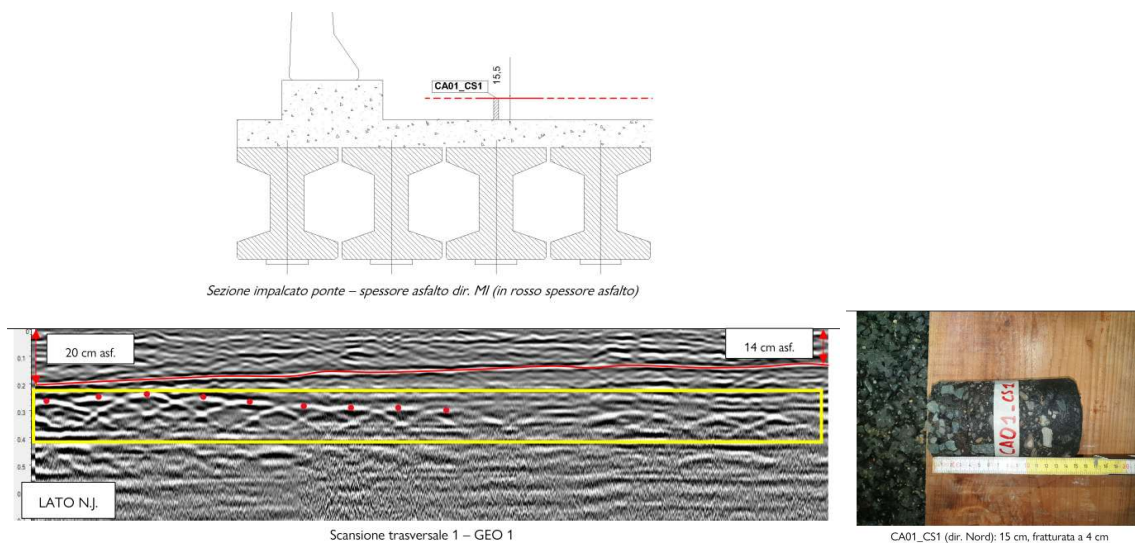


Figura 42 – Esempio restituzione saggi e/o pacometrie/georadar intradosso ed estradosso (con carotaggio asfalto)

4.5 Prove non distruttive sui calcestruzzi

4.5.1 Oggetto

Il presente paragrafo ha come oggetto la definizione delle procedure per delle prove non distruttive per la valutazione delle caratteristiche meccaniche del calcestruzzo degli elementi strutturali in c.a.

4.5.2 Descrizione del metodo

Verranno presi in considerazione i seguenti principali metodi di indagine non distruttiva:

- a) Il **metodo ultrasonico** consiste essenzialmente nell'analisi della propagazione all'interno del calcestruzzo di onde elastiche longitudinali di compressione di frequenza compresa tra 40 e 60 KHz. L'onda d'urto, generata da un opportuno emettitore in un punto dell'elemento viene captata da un ricevitore posizionato in un altro punto, e trasmessa sotto forma di segnale elettrico ad un oscilloscopio, che ne permette la visualizzazione e la misura del tempo T intercorso tra emissione e ricezione. Dividendo la distanza D tra i due punti per il tempo T si ricava la velocità V delle onde elastiche nel materiale, che è funzione delle caratteristiche elastiche del mezzo (modulo di elasticità e rapporto di Poisson dinamici) e della sua densità.
- b) Il **metodo sclerometrico** consiste nel misurare l'entità del rimbalzo di una massa battente che, azionata da una molla, impatta sulla superficie del calcestruzzo con un'energia nota. L'indice di rimbalzo, misurabile mediante un cursore di lettura trascinato su una scala lineare, alloggiata nella cassa dello strumento, permette di valutare la durezza superficiale del calcestruzzo e può essere utilizzato per valutarne l'omogeneità in sito, per stimarne le variazioni nel tempo delle proprietà e per delimitare regioni superficiali degradate.
- c) Il **metodo pull-out** consiste nel misurare la forza necessaria per estrarre da un elemento in calcestruzzo un inserto metallico standard, precedentemente introdotto in un foro appositamente praticato. La forza di estrazione, applicata mediante un martinetto che mediante un anello di contrasto appoggiato sul calcestruzzo esercita una forza di trazione sullo stelo dell'inserto, è direttamente legata alla classe di resistenza del calcestruzzo e può essere utilizzata per valutare le caratteristiche fisiche del materiale.

I **metodi combinati** consentono di ottenere una più attendibile valutazione delle caratteristiche meccaniche dei calcestruzzi, *combinando* risultati di due o più metodi di indagine. In particolare, il metodo Sonreb combina l'utilizzo dei metodi ultrasonico e sclerometrico.

4.5.3 Normativa di riferimento

- UNI EN 12504-2:2021 "Prove sul calcestruzzo nelle strutture - Parte 2: Prove non distruttive - Determinazione dell'indice sclerometrico".
- UNI EN 12504-3:2005 "Prove su calcestruzzo nelle strutture – Determinazione della forza di estrazione".
- UNI EN 12504-4:2021 "Prove sul calcestruzzo nelle strutture - Parte 4: Determinazione della velocità di propagazione degli impulsi ultrasonici".
- UNI EN 13791:2019 "Valutazione della resistenza a compressione in sito nelle strutture e nei componenti prefabbricati di calcestruzzo";
- Linee guida per la valutazione delle caratteristiche del calcestruzzo in opera – Settembre 2017- CSLP;
- Quaderni tecnici ANAS – Volume 1.

La prova di pull-out può essere eseguita sia con tassello tradizionale tipo "fischer" oppure con tassello tipo "thoro"

4.5.4 Strumentazione e attrezzatura

- Pacometro/Georadar ad alta frequenza;
- gruppo elettrogeno;
- fotocamera digitale;
- mazzetta.

Ultrasuoni

- Strumento per misure ultrasoniche su calcestruzzo, con le caratteristiche indicate nella norma di riferimento;
- barra di taratura delle misure ultrasoniche;
- gel siliconico/accoppiante.

Sclerometro

- Sclerometro con le caratteristiche indicate nella norma di riferimento;
- incudine di acciaio di riferimento per la taratura per sclerometro;
- pietra abrasiva.

Pull-Out

- Attrezzatura conforme alla norma di riferimento, composta da sistema di carico (martinetto+pompa idraulica), attrezzatura per afferraggi, tassello tipo "thoro";
- trapano;
- dispositivo che registri la forza massima applicata.

4.5.5 Individuazione della zona di misura

- a. la zona deve essere caratterizzata come da norma di riferimento relativa alla prova indicata, oltre ad essere esente da lesioni, microfessurazioni, vespai, distacchi, polveri...
La zona potrebbe essere esaminata in via preliminare previa battitura con mazzetta;
- b. sono escluse dalle indagini le zone oggetto di interventi di rinforzo (es. ringrossi di calcestruzzo, fibre, incamiciature...), se non diversamente indicato nel PIN;
- c. il rilievo delle barre, tramite pacometro o tramite georadar, deve essere riportato sulla superficie dell'elemento;
- d. siglare in maniera univoca la zona di misura come indicato al §1.2.1.

4.5.6 Scelta delle metodologie di indagini

La modalità di prova viene indicata nel PIN. In ogni caso, sugli elementi strutturali (spalle, travi, solette...) si procederà ad un'unica modalità di prova combinata (solitamente o Sonreb - ultrasuoni/sclerometro o pull-out-sclerometro, i cui singoli metodi sono trattati al §4.5.7). Con riferimento alla figura riportata di seguito, è ammessa l'esecuzione di prove ultrasoniche per trasmissione diretta (trasparenza) o semidiretta (angolo), ma non l'esecuzione di prove ultrasoniche per trasmissione indiretta (superficie).

4.5.7 Modalità di esecuzione delle misure ultrasoniche

L'esecuzione delle misure ultrasoniche deve avvenire secondo le indicazioni della norma di riferimento. Di seguito si riportano le indicazioni principali:

- a) Con riferimento alle modalità di propagazione delle onde ultrasoniche nell'elemento, le misure ultrasoniche dovranno essere di norma eseguite per trasmissione *diretta* (i due trasduttori sono applicati su due facce opposte dell'elemento da saggiare) o, nel caso di elementi cavi o di spessore superiore agli 80 cm, per trasmissione *semidiretta* (i due trasduttori sono applicati su due facce adiacenti dell'elemento da saggiare). E' necessario valutare la massima distanza a cui devono essere poste le sonde, allo scopo di scegliere l'adeguata strumentazione. La trasmissione indiretta (con i due trasduttori applicati sulla stessa faccia dell'elemento) non è ammessa, salvo diversi accordi con il COMMITTENTE, e sarà da eseguire sulla base delle indicazioni di cui all'APPENDICE A della UNI EN 12504-4:2005.

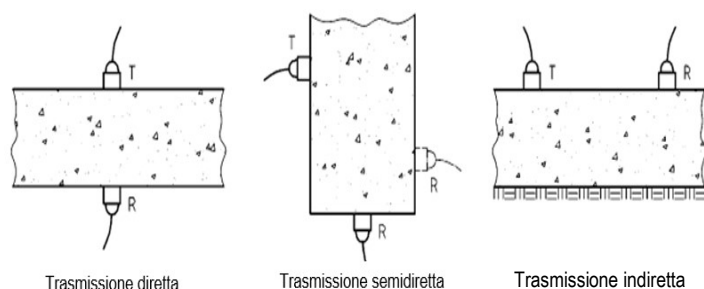


Figura 43 - Modalità di propagazione delle onde ultrasoniche

- b) esecuzione di prova pacometrica/georadar per tracciamento armature; pulire e spianare la superficie con la apposita pietra abrasiva;
- c) tracciamento dei punti di misura per misure ultrasoniche per trasmissione diretta o semidiretta: in ogni zona di indagine vanno tracciate almeno 5 coppie di punti da porre sulle due facce dell'elemento; se possibile, vanno adeguatamente sfalsati sia in orizzontale che in verticale, allo scopo di evitare che le barre di armatura possano costituire percorsi preferenziali per le onde immesse (gli angoli di inclinazione dei percorsi rispetto alle superfici dell'elemento devono preferibilmente risultare prossimi a 45°, e comunque compresi tra 30° e 60° (vedi figura seguente)). La lunghezza totale dei percorsi deve essere maggiore di 30 cm.

Con riferimento alla figura, la lunghezza del percorso delle onde ultrasoniche può essere calcolata con le seguenti relazioni:

- misure per trasmissione diretta: $D = \sqrt{(h^2 + d^2 + s^2)}$;
- misure per trasmissione semidiretta: $D = \sqrt{(h^2 + d_1^2 + d_2^2)}$.

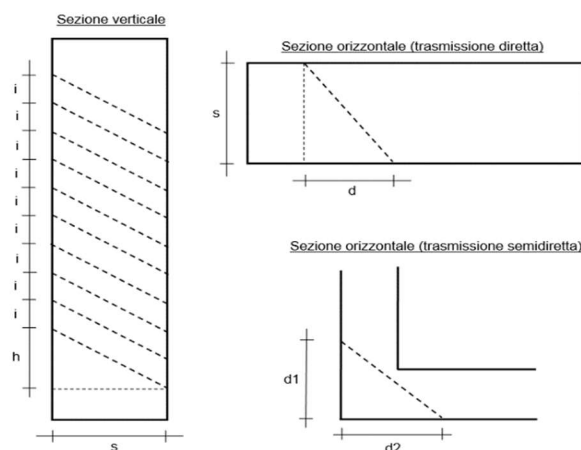


Figura 44 - Schema misure ultrasoniche

- d) i punti di misura tracciati non devono sovrapporsi alle barre di armatura;
- e) rilevare con la massima precisione possibile le distanze dei percorsi ultrasonici individuati in c);
- f) calibrazione della strumentazione su apposita barra di taratura e annotazione del tempo t_0 (come riportato al §4.5.10);
- g) eseguire le misure ultrasoniche sui percorsi individuati in c) ed e) ed annotare la misura del tempo di volo dell'onda ultrasonica relativa al primo impulso (figura successiva). Tale operazione può avvenire manualmente o automaticamente tramite software della centralina di acquisizione. Tra i trasduttori e la superficie di calcestruzzo, va interposto, solitamente, grasso al litio per facilitare il contatto.
- h) annotare sui fogli di campagna la distanza dei percorsi D (tra le coppie di punti), i tempi di volo T del primo impulso per ogni percorso, lo schema grafico delle misure eseguite;
- i) sigla della prova come indicato al §1.2.1;
- j) documentazione fotografica della zona di misura.

Modalità di esecuzione della prova differenti da quella sopra indicata, preventivamente concordata con il COMMITTENTE, dovranno essere sufficientemente spiegate all'interno del report di prova restituito dall'ESECUTORE.

4.5.8 Modalità di esecuzione delle misure sclerometriche

L'esecuzione delle misure sclerometriche deve avvenire secondo le indicazioni della norma di riferimento. Di seguito si riportano le indicazioni principali:

- a) esecuzione di prova pacometrica/georadar per l'individuazione delle armature;
- b) la zona di misura deve avere dimensioni pari a circa 15 x 15 cm, inscritta all'interno di una maglia della griglia di armatura e caratterizzata da assenza di vespai, di irregolarità superficiale, di porosità, di umidità...;
- c) pulire ed lisciare la superficie con la apposita pietra abrasiva; in alcuni casi può essere necessario utilizzare uno smerigliatore con mola di diametro di almeno 150 mm, per asportare lo strato superficiale di cls. degradato o irregolare;
- d) tracciare 12 punti di misura sulla superficie su cui eseguire le battute sclerometriche. I punti su cui si effettuano le battute devono risultare:
 - non coincidenti con gli inerti affioranti: la misura deve essere eseguita sulla pasta di cemento;
 - essere distanti almeno 30 mm dagli spigoli dell'elemento;
 - essere distanti almeno 20 mm dalle barre di armatura individuate con il pacometro;
 - essere distanti almeno 20 mm dagli altri punti di battuta.
- e) calibrazione della strumentazione come indicato al §4.5.10;
- f) annotare sui fogli di campagna i 12 valori dell'indice di rimbalzo I rilevati, avendo cura di controllare lo scarto delle misure rispetto il loro valore medio, come da indicazioni UNI, e di riportare la direzione d'urto.
- g) nel caso in cui lo scarto fosse maggiore di quello di norma, ripetere le misure;
- h) sigla della prova come indicato al §1.2.1;
- i) documentazione fotografica della zona di misura.

Lo sclerometro deve essere fatto funzionare solo ad una temperatura compresa tra 0° e 50° C.

4.5.9 Modalità di esecuzione delle prove pull-out

L'esecuzione delle prove di pull-out deve avvenire secondo le indicazioni della norma di riferimento. Di seguito si riportano le indicazioni principali:

Si raccomanda l'ESECUTORE di prestare attenzione ai punti di prova di limitate dimensioni (come i baggioli), per i quali le posizioni andranno attentamente valutate onde evitare rischi seri di danneggiamento.

- a) Esecuzione della prova pacometrica/georadar per il rilievo delle armature.
- b) Individuazione di tre punti di estrazione per ciascuna zona di misura, localizzati come segue:
 - distanza di almeno 80 mm dalle barre di armatura;
 - distanza di almeno 150 mm dagli spigoli dell'elemento;
 - distanza di almeno 200 mm da ogni altro punto di infissione;
 - non coincidenza con gli inerti affioranti: la misura deve essere eseguita sulla pasta di cemento, su una superficie sufficientemente liscia e regolare, caratterizzata da assenza di vespai, di elevata irregolarità superficiale, di forte porosità...; in caso contrario bisognerà pulire ed allisciare la superficie con la apposita pietra abrasiva, per permettere il regolare posizionamento del martinetto.
 - i centri dei provini devono essere disposti a 100 mm dal bordo del calcestruzzo e di centri delle posizioni di prova devono essere distanziati tra di loro di 200 mm. Ognuna delle tre estrazioni dovrà essere eseguita con la relativa procedura, scelta in base all'utilizzo del tassello "fischer" o del tassello "thoro".
- c) Rilevamento della forza F di estrazione, in KN; nel caso di mancata estrazione al raggiungimento della forza di fondo-scala sul manometro, annotare "F.S." sul foglio di campagna;
- d) Le misure rilevate devono essere conformi alla normativa UNI di riferimento (3 estrazioni e calcolo della media tra i 3 valori, qualora uno di questi si discosti di più del 20% dal valore medio, tale valore dovrà essere sostituito dal risultato di un'altra estrazione eseguita in prossimità; se anche in questo caso il criterio di accettazione non risultasse verificato, bisogna ripetere le 3 estrazioni in una nuova zona adiacente);
- e) Il sistema di carico deve essere calibrato come indicato al paragrafo successivo.

4.5.10 Calibrazione e taratura degli strumenti

Calibrazione dello strumento per ultrasuoni

La calibrazione dello strumento ad ultrasuoni va eseguita all'inizio di ogni giornata di lavoro, ed ogni qualvolta vi siano dubbi sulla corretta calibrazione dello strumento, effettuando una misura di propagazione longitudinale sull'apposita barra tarata fornita dal costruttore e caratterizzata da una lunghezza e da una velocità delle onde elastiche ben determinata e quindi da un tempo di riferimento T_{RIF} . La misura deve essere eseguita utilizzando il medesimo gel silconico impiegato per i rilievi sul calcestruzzo e deve essere ripetuta almeno una volta, invertendo la posizione dei trasduttori e verificando la coincidenza tra i tempi t_0 misurati e quelli indicati sulla barra di riferimento T_{RIF} , che devono coincidere. Il valore di taratura T_0 deve essere annotato sui fogli di campagna.

Calibrazione dello sclerometro

La verifica della calibrazione dello sclerometro sull'apposita incudine deve essere effettuata all'inizio di ogni giornata lavorativa, ed ogni qualvolta vi siano dubbi sulla corretta calibrazione dello strumento. L'indice di rimbalzo dello sclerometro, posto in verticale a contatto con l'incudine tarata poggiata per terra, deve risultare compreso tra 78 e 82 (salvo diverse indicazioni del produttore). In caso positivo, appuntare il valore di taratura It sul foglio di campagna, in maniera tale da poter correggere in fase di elaborazione i valori rilevati in cantiere

con il coefficiente moltiplicativo 80/lit. In caso negativo, non utilizzare lo sclerometro e segnalare il difetto al Responsabile della manutenzione dello strumento che dovrà provvedere alla sua taratura.

Taratura del Pull-out

L'intero sistema di carico per la prova di Pull-out, costituito da martinetto, tubi, pompa e manometro dovrà essere sottoposto a taratura presso un laboratorio SIT con cadenza annuale, il cui certificato di taratura dovrà essere allegato al report di prova, con evidenza in particolare dell'area di spinta del martinetto e dell'errore commesso tra carico reale letto al manometro e carico teorico di confronto

4.5.11 Presentazione dei risultati

Misure ultrasoniche

L'elaborazione delle prove ultrasoniche consiste essenzialmente nel calcolo della velocità delle onde elastiche nel calcestruzzo, a partire dalla misura dei tempi: il calcolo delle velocità V in m/s, avviene con la seguente relazione:

$$V = \frac{D}{T - T_0 + T_{RIF}}$$

dove D è la lunghezza della base di misura, T il tempo di misura, T_0 il tempo misurato sulla barra di taratura e T_{RIF} il tempo di riferimento della barra di taratura;

Per ogni punto di prova dovranno essere rilevati i seguenti dati:

- identificazione dell'elemento/struttura di calcestruzzo;
- identificazione dell'area di prova e ubicazione rispetto punti noti (es. appoggio);
- sigla della prova come indicato al §1.2.1;
- tipologia e marca della strumentazione impiegata;
- indicazione del numero di tutte le misure eseguite per punta di prova e della modalità di trasmissione effettuata (diretta, semidiretta, indiretta);
- temperatura del calcestruzzo al momento della prova (se pertinente con l'intervallo 10°C e 30°C indicato nell'appendice B di UNI EN 12504-4:2005);
- velocità di propagazione massima. Minima e media e resistenza del calcestruzzo associata;
- documentazione fotografica;
- dichiarazione della persona direttamente responsabile che la prova sia stata eseguita in conformità alla UNI EN 12504-4:2012.

I report delle prove saranno forniti in allegato alla relazione tecnica. Le informazioni sopra rilevate dovranno essere inserite all'interno di una tabella riepilogativa, avente il formato e il contenuto come riportato nell'esempio di seguito.

Il codice di identificazione dei campioni o del punto di prova (§1.2.1) dovrà corrispondere a quello riportato in pianta e/o sezioni. L'ubicazione di ogni prova eseguita, su piante/sezioni rappresentanti gli elementi strutturali indagati, dovrà essere univocamente indicata mediante il corrispondente codice di identificazione riportato sul campione o punto di prova (§1.2.1).

Si riporta un esempio di rappresentazione delle prove:

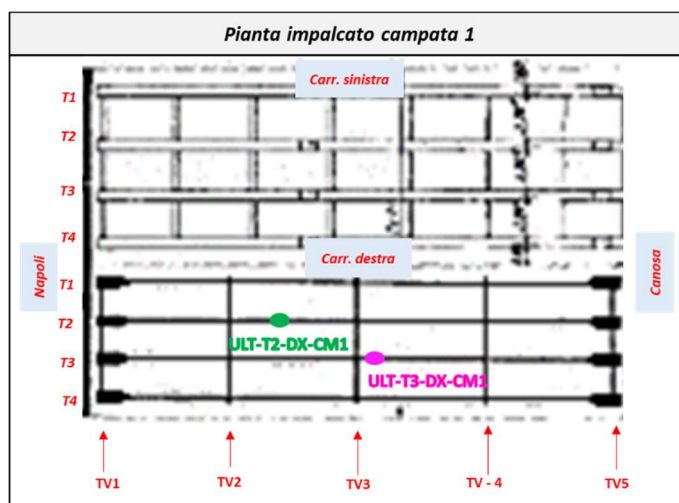


Figura 45 – Ubicazione prove in pianta e documentazione fotografica – Prove ultrasoniche

Misure sclerometriche

L'elaborazione delle misure sclerometriche consiste essenzialmente nel riportare la serie di battute, con indicazione del valore medio, valore massimo e minimo e, successivamente, sulla base della curva di correlazione fornita dal produttore, conversione dell'indice di rimbalzo in Rc corrispondente (in funzione dell'inclinazione dello strumento).

Per ogni punto di prova dovranno essere rilevati i seguenti dati:

- identificazione dell'elemento/struttura di calcestruzzo;
- identificazione dell'area di prova e ubicazione rispetto punti notevoli;
- sigla della prova come indicato al §1.2.1;
- tipologia e marca della strumentazione impiegata;
- indicazione dell'indice sclerometrico relativo a tutte le letture, riportando anche il valore medio, massimo e minimo;
- dettagli del calcestruzzo (se noti) e sua preparazione;
- indicazione su resistenza a compressione Rc individuata e corrispondente espressione utilizzata per la correlazione tra Rc e indice sclerometrico (l'ESECUTORE deve fornire la curva standard dello strumento o la formula di correlazione);
- documentazione fotografica;
- dichiarazione della persona direttamente responsabile che la prova sia stata eseguita in conformità alla UNI EN 12504-4:2012.

I report delle prove saranno forniti in allegato alla relazione tecnica. Le informazioni sopra rilevate dovranno essere inserite all'interno di una tabella riepilogativa, avente il formato e il contenuto come riportato nell'esempio di seguito.

Il codice di identificazione dei campioni o del punto di prova (§1.2.1) dovrà corrispondere a quello riportato in pianta e/o sezioni. L'ubicazione di ogni prova eseguita, su piante/sezioni rappresentanti gli elementi strutturali indagati, dovrà essere univocamente indicata mediante il corrispondente codice di identificazione riportato sul campione o punto di prova (§1.2.1).

Si riporta un esempio di rappresentazione delle prove:

N°	Elemento indagato	Zona di rilievo	Indice di rimbalzo									
[...]	Travi	[...]	N ₁	N ₂	N ₃	N ₄	N ₅	N ₆	N ₇	N ₈	N _{medio}	RC [Mpa]
1		SCL-T3-DX-CM1										
2		SCL-T2-DX-CM2										
3												
[...]												

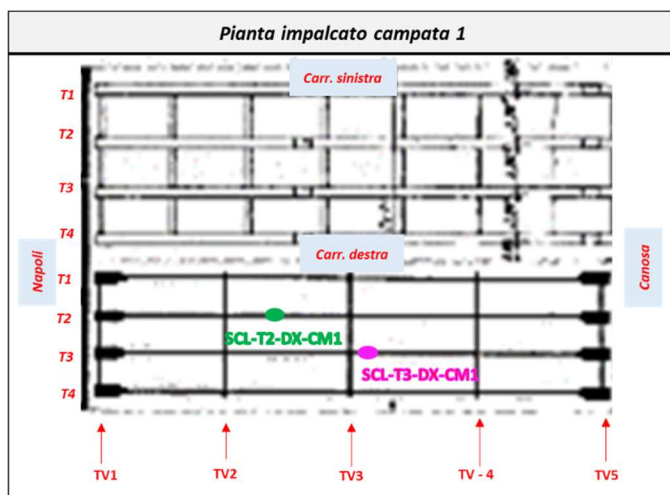


Figura 46 – Ubicazione prove in pianta e documentazione fotografica – Prove sclerometriche

Prove Pull-Out

L'elaborazione della prova consiste essenzialmente nella valutazione della forza di estrazione del tassello. Successivamente è possibile stimare la resistenza R_c associata applicando, ad esempio, la correlazione della norma di riferimento o quella fornita dal produttore della strumentazione.

Per ogni punto di prova dovranno essere rilevati i seguenti dati:

- identificazione dell'elemento/struttura di calcestruzzo;
- identificazione dell'area di prova e ubicazione rispetto punti notevoli;
- sigla della prova come indicato al §1.2.1;
- tipologia e marca della strumentazione impiegata;
- indicazione dei tre valori della forza di estrazione F e del loro valore medio;
- indicazione su resistenza a compressione R_c individuata e corrispondente espressione utilizzata per la correlazione tra R_c ed F ;
- documentazione fotografica;
- dichiarazione della persona direttamente responsabile che la prova sia stata eseguita in conformità alla UNI EN 12504-4:2012.

I report delle prove saranno forniti in allegato alla relazione tecnica. Le informazioni sopra rilevate dovranno essere inserite all'interno di una tabella riepilogativa, avente il formato e il contenuto come riportato nell'esempio di seguito.

Il codice di identificazione dei campioni o del punto di prova (§1.2.1) dovrà corrispondere a quello riportato in pianta e/o sezioni. L'ubicazione di ogni prova eseguita, su piante/sezioni rappresentanti gli elementi strutturali indagati, dovrà essere univocamente indicata mediante il corrispondente codice di identificazione riportato sul campione o punto di prova (§1.2.1).

Si riporta un esempio di rappresentazione delle prove:

N°	Zona di rilievo	Lecture	Esecuzione pulizia foro	Tipo di tassello	Forza di estrazione	R_c	R_{cMEDIA}
[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[kN]	[Mpa]	[Mpa]
1	PUL1-T3-DX-CM1	Prova 1	si				
		Prova 2	si				
		Prova 3	si				
2	PUL2-T3-DX-CM1	Prova 1	si				
		Prova 2	si				
		Prova 3	si				

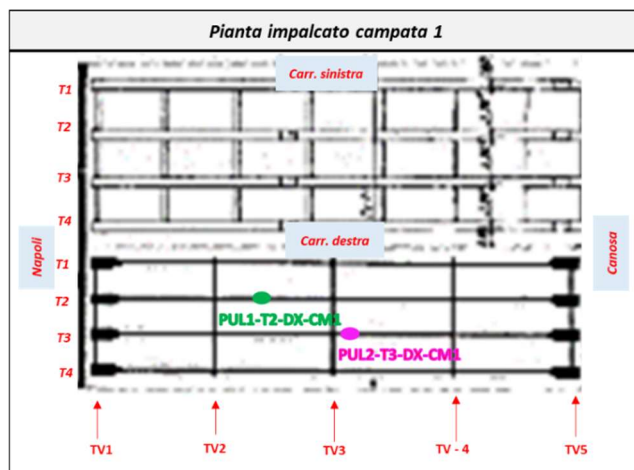


Figura 47 – Ubicazione prove in pianta e documentazione fotografica – Prove di pull out

4.5.12 Combinazione dei metodi

I metodi sopra indicati possono essere combinati tra di loro al fine di risolvere i limiti insiti nelle singole prove stesse. Di seguito si riportano alcune formulazioni di combinazione, a titolo di esempio.

Metodo Sonreb

La resistenza a compressione del calcestruzzo R_{SONREB} in funzione della velocità degli ultrasuoni V (in m/s) e dell'indice di rimbalzo sclerometrico S può essere valutata mediante la correlazione proposta da Di Leo e Pascale (1994):

$$R_{SONREB} \text{ (MPa)} = 1.2 \cdot 10^{-9} \cdot V^{2.446} \cdot S^{1.058}$$

Per la presentazione dei risultati si faccia riferimento a quanto riportato nei rispettivi metodi ultrasonico e sclerometro.

Metodo Pull-Out – sclerometro

La resistenza a compressione del calcestruzzo R_F in funzione della forza di estrazione pull-out F (in KN) può essere valutata mediante la correlazione riportata nella norma UNI EN 13791, par.8.3.3:

$$R_F \text{ (MPa)} = 1.33 \times (F - 10)$$

Analogamente, la resistenza a compressione del calcestruzzo R_S in funzione dell'indice di rimbalzo sclerometrico S può essere valutata mediante la correlazione nella norma UNI EN 13791, par.8.3.3:

$$R_S = 1.25 S - 23 \text{ (per } 20 \leq S \leq 24)$$

$$R_S = 1.73 S - 34.5 \text{ (per } 24 \leq S \leq 50)$$

La resistenza combinata R_{FS} può calcolarsi come media tra R_F e R_S

Per la presentazione dei risultati si faccia riferimento a quanto riportato nei rispettivi metodi pull-out e sclerometro.

4.5.13 Calibrazione dei risultati delle misure delle prove non distruttive combinati

In presenza di prove di rottura per compressione su un numero limitato n di carote prelevate in sito in corrispondenza di zone sulle quali siano state preventivamente eseguite prove non distruttive, con uno dei metodi indicati in precedenza, singoli o, più frequente, combinati, si potrà procedere ad una calibrazione dei risultati di queste prove seguendo la procedura sotto descritta:

- valutazione preliminare della resistenza a compressione $R_{c,sito}$ in ciascuna delle n zone, a partire da prove non distruttive (es. prove SONREB) utilizzando le correlazioni indicate in precedenza;
- prelievo degli n campioni e successive prove di compressione in laboratorio sulle n carote, misurando la resistenza a compressione $R_{c,lab}$;
- per ognuna delle n carote, calcolo del rapporto K tra $R_{c,Lab}$ misurata in laboratorio (resistenza cubica a compressione se desunta da campioni aventi snellezza 1, resistenza cilindrica a compressione se desunta da campioni aventi snellezza 2) e la corrispondente resistenza a compressione $R_{c,sito}$ delle n prove non distruttive eseguite di fianco;
- calcolo del valore medio del rapporto K , ossia K_{MEDIO} ;
- per ogni zona oggetto delle prove non distruttive, ma non di prelievo di carote, ricalcolo della resistenza a compressione mediante la relazione $K_{MEDIO} \times R_{c,sito}$.

Per ogni gruppo di risultati di misure calibrate a partire da prove distruttive di resistenza a compressione, il report dovrà contenere, in forma tabellare (§4.1.8), almeno:

- identificazione della zona di misura, che coinciderà con le singole prove componenti;

- [illegible]

Tutte le copie disponibili su carta o su qualsiasi altro supporto, escluso l'originale, non sono soggette a controllo e il loro stato di aggiornamento deve essere verificato prima dell'uso.

4.6 Prove di durezza in sito sulle barre di armatura

4.6.1 Oggetto

La presente procedura ha come oggetto la definizione delle modalità di esecuzione delle misure di durezza superficiale in sito delle barre di armatura di elementi strutturali in c.a. con lo scopo di valutarne l'omogeneità e stimarne la resistenza a trazione.

4.6.2 Principio fisico del metodo

La durezza definisce la resistenza che un materiale oppone ad una deformazione plastica della sua superficie provocata dalla penetrazione di un corpo. La durezza viene misurata secondo diverse scale, le più comuni, per le finalità trattate nel presente paragrafo, sono la scala Brinell e la scala Vickers; si tratta sostanzialmente di misurare le dimensioni dell'impronta lasciata sul metallo da un penetratore sotto un determinato carico di prova. La scala Brinell utilizza un penetratore sferico, la scala Vickers una piramide retta a base quadrata: la durezza così definita viene misurata in laboratorio mediante durometro da banco (metodo diretto).

Per la misura della durezza in sito, invece, si impiegano metodi indiretti che consentono di stimarne il valore attraverso la misura di un determinato parametro: tali metodi sono:

- Metodo UCI, tramite durometro a ultrasuoni;
- Metodo Leeb, tramite durometro a rimbalzo Leeb;
- Metodo della resistività elettrica, mediante durometro resistivo.

4.6.3 Normativa di riferimento

- UNI EN ISO 6506-1:2015 "Materiali metallici - Prova di durezza Brinell - Parte 1: Metodo di prova".
- UNI EN ISO 6507-1:2018 "Materiali metallici - Prova di durezza Vickers - Parte 1: Metodo di prova".
- UNI EN ISO 18265:2013 "Metallic materials - Conversion of hardness values"
- ISO 16859-1_2015 "Metallic materials – Leeb hardness test – Part 1: Test Method"
- ASTM 1038 "Standard Test Method for Portable Hardness Testing by the Ultrasonic Contact Impedance Method"
- ASTM A370 "Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products"
- DIN 50158-1 "Metallic materials - Hardness testing with portable measuring instruments operating with electrical penetration depth - Part 1: Test method."

4.6.4 Metodi di prova indiretti in sito

Metodo Leeb.

La prova di durezza Leeb è un metodo di prova dinamico per la determinazione della durezza dell'acciaio: il metodo consente di determinare la misura della durezza Leeb, attraverso la quale è poi possibile passare alla durezza effettiva es. secondo scala Brinell o Vickers, secondo formule normalizzate o tabelle, e da questa al valore di resistenza a rottura dell'acciaio esaminato (norma ASTM A370 o UNI EN ISO 18265:2013).

Per determinare il valore di durezza di un provino si misura la velocità di un corpo di battuta prima (proiettato da una forza elastica) e dopo l'impatto (quando il campione subisce una deformazione elastica e plastica a seguito del contatto con il corpo di battuta, che quindi elasticamente rimbalza): il rapporto tra velocità di impatto e velocità di rimbalzo è la misura della durezza dinamica Leeb del provino.

Le velocità vengono misurate tramite una tensione indotta generata da un magnete in movimento all'interno di una bobina definita nel percussore. Il segnale di tensione indotta viene registrato elettronicamente e i valori di

cresta, ovvero il punto della fase di impatto e quello della fase di rimbalzo, vengono considerati per il calcolo della durezza Leeb.

Metodo UCI.

Il procedimento UCI (Ultrasonic Contact Impedance) si basa sul principio di una sonda che, grazie a una molla, oscilla ad una data frequenza di risonanza, la quale diminuisce quando questa sonda (avente punta con diamante conico) penetra nell'elemento analizzato. La sonda viene spinta contro l'elemento sotto un determinato carico (20, 50 kN...). Il cambiamento di risonanza dipende dall'elasticità del materiale e lo spostamento di frequenza è proporzionale alla radice quadrata della superficie di pressione. La centralina del durometro a ultrasuoni misura il cambio di frequenza e calcola il valore della durezza secondo la scala scelta (Vickers o Brinell), tenendo presente il carico della prova e i valori di calibratura. Dal valore di durezza, mediante le tabelle di conversione (norma ASTM A370 o UNI EN ISO 18265:2013), si stima la tensione di rottura dell'acciaio. La prova è fortemente condizionata dalla rugosità della superficie di prova: solitamente per le condizioni di lavorazione che si riescono a ricavare in sito, la sonda deve essere in grado di applicare un carico a partire da 50 kN.

Metodo resistivo.

Il metodo resistivo si basa sul principio Esatest, ovvero sulla misurazione della resistenza elettrica residua a seguito della penetrazione. Il metodo mette in relazione la penetrazione nel materiale della sonda con la variazione della resistenza elettrica residua della parte di penetratore non penetrato, che costituisce la grandezza fisica misurata. Dal valore di durezza, mediante le tabelle di conversione (norma ASTM A370 o UNI EN ISO 18265:2013), si stima la tensione di rottura dell'acciaio.

La misurazione della durezza, calcolata a partire dalla misura della variazione della resistenza elettrica residua, avviene già con carichi molto bassi e consente di generare impronte estremamente piccole.

4.6.5 Strumentazione e attrezzatura

- Martello demolitore;
- pacometro/georadar ad altra frequenza;
- smerigliatrice angolare con mola abrasiva a grana grossa e a grana fine di diametro 115 mm;
- Dremel;
- gruppo elettrogeno;
- fotocamera digitale;
- durometro tipo UCI con sonda da 50 kN almeno (tipo Proceq o Novatest);
- durometro a rimbalzo tipo LEEB;
- durometro resistivo (tipo Ernst e-handly).

4.6.6 Calibrazione

All'inizio di ogni giorno di lavoro dovrà essere eseguita la verifica della calibrazione e del corretto funzionamento dello strumento, utilizzando l'apposita incudine e seguendo le indicazioni riportate nel manuale dello strumento.

4.6.7 Modalità di esecuzione

Le modalità di esecuzione di seguito elencate sono comuni a tutti e tre metodi indiretti indicati in precedenza. Si precisa soltanto che, in particolare quando si prevede l'impiego di durometro LEEB, la barra non deve essere

completamente liberata dal calcestruzzo circostante, ma soltanto per una porzione frontale. Questo in quanto la prova è fortemente influenzata dalla massa dell'elemento da testare, quindi il calcestruzzo ha funzione di contrasto. Se la barra risultasse già libera, potrebbe essere opportuno inserire, ad esempio, dei cunei di contrasto.

Per una maggiore semplicità esecutiva si consiglia di eseguire le prove sulle barre di spigolo.

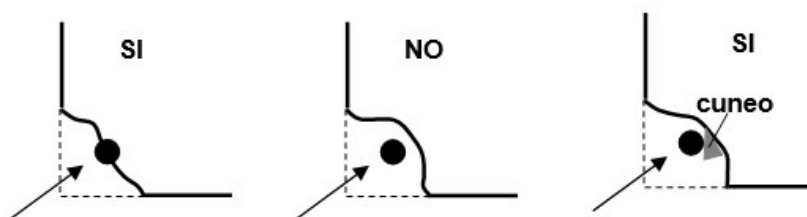


Figura 49 - Schema demolizione copriferro - sezione trasversale

La procedura da seguire è la seguente:

- Individuazione della barra mediante pacometro/georadar;
- demolizione locale del copriferro mediante demolitore elettrico con messa a nudo della barra di armatura da testare, solo frontalmente e non nella parte posteriore, per una lunghezza di almeno 10-15 cm (in base al copriferro);
- spianatura della superficie laterale della barra mediante smerigliatrice angolare con mola abrasiva dapprima a grana grossa per l'eliminazione degli eventuali risalti (in particolare nel caso di barre a aderenza migliorata) e poi a grana fina, in maniera tale da ottenere una superficie piana e liscia il più possibile, di larghezza pari a circa 10 mm e lunghezza pari ad almeno 100-150 mm; se necessario carteggiare manualmente o con Dremel la superficie per avere una lisciatura migliore;

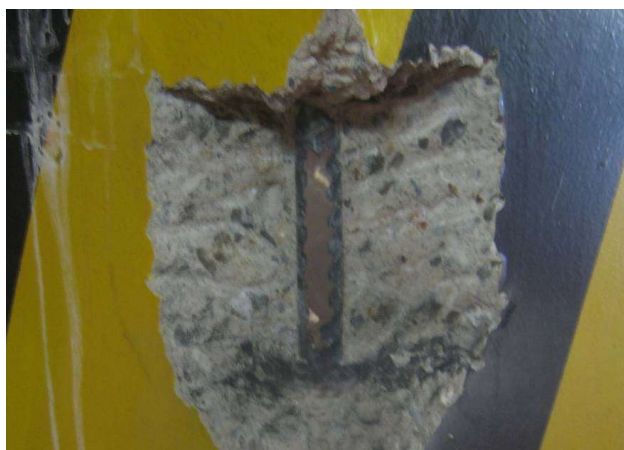


Figura 50 - Preparazione della barra

- esecuzione delle misure mantenendo saldamente lo strumento ortogonale alla superficie della barra precedentemente spianata (vedi figura seguente); qualora venisse impiegato un durometro tipo LEEB, in ciascuna zona di misura dovranno essere eseguite almeno 9 misure, mantenendo almeno 10 mm di distanza tra un punto di misura e il successivo; nel caso di durometro UCI o Ernst le letture saranno pari a 5, se le rilevazioni hanno poca dispersione tra di loro, altrimenti dovranno eseguirsi fino a 10 letture.

Evitare di ripetere le misure sugli stessi punti dove sono già presenti le impronte.



Figura 51 – Esecuzione misurazione

- verifica dei risultati ottenuti in termini di valore assoluto, ossia se in linea con i valori attesi per l'acciaio testato, ed in termini di dispersione sia tra le letture stesse sia rispetto il loro valore medio (è ritenuta accettabile una dispersione di ± 50 HB o HV). L'ESECUTORE deve registrare tutte le letture (quantità indicata al punto precedente), incluse quelle che risultano anomale. I valori di durezza attesi per l'acciaio oggetto d'indagine, quando noti, possono essere indicati nel PIN.
Nel caso in cui i valori di riferimento della durezza non siano in linea con quelli attesi o le letture dovessero essere eccessivamente dispersive occorre contattare il COMMITTENTE.
- documentazione fotografica della zona di prova con sigla di prova (§1.2.1);
- ripristino del copriferro come da schema Tipologici Ripristini Indagini ALLEGATO 1.

4.6.8 Calibrazione delle misure di prove di durezza in sito

In presenza di prove di resistenza a rottura per trazione svolte su un numero limitato n di campioni di barre di armatura prelevati in sito e sui quali siano state preventivamente eseguite le misure di durezza in sito, con uno dei metodi e le scale prima indicate, si potrà procedere ad una calibrazione dei risultati di queste misure seguendo la procedura sotto descritta:

- a) preliminarmente esecuzione della prova di durezza in sito sulle n barre e stima della loro resistenza a rottura per trazione $f_{t,sito}$, sulla base delle tabelle di conversione UNI o ASTM indicate a partire dalla scala di durezza impiegata (Vickers o Brinell);
- b) prelievo delle n barre ed esecuzione, in laboratorio, delle prove di resistenza a rottura per trazione $f_{t,lab}$;
- c) per ognuna delle n barre, calcolo del rapporto K tra la resistenza a rottura per trazione misurata in laboratorio $f_{t,lab}$ e la corrispondente resistenza valutata da prove di durezza in sito $f_{t,sito}$;
- d) calcolo del valore medio del rapporto K , ossia K_{MEDIO} ;
- e) per ogni zona oggetto delle prove di durezza in sito, ma non di prelievo per prove di laboratorio, ricalcolo della resistenza a rottura per trazione mediante la relazione $K_{MEDIO} \times f_{t,sito}$;

4.6.9 Presentazione dei risultati

I risultati delle misure di durezza in sito, ottenuti secondo uno dei tre metodi sopra descritti ed espressi secondo le scale indicate, dovranno essere riportati in un report contenente, in forma tabellare, almeno:

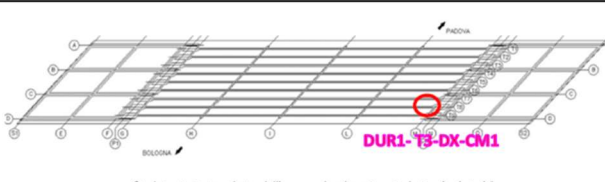
- identificazione dell'elemento/struttura di calcestruzzo;
- identificazione dell'area di prova e ubicazione rispetto punti notevoli;
- sigla della prova come indicato al §1.2.1;
- tipologia e marca della strumentazione impiegata;
- diametro della barra oggetto di prova;
- le misure di durezza eseguite (n°9 misure nel caso di prove con durometro LEEB oppure, nel caso di durometro UCI o Resistivo, almeno n°5 o n°10 misure come da indicazioni ASTM);
- indicazione della durezza media tra le misure eseguite;
- indicazione della direzione d'indagine nel caso di durezza LEEB;
- indicazione della possibile tabella di conversione (secondo ASTM A370 o UNI EN ISO 18265:2013) per la stima della resistenza a rottura per trazione;
- nel caso di calibrazione delle misure della durezza in sito, si riporterà, inoltre:
 - la corrispondenza tra la prova di trazione in laboratorio eseguita sulla barra (riportante sigla campione e $f_{t,lab}$) e la resistenza a trazione $f_{t,sito}$, stimata convertendo i valori delle misure di durezza in sito mediante le tabelle di conversione UNI o ASTM indicate;
 - indicazione del valore di K per ogni barra e K_{MEDIO} .

Il codice di identificazione dei campioni o del punto di prova (§1.2.1) dovrà corrispondere a quello riportato in pianta e/o sezioni.

L'ESECUTORE dovrà utilizzare le tabelle relative riportate nell'Allegato 3, delle quali se ne richiede anche la restituzione editabile in formato Excel .xls.

L'ubicazione di ogni prova eseguita, su piante/sezioni rappresentanti gli elementi strutturali indagati, dovrà essere univocamente indicata mediante il corrispondente codice di identificazione riportato sul campione o punto di prova (§1.2.1).

Di seguito si riporta un esempio del formato e del contenuto.

Prove di durezza su acciaio						
 <p style="text-align: center; font-size: small;">Stralcio pianta impalcato dell'opera – localizzazione indagine (red circle)</p>						
N°	Elemento indagato	Identificazione campioni	ϕ [mm]	Valori di durezza misurati [-]	Valore di durezza medio [-]	Resistenza a trazione stimata [Mpa]
1	Travi	DUR1-T2-DX-CM1				
2		DUR2-T4-SX-CM3				
[...]		[...]				
<div style="border: 1px solid black; width: 100%; height: 40px; margin: 0 auto;"></div> <p style="text-align: center; font-size: x-small;">Indicazione dell'espressione di correlazione tra indice di durezza e resistenza a trazione</p>						

L'ESECUTORE deve utilizzare la suddetta tabella desunta dall'Allegato 3, contenente le informazioni minime, del quale se ne richiede anche la restituzione editabile in formato Excel .xls. Nel caso in cui sia stata eseguita la calibrazione delle prove di durezza a partire da prove di trazione la presentazione dei risultati ottenuti (prove di trazione e prove di durezza) con i relativi coefficienti K e K_{MEDIO} dovrà avvenire in formato tabellare (§4.3.7):

Figura 52 – Esempio restituzione prove di durezza in situ ed esempio restituzione calibrazione misure

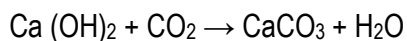
4.7 Misura della profondità di carbonatazione

4.7.1 Oggetto

Il presente paragrafo ha come oggetto la definizione delle procedure per l'esecuzione delle prove per la misura della profondità di carbonatazione su carote di calcestruzzo prelevate in sito.

4.7.2 Descrizione del metodo

La carbonatazione è un particolare processo chimico per il quale l'anidride carbonica presente nell'aria viene assorbita dal calcestruzzo, trasformando l'idrossido di calcio (fortemente basico) in carbonato di calcio secondo la reazione:



Tale reazione determina un abbassamento del pH del calcestruzzo da valori prossimi a 12 a valori inferiori a 9, con la conseguente eliminazione della naturale barriera alcalina formata da uno strato passivante di ossido di ferro insolubile e che protegge le armature dai fenomeni ossidativi. Quindi, nel momento in cui la profondità di carbonatazione raggiunge lo spessore del copriferro sull'armatura interviene un pericolo di corrosione, in caso contrario l'armatura rimane in ambiente basico e non viene aggredita. Inoltre, la carbonatazione determina un aumento della durezza del calcestruzzo, che potrebbe ingannare i metodi non distruttivi superficiali di determinazione della resistenza a compressione (in particolare la prova sclerometrica).

La misura della profondità di carbonatazione viene eseguita in sito, di regola, sulle carote di calcestruzzo appena estratte, utilizzando una soluzione indicatrice che cambia colore se viene a contatto con ambienti aventi PH maggiori di circa 9 (tendenti al basico, assenza di carbonatazione), mentre resta incolore per valori di PH inferiori a 9 (tendenti all'acido, presenza di carbonatazione).

In alcune situazioni è possibile eseguire la misura in laboratorio dopo un lasso di tempo del prelievo della carota, avendo cura di carteggiare la superficie laterale della stessa allo scopo di rimuovere il film carbonatato. Altresì è possibile eseguire la prova in foro, appositamente eseguito mediante trapano oppure in quello a seguito del prelievo della carota.

4.7.3 Normativa di riferimento

- UNI 9944:1992 "Corrosione e protezione dell'armatura del calcestruzzo. Determinazione della profondità di carbonatazione e del profilo di penetrazione degli ioni cloruro nel calcestruzzo.
- UNI EN 13295:2005 "Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di prova - Determinazione della resistenza alla carbonatazione.
- UNI EN 14630:2007 "Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di prova - Determinazione della profondità di carbonatazione di un calcestruzzo indurito con il metodo della fenolftaleina".
- UNI EN 206:2021 "Calcestruzzo - Specificazione, prestazione, produzione e conformità.

4.7.4 Reagente chimico e attrezzatura

- Reagente chimico: soluzione di fenolftaleina all'1% in alcol etilico; tale soluzione vira al rosso-violetto al contatto con materiale il cui PH sia maggiore di circa 9,2 (cls. non carbonatato) e rimane incolore per valori di PH minori (cls. carbonatato);
- trapano con punta da $\Phi 30$ mm;

- carta vetrata;
- spruzzo/nebulizzatore;
- fotocamera digitale;
- metro e calibro.

4.7.5 Modalità di esecuzione

Le misure dovranno essere eseguite in sito e sulle carote estratte seguendo la procedura descritta:

- a. esecuzione del carotaggio (secondo le modalità di cui al relativo paragrafo);
- b. siglatura in maniera univoca ed indelebile del campione (§1.2.1) e ubicazione del punto di prelievo in planimetria e/o sezioni;
- c. lavaggio della carota con acqua pulita per eliminare ogni traccia di detriti e successiva asciugatura con un panno pulito; tale operazione deve essere eseguita immediatamente dopo l'ultimazione delle operazioni di prelievo;
- d. applicazione della soluzione di fenoltaleina ad asciugatura avvenuta mediante nebulizzazione; nel caso in cui la colorazione apparisse solo debolmente, ripetere l'applicazione una volta che la soluzione si sia asciugata. La misura deve essere eseguita entro un'ora dal prelievo del campione;
- e. eseguire la misura della profondità del fronte di carbonatazione mediante metro e/o calibro, con la precisione di un millimetro, secondo le indicazioni della norma UNI in base al tipo di fronte: di seguito si riporta lo stralcio della norma UNI riportante le tre casistiche con le relative quantità da misurare.



Figura 53 - Schema misura carbonatazione

- f. documentazione fotografica delle prove: ogni carota deve essere disposta orizzontalmente su una superficie preferibilmente scura ed in maniera tale da mostrarne la sigla, con a fianco ed in parallelo il metro di misura. Si richiede dettaglio in caso di schemi b) e c) di cui sopra;
- g. ripristino del foro del carotaggio mediante come da schema Tipologici Ripristini Indagini ALLEGATO 1 e come indicato al paragrafo relativo ai prelievi di calcestruzzo.

Nel caso di misure eseguite in un secondo momento, in generale da evitare, ovvero su carote estratte in sito e trasportate in laboratorio, nel quale poi si eseguirà la prova, valgono ancora tutti i punti della procedura elencata, ma prima della misurazione del fronte è necessario carteggiare o smerigliare la superficie laterale della carota allo scopo di eliminare il film carbonatato.

Nel caso di misure eseguite in foro, si procederà mediante:

- esecuzione di foro con punta da $\Phi 30$ mm per una profondità pari ad almeno il copriferro e non meno di 6 cm;
- pulizia del foro dalla polvere di calcestruzzo con acqua o aria compressa;
- applicazione della soluzione di fenoltaleina ad asciugatura avvenuta mediante nebulizzazione;
- individuazione della linea di demarcazione (incolore/ rosso-violetto) e misurazione della profondità non colorata mediante metro o calibro;

- documentazione fotografica di ogni foro siglato (§1.2.1) e ubicato in planimetria e/o sezioni con all'interno il metro di misura;
- ripristino del foro come da schema Tipologici Ripristini Indagini ALLEGATO 1.

Nel caso in cui sullo stesso campione sia richiesta anche la prova di penetrazione dello ione cloruro, è possibile procedere secondo la modalità indicata nel paragrafo successivo §4.8.

4.7.6 Presentazione dei risultati

Per ogni carota sottoposta a misura della profondità di carbonatazione dovranno essere rilevati i seguenti dati:

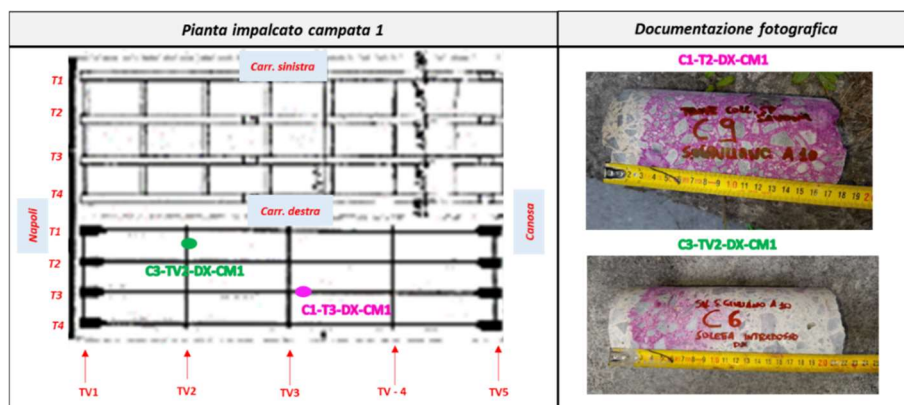
- ubicazione del punto di prova su piante e/o sezioni;
- sigla del punto di prova come indicato al §1.2.1;
- dimensioni della carota (diametro Φ e lunghezza H) o del foro;
- nel caso di rilievo in foro, indicazione della misura della profondità di carbonatazione (media);
- nel caso di rilievo su carote:
 - indicazione dei casi di riferimento a), b) o c);
 - indicazione della misura della profondità di carbonatazione d_k (a seconda dei casi a-b-c);
 - profondità di carbonatazione massima $d_{k,MAX}$ (casi b e c);
- documentazione fotografica del campione o del foro con evidenza della misura.

I report delle prove saranno forniti in allegato alla relazione tecnica. Le informazioni rilevate sopra dovranno essere riportate all'interno di una tabella riepilogativa apposita oppure nella stessa utilizzata per le prove di resistenza a compressione delle carote.

Il codice di identificazione dei campioni o del punto di prova (§1.2.1) dovrà corrispondere a quello riportato in pianta e/o sezioni. L'ubicazione di ogni prova eseguita, su piante/sezioni rappresentanti gli elementi strutturali indagati, dovrà essere univocamente indicata mediante il corrispondente codice di identificazione riportato sul campione o punto di prova (§1.2.1).

Di seguito si riporta un esempio del formato e del contenuto.

N°	Elemento Indagato	Identificazione campioni	Dimensioni carota		Profondità di Carbonatazione media	Profondità di Carbonatazione massima	Note
			Φ	H			
			[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[-]
1	Travi	C1-T2-DX-CM1					
2		C2-T4-SX-CM3					
[..]		[..]					



SIGLA	IDENTIFICAZIONE ELEMENTO STRUTTURALE	ORIENTAMENTO DELLA SUPERFICIE ESPOSTA	DATA DI CAROTAGGIO	PROFONDITÀ DELLA CARBONATAZIONE		CONDIZIONE DI ESPOSIZIONE UNI 9981-5
				d _{media} (mm)	d _{max} (mm)	
T3-1C	SPALLA	VERTICALE	02.11.2021	64	75	AGGRESSIVA
T3-2C	SPALLA	VERTICALE	02.11.2021	71	74	AGGRESSIVA
T3-3C	SOLETTA	VERTICALE	02.11.2021	24	31	AGGRESSIVA
T3-4C	SOLETTA	VERTICALE	02.11.2021	29	37	AGGRESSIVA
T3-5C	SPALLA	VERTICALE	02.11.2021	62	73	AGGRESSIVA
T3-6C	SPALLA	VERTICALE	02.11.2021	72	96	AGGRESSIVA
T3-7C	SPALLA	VERTICALE	03.11.2021	80	84	AGGRESSIVA
T3-8C	SPALLA	VERTICALE	03.11.2021	84	89	AGGRESSIVA
T3-9C	SOLETTA	VERTICALE	04.11.2021	19	38	AGGRESSIVA
T3-10C	SOLETTA	VERTICALE	04.11.2021	25	36	AGGRESSIVA
T3-11C	SPALLA	VERTICALE	03.11.2021	72	94	AGGRESSIVA
T3-12C	SPALLA	VERTICALE	03.11.2021	82	96	AGGRESSIVA



Figura 54 – Esempi di restituzione – Misure della profondità di carbonatazione

4.8 Profondità di penetrazione ioni cloruro

4.8.1 Oggetto

Il presente paragrafo ha come oggetto la definizione delle procedure per l'esecuzione delle prove per l'analisi del contenuto degli ioni cloruro totali presenti nel calcestruzzo, a partire da prelievi di campioni in sito. L'analisi può essere di tipo qualitativo e/o di tipo quantitativo.

4.8.2 Normativa di riferimento

- UNI 9944:1992 "Corrosione e protezione dell'armatura del calcestruzzo. Determinazione della profondità di carbonatazione e del profilo di penetrazione degli ioni cloruro nel calcestruzzo.
- UNI EN 206:2021 "Calcestruzzo - Specificazione, prestazione, produzione e conformità;
- UNI 11747:2019 "Prove sul calcestruzzo indurito - Determinazione della profondità di penetrazione degli ioni cloruro";
- UNI EN 14629:2007 "Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di prova - Determinazione del contenuto di cloruri nel calcestruzzo indurito";
- UNI EN 12390-11: 2015 "Prove sul calcestruzzo indurito - Parte 11: Determinazione della resistenza ai cloruri del calcestruzzo, diffusione unidirezionale".

4.8.3 Metodi per la misura della profondità di penetrazione di ioni cloruro

La conoscenza della profondità di penetrazione degli ioni cloruro nel copriferro risulta utile ai fini della valutazione del rischio di innesco della corrosione delle armature.

Il mantenimento della passività nell'armatura richiede una continua presenza di alti livelli di alcalinità nella soluzione a contatto con l'acciaio, nonché l'assenza di ioni aggressivi. Una riduzione dell'alcalinità o la presenza di ioni aggressivi come i cloruri (provenienti dall'impasto cementizio o dall'esterno), agisce da catalizzatore nella reazione di ossidazione del ferro e può portare alla distruzione del film di passività (ossidi di ferro) che ricopre il metallo nelle condizioni originarie e quindi all'innesco della corrosione.

L'aggressione da parte dei cloruri sul calcestruzzo può avvenire se questo rimane a contatto con ambienti in cui il contenuto è alto, come l'acqua marina o i sali disgelanti, oppure se confezionato con materie prime inquinate. La corrosione avviene con la combinazione di due fattori: la presenza di cloruri, che de-passivizzano i ferri e l'umidità unita all'ossigeno.

Oltre ad aggredire le barre d'armatura, distruggendo il film di ossido passivante, i cloruri degradano anche il calcestruzzo: il danneggiamento può aversi per effetto principalmente del sale disgelante cloruro di calcio (CaCl_2) che aggredisce la matrice cementizia e la disintegra. Il cloruro di calcio reagendo con la calce libera sotto forma di idrossido di calcio da origine all'ossicloruro di calcio idrato ($3\text{CaO} \cdot \text{CaCl}_2 \cdot 15\text{H}_2\text{O}$).

La presenza (quantità) di ioni cloruro totali nel calcestruzzo è stabilita mediante **analisi chimiche** di laboratorio. La UNI EN 206:2021 riporta i limiti considerati naturali e normali del contenuto dello ione cloruro (rispetto la massa di cemento), oltre i quali il cloruro si è infiltrato generando potenziale danno.

prospetto 15 Contenuto massimo di cloruri nel calcestruzzo

Impiego del calcestruzzo	Classe di contenuto di cloruri ^{a)}	Contenuto massimo di Cl ⁻ in massa di cemento ^{b)} %
Non contenente armatura di acciaio o inserti metallici ad eccezione dei dispositivi di sollevamento resistenti alla corrosione.	Cl 1,00	1,00
Contenente armatura di acciaio o altri inserti metallici.	Cl 0,20	0,20
	Cl 0,40 ^{c)}	0,40
Contenente armatura di acciaio da precompressione in diretto contatto con il calcestruzzo.	Cl 0,10	0,10
	Cl 0,20	0,20
<small>a) Per un impiego specifico del calcestruzzo, la classe da applicare dipende dalle disposizioni vigenti nel luogo d'impiego del calcestruzzo. b) Qualora si utilizzino delle aggiunte di cui si tenga conto per il dosaggio del cemento, il contenuto di cloruri è espresso come percentuale di ioni cloruro in massa del cemento più la massa totale delle aggiunte di cui si è tenuto conto. c) Classi di diverso contenuto di cloruri possono essere ammesse per calcestruzzo contenente i cementi CEM III secondo le disposizioni vigenti nel luogo d'impiego.</small>		

Tabella 1: Limiti imposti da UNI EN 206:2021

I metodi per la determinazione della profondità di penetrazione dello ione cloruro, ai fini della presente Istruzione, possono essere distinti in:

1. Analisi di tipo qualitativo:
 - Prova colorimetrica secondo la UNI 11747:2019;
2. Analisi di tipo quantitativo:
 - Prova chimica secondo UNI EN 14629:2007 (di riferimento);
 - Prova diffrattometrica ai raggi X.

Le analisi di tipo quantitativo devono essere concordate con il COMMITTENTE e se non diversamente specificato di procederà con l'analisi di tipo qualitativo – Prova colorimetrica.

4.8.3.1 Analisi qualitative

Prova colorimetrica.

La prova colorimetrica viene eseguita ai sensi delle UNI 11747:2019 su carote prelevate ai sensi della UNI EN 12504-1 aventi diametro non inferiore a 50 mm.

La prova può essere eseguita:

- su carote specifiche prelevate, aventi diametro almeno pari a 50 mm e lunghezza almeno pari al doppio del copriferro (8-10 cm);
- su carote sulle quali deve essere eseguita la prova di resistenza a compressione e/o prova di carbonatazione. Il carotaggio dovrà quindi avere le seguenti caratteristiche:
 - Diametro, stabilito in base alla prova di resistenza a compressione, cui si rimanda;
 - Lunghezza sufficiente da poter ricavare:
 - dalla sommità della carota (corrispondente alla parte esposta all'aria), un provino avente una lunghezza solitamente pari a 6-7 cm e comunque non inferiore alla dimensione del copriferro. Su questo provino sarà eseguita la prova di penetrazione dello ione cloruro e, se richiesto, anche la prova di carbonatazione: in laboratorio, verrà diviso in due parti lungo la superficie laterale, sottoponendo una parte alla prova di carbonatazione e l'altra alla prova di penetrazione dello ione cloruro, secondo le relative modalità riportate nei rispettivi paragrafi.
 - dalla restante parte, corrispondente al fondo foro, un provino per la prova di resistenza a compressione, avente una lunghezza pari ad almeno il diametro scelto della carota ipotizzando una snellezza L/D=1. Ad esempio, scegliendo un diametro D=94 mm effettivo, il provino sarà lungo L=94 mm circa.

In quest'ultimo caso, da concordare con il COMMITTENTE, di solito, la lunghezza dei carotaggi è di circa 15 cm per un diametro effettivo di 94 mm e l'elemento strutturale deve avere spessori superiori a 15 cm.

La prova sul provino interessato verrà svolta secondo le modalità indicate al paragrafo §7.3 della UNI 11747:2019, in particolare verrà nebulizzata una soluzione di Nitrato di Argento 0,1 N, previa rialcalinizzazione con NaOH, e lasciato al buio per 7 giorni: allo scadere di questo termine, si procederà al rilievo colorimetrico misurando la profondità di penetrazione a partire dalla linea di demarcazione in cui si separa la zona grigio chiaro (contaminata) dalla zona grigio scuro (non contaminata). La norma riporta altresì le modalità di rilievo.

4.8.3.2 Analisi quantitative

Prova diffrattometrica ai raggi X.

La prova diffrattometrica ai raggi X è una tecnica che consente di identificare i composti cristallini presenti in campioni solidi cristallini come ad esempio i pigmenti, sali inquinanti, materiali lapidei in genere, richiedendo il prelievo di una piccola quantità di campione che va ridotta in polvere.

La tecnica è basata sul fenomeno ottico della diffrazione: un fascio di raggi X, inviato sul campione, viene diffratto secondo un angolo che dipende dalla struttura cristallina del composto o dei composti presenti: ogni composto dà origine a uno o più segnali riflessi secondo uno schema di picchi di intensità caratteristiche. I diffrattogrammi mettono in relazione l'angolo di rifrazione (asse x) con le intensità di riflessione delle sostanze (asse y) e, solitamente, per ogni sostanza cristallina sono tipici: in questo modo è possibile confrontarlo con spettri di sostanze note e poterle a queste ricondurre.

La prova diffrattometrica viene impiegata in particolare per evidenziare i prodotti sviluppati dai cloruri all'interno del calcestruzzo. Nella fattispecie si impiega per analizzare campioni di calcestruzzo sottoposti all'azione di sali disgelanti quali il CaCl_2 (l'altro sale disgelante è il cloruro di sodio che può portare ad una reazione alcali-aggregato nel caso di silice amorfa contenuta negli inerti). L'idrossido di calcio $\text{Ca}(\text{OH})_2$ contenuto nella pasta cementizia legandosi con CaCl_2 dà origine all' "ossicloruro di calcio", che ha diverse composizioni in base alla quantità di umidità. Nei diffrattogrammi vengono evidenziati picchi di intensità relativi a tale composto quando si è formato, quindi, in seguito all'ingresso di CaCl_2 . Nel caso di condizioni di saturazione d'acqua il cloruro di calcio reagendo con la calce libera sotto forma di idrossido di calcio $\text{Ca}(\text{OH})_2$ da origine all'ossicloruro di calcio idrato ($3\text{CaO} \cdot \text{CaCl}_2 \cdot 15\text{H}_2\text{O}$).

Si evidenzia quindi un processo di degradazione e disintegrazione della matrice cementizia.

Il piano di campionamento può avvenire come per la prova chimica riportata di seguito.

Prova chimica secondo UNI EN 14629:2007.

La prova chimica secondo UNI EN 14629:2007 consente di determinare in maniera accurata il quantitativo totale dei cloruri nel calcestruzzo, espressi come percentuale in massa rispetto la massa di cemento o di calcestruzzo. I campioni da sottoporre a prova, ai fini di questa Istruzione, possono essere:

- campioni di polveri ottenuti da perforazione;
- carote di calcestruzzo prelevate;
- frammenti ad esempio di copriferro.

Il piano di campionamento dei provini è indicato nel PIN. I campioni di calcestruzzo da sottoporre a prova saranno prelevati a diverse profondità a partire dalla superficie dell'elemento strutturale, allo scopo di determinare il profilo di penetrazione dello ione cloruro.

Nel caso di campioni costituiti da polveri, si procederà ad eseguire perforazioni con punte di almeno $\Phi 20$ mm, in relazione comunque al diametro degli aggregati; ogni perforazione andrà svolta per incrementi di profondità

di circa 20-25 mm (separati a step per evitare contaminazioni), raccogliendo un campione di polvere alla volta da circa 20 g per ogni incremento, ancora in relazione al diametro degli aggregati.

Nel caso di campioni prelevati mediante carotaggio, il diametro dovrà essere compreso tra 30 mm e 50 mm, in funzione del diametro degli aggregati. Le carote successivamente saranno tagliate a fette (es. da 10-15 mm) o frantumate per raccogliere campioni di polvere, allo scopo di determinare il profilo di cloruro.

Qualora nelle carote prelevate siano prescritte anche prove di compressione e/o prove di carbonatazione, si potrà procedere come indicato per la prova qualitativa di tipo colorimetrica, alla quale si rimanda.

L'analisi chimica sui campioni ottenuti viene svolta ai sensi del paragrafo 4.3 della UNI EN 14629:2007, scegliendo, salvo diverse indicazioni contenute nel PIN, il metodo A (Metodo di Volhard) o metodo B (Metodo Titolazione potenziometrica).

4.8.4 Presentazione dei risultati

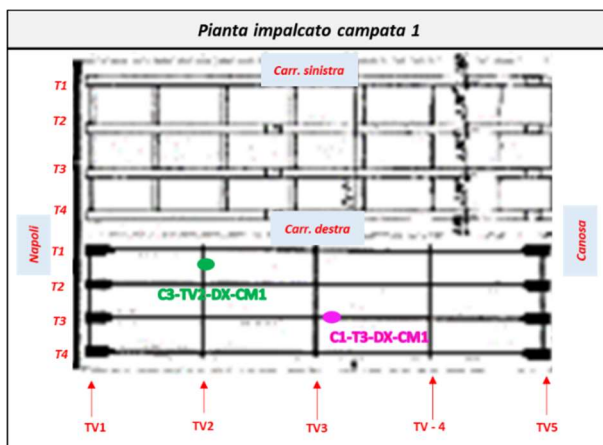
Per ogni punto di prova o campione o carota sottoposta a misura della profondità di penetrazione dello ione cloruro dovranno essere rilevati i seguenti dati:

- ubicazione del punto di prova su piante e/o sezioni;
- sigla del punto di prova e del campione come indicato al §1.2.1;
- caratteristiche del campione impiegato per le analisi (se trattasi di carota, diametro Φ e lunghezza H, se trattasi di polveri o frammenti, massa M, dimensione);
- nel caso di prova colorimetrica, indicazione delle distanze X_i e X_m del fronte di penetrazione e relativa documentazione fotografica, come indicato dalla norma;
- nel caso di prove quantitative:
 - per l'analisi chimica riportare il metodo applicato per il calcolo del contenuto, il profilo di penetrazione in base al campionamento per varie profondità (preferibilmente ogni 10 mm di profondità) ed il contenuto di ioni cloruri espresso in % in peso sul contenuto di cemento o del campione di calcestruzzo, come indicato dalla norma;
 - per l'analisi diffrattometrica riportare il contenuto di ossicloruro di calcio e relativo diffrattogramma, con relativo campionamento alle varie profondità;
- nel caso di prelievo di carota sulla quale verranno eseguite più prove (prova di resistenza a compressione, prova di carbonatazione e prova di penetrazione ione cloruro), riportare la corrispondenza tra tutti i provini ricavati dalla stessa carota;
- documentazione fotografica.

I report delle prove saranno forniti in allegato alla relazione tecnica. Le informazioni rilevate sopra dovranno essere riportate all'interno di una tabella riepilogativa apposita oppure nella stessa utilizzata per le prove di resistenza a compressione delle carote e carbonatazione.

Il codice di identificazione dei campioni o del punto di prova (§1.2.1) dovrà corrispondere a quello riportato in pianta e/o sezioni. L'ubicazione di ogni prova eseguita, su piante/sezioni rappresentanti gli elementi strutturali indagati, dovrà essere univocamente indicata mediante il corrispondente codice di identificazione riportato sul campione o punto di prova (§1.2.1).

Di seguito si riporta un esempio del formato e del contenuto:



N°	Elemento indagato	Identificazione campioni	Dimensioni carota		Profondità di penetrazione Cloruri	Note
			Φ	H		
			[mm]	[mm]		
1	Travi	C1-T2-DX-CM1				
2		C2-T4-SX-CM3				
[..]		[..]				

Contrassegno identificativo della prova	Valori individuali di profondità (x) *						Valore medio della profondità di penetrazione mm
	1	2	3	4	5	6	
T3-1C ₁							>65
T3-2C ₁	68,6	71,9	77,1	79,0	90,0	76,6	77
T3-3C ₁	33,3	34,1	33,9	30,9	29,1	29,0	32
T3-4C ₁	34,0	33,8	31,7	31,4	34,1	38,2	34
T3-5C ₁	65,7	62,3	56,5	57,0	58,2	57,6	60
T3-6C ₁	47,7	43,2	39,8	38,8	41,1	43,7	42
T3-7C ₁	59,0	54,8	50,5	53,7	63,9	63,7	58
T3-8C ₁	93,9	97,7	102,1	102,7	107,7	106,5	102
T3-9C ₁	12,6	16,9	24,6	24,9	36,6	29,1	24
T3-10C ₁	24,6	32,4	33,1	31,3	31,2	27,5	30
T3-11C ₁	107,8	108,9	105,0	103,7	102,0	101,1	105
T3-12C ₁							>100

* In presenza di aggregato grosso i valori sono evidenziati con carattere grassetto



Figura 55 – Esempio di restituzione dati – Profondità di penetrazione di ioni cloruro metodo colorimetrico

4.9 Reazione alcali aggregati

4.9.1 Oggetto e descrizione del fenomeno

Il presente paragrafo ha come oggetto le specifiche riguardanti il caso di ammaloramento provocato dalla reazione alcali aggregati. La reazione alcali aggregati si inquadra tra le cause di tipo chimico e si genera quando negli inerti del calcestruzzo è presente la silice (principalmente amorfa, ma anche cristallina) che reagisce con il sodio ed il potassio contenuti nel cemento (alcali). Gli alcali possono anche provenire dall'esterno, ad esempio a causa dell'utilizzo di sali disgelanti a base di cloruro di sodio.

Il prodotto della reazione silice-sodio/potassio è un silicato gelatinoso fortemente espansivo, dal quale derivano fessurazioni con essudazione di tale silicato ed espulsioni di aggregato (pop-out); la conseguenza è il danneggiamento del copriferro e della sezione del cls.

La reazione avviene quando sussistono:

- Presenza di umidità nei pori capillari (acqua);
- Presenza di ione sodio/potassio nei pori capillari sopra una certa soglia (si considera pericoloso un contenuto di alcali maggiore di 3 kg/mc);
- Presenza di inerti silicei amorfi e mal cristallizzati (oppure rapporto elevato cemento/aggregati quarzosi), ossia aggregato reattivo.

4.9.2 Normativa di riferimento

- UNI 8520-22:2020 "Aggregati per calcestruzzo - Parte 22: Metodologia di valutazione della potenziale reattività alcali-silice degli aggregati".
- UNI 11604:2020 "Reazioni alcali-aggregato in calcestruzzo - Determinazione della potenziale reattività agli alcali degli aggregati per calcestruzzo - Prova di espansione accelerata in calcestruzzo".
- UNI 11530:2023 "Reazione alcali-aggregato in calcestruzzo - Determinazione della potenziale reattività agli alcali degli aggregati per calcestruzzo - Esame petrografico di dettaglio dell'aggregato per la determinazione dei costituenti potenzialmente reattivi agli alcali".
- UNI EN 932-3:2022 "Metodi di prova per determinare le proprietà generali degli aggregati - Procedura e terminologia per la descrizione petrografica semplificata".
- UNI EN 13925-2:2006 "Prove non distruttive - Diffrazione a raggi X dai materiali policristallini e amorfi - Parte 2: Procedure".

4.9.3 Metodologia di prova

La diagnosi del fenomeno, solitamente eseguita in aree ammalorate, avviene principalmente a partire da un'attenta analisi visiva del quadro fessurativo tipico (es. pop-out e fessure a ragnatela) seguita poi da esame al microscopio (es. esame petrografico) e/o prova diffrattometrica ai raggi X, secondo la norma di riferimento, dopo aver proceduto alla frantumazione del provino cilindrico di cls prelevato, su aggregati e costituenti.

Possono essere svolti anche test colorimetrici (test di Guthrie e Carey), test chimici quantitativi, prove di espansione.

Data la peculiarità del fenomeno e i pochi casi osservati, le prove e le relative specifiche di campionamento specifiche saranno concordate con il COMMITTENTE.

4.10 Attacco solfatico

4.10.1 Oggetto e descrizione del fenomeno

Il presente paragrafo ha come oggetto le specifiche riguardanti il caso di ammaloramento provocato attacco solfatico. L'attacco solfatico si inquadra tra le cause di tipo chimico e si verifica quando lo ione solfato reagisce con i componenti della matrice cementizia creando composti aventi volume maggiore e provocando fessurazione e disgregazione del calcestruzzo.

Si verificano due reazioni e una terza nel caso particolare di climi freddi e umidi ed elevata anidride carbonica:

- Reazione tra idrossido di calcio (calce presente nel cemento) e ione solfato, in presenza di acqua, che porta alla formazione di gesso idrato.
- Reazione tra gesso idrato e alluminati della pasta di cemento, in presenza di acqua, che porta alla formazione di ettringite secondaria.
- Reazione tra idrossido di calcio, gesso idrato, anidride carbonica e silicati idrati di calcio della pasta di cemento, in climi freddi e umidi con tasso elevato di anidride carbonica, che porta alla formazione di thaumasite.

Le reazioni, dunque, determinano un aumento consistente di volume, con conseguenti rigonfiamenti e fessurazioni, espulsione di materiale e, nel caso pericoloso della formazione di thaumasite secondo la terza reazione, la decoesione del calcestruzzo, a causa dell'assorbimento di calcio.

Lo ione solfato può provenire dall'esterno (attacco solfatico esterno, es. da acqua di mare e terreni) o dall'interno (attacco solfatico interno, es. solfati contenuti negli aggregati d'impasto).

Le strutture danneggiate dai solfati presentano una riduzione della capacità portante rispetto alle strutture integre, sia in termini di inerzia (fessurazione) sia in termini di resistenza (decalcificazione).

4.10.2 Normativa di riferimento

- UNI SPERIMENTALE 8019:1979 "Determinazione della penetrabilità dello ione solfato". Anche se ritirata, costituisce un valido riferimento.
- UNI EN 13925-2:2006 "Prove non distruttive - Diffrazione a raggi X dai materiali policristallini e amorfi - Parte 2: Procedure".
- UNI EN 196-2:2013 "Metodi di prova dei cementi – Parte 2: Analisi chimica dei cementi".

4.10.3 Metodologia di prova

La diagnosi del fenomeno, solitamente eseguita in aree ammalorate, avviene mediante diffrattometria ai raggi X evidenziando i picchi dovuti al gesso, all'ettringite e alla thaumasite.

E' possibile assumere come utile riferimento, la prova indicata nella UNI SPERIMENTALE 8019:1979 (norma ritirata), prova di tipo colorimetrico da eseguire su provini cilindrici di cls estratti. I provini vengono nebulizzati con una soluzione di cloruro di bario e permanganato di potassio e immersi poi in acqua distillata per circa due minuti; in presenza di ioni solfato si ha formazione di solfato di bario con colorazione in violetto della superficie, mentre la porzione non permeata, dopo alcuni lavaggi, rimane incolore: è possibile, pertanto, tracciare il fronte di avanzamento dello ione solfato.

Data la peculiarità del fenomeno e i pochi casi osservati, le prove e le relative specifiche di campionamento specifiche saranno concordate con il COMMITTENTE.

4.11 Misure di mappatura del potenziale

4.11.1 Oggetto

Il presente paragrafo ha come oggetto la definizione delle procedure per l'esecuzione delle misure di mappatura di potenziale su elementi in c.a. allo scopo di valutare la probabilità che vi siano fenomeni di corrosione in atto sulle armature lente inglobate nel getto, fenomeni apparentemente non visibili.

4.11.2 Descrizione del metodo

Il metodo della mappatura del potenziale è una tecnica non distruttiva per indagare lo stato corrosivo delle armature lente di elementi in calcestruzzo armato o in cemento armato precompresso. Più precisamente, la mappatura del potenziale consente di stimare la probabilità di corrosione, cioè la probabilità che le armature siano sottoposte ad un attacco corrosivo, sia generalizzato sia localizzato; tuttavia non fornisce alcuna informazione quantitativa né sulla velocità di corrosione né sull'entità del danno che si è già prodotto.

Il metodo si basa sulla misura locale del potenziale elettrochimico delle armature e trae i suoi fondamenti fisico-chimici dai meccanismi che regolano i fenomeni di corrosione sulle armature immerse nel calcestruzzo; tali meccanismi, come è noto, sono il risultato di due processi elettrochimici parziali:

- processo anodico di ossidazione del ferro, che porta alla formazione di un film di ossido con liberazione di elettroni;
- processo catodico di consumazione degli elettroni prodotti nel corso del processo anodico per la riduzione dell'ossigeno disciolto nell'acqua a contatto con le armature.

Tra le zone nelle quali avvengono i processi anodici e catodici si stabilisce una differenza di potenziale elettrico con un conseguente flusso di corrente nel calcestruzzo: è quindi possibile individuare le zone di corrosione attraverso la misura delle differenze di potenziale elettrico che si manifestano sulla superficie del calcestruzzo. Lo stato di passivazione nel quale si trovano le armature immerse nel calcestruzzo, in seguito ad esempio di fenomeni come la carbonatazione del copriferro o come l'ingresso di cloruri potrebbe venir meno, dando inizio all'attività elettrochimica prima descritta, fino a quando è presente umidità e ossigeno. Le zone anodiche sono caratterizzate da un potenziale minore (più negativo), mentre le zone catodiche da potenziale maggiore: la misurazione della differenza di potenziale avviene assumendo come polo positivo l'armatura (contatto diretto) e come elettrodo negativo uno di riferimento.

Questo tipo di indagine permette di mappare delle "zone di attenzione" che dovranno essere poi approfondite, ad esempio con prove di carbonatazione, prove di penetrazione dello ione cloruro, saggi diretti sulle armature ...allo scopo di confermare o meno il fenomeno corrosivo.

4.11.3 Normativa di riferimento

- UNI 10174:2020 "Istruzioni per l'ispezione delle strutture di calcestruzzo armato esposte ad ambienti aggressivi mediante mappatura di potenziale"
- ASTM C876-15 "Standard Test Method for Corrosion Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete"

4.11.4 Strumentazione e attrezzatura

- Attrezzatura per la misura del potenziale di corrosione, completa di elettrodo di riferimento rame/solfato di rame (Cu/CuSO_4) saturo, morsetto per il collegamento alle armature e voltmetro di

misura. Nel caso di misure estese su solette è utile impiegare un elettrodo a rotella; nebulizzatore per acqua;

- pacometro/georadar ad alta frequenza;
- martello demolitore;
- gruppo elettrogeno;
- fotocamera digitale.

4.11.5 Modalità di esecuzione

Le prove saranno eseguite seguendo la procedura seguente.

- Preparazione dell'elettrodo di riferimento, come da indicazioni del produttore;
- individuazione e preparazione della zona di misura caratterizzata da assenza di fenomeni di corrosione evidenti delle barre di armatura;
- rilievo della maglia di armatura tramite pacometro o georadar ad alta frequenza e suo tracciamento direttamente sulla superficie dell'elemento. Nel caso di solette o di superfici estese, si procederà individuando una zona estesa almeno 3 mq, nel caso di elementi lineari la zona sarà estesa per almeno 2 m. Il rilievo delle armature sulle solette avverrà dall'estradosso dell'elemento, direttamente sulla pavimentazione e con georadar strutturale;
- sulle armature individuate, costruire una griglia di misura composta da 2 direttrici ortogonali con passo da 20 a 50 cm. Ogni misura di potenziale andrà eseguita nei nodi di tale griglia;
- messa a nudo di una barra di armatura, mediante demolizione del copriferro, e collegamento a questa del morsetto;; la barra di armatura solitamente viene scoperta per circa 5-10 cm e deve essere spazzolata nel caso di ossidazione;
- verifica del cortocircuito tra le barre delle armature, collegando un voltmetro a due barre distinte della gabbia di armatura (es. nodo) allo scopo di verificare che siano allo stesso potenziale e/o che non vi siano correnti parassite;
- esecuzione dei contatti elettrici: connessione della maglia di armatura (su cui era stato posto il morsetto) al terminale positivo del voltmetro e dell'elettrodo di riferimento al terminale negativo del voltmetro (vedi figura).

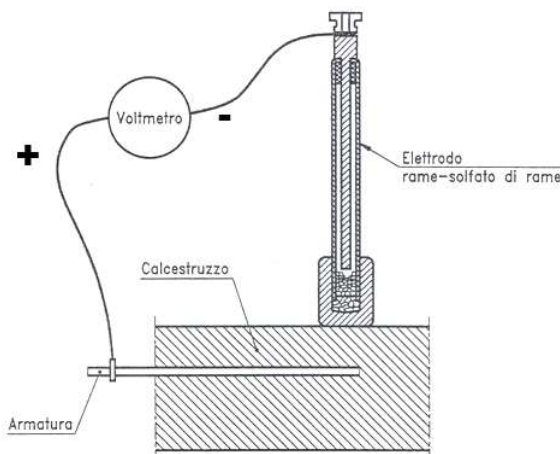


Figura 56 - Misure di potenziale di corrosione- schema della procedura di misura

- umidificazione dei nodi della griglia di misura con una soluzione di acqua e tensioattivi (es. sapone liquido per piatti), in maniera tale da assicurare un buon collegamento elettrico tra l'elettrodo di riferimento e il calcestruzzo;

- esecuzione delle misure di potenziale premendo l'elettrodo di riferimento su ogni nodo e rilevando la tensione sul voltmetro, dopo la stabilizzazione del valore.

La norma ASTM C876-15 fornisce le seguenti correlazioni sperimentali tra potenziale elettrico misurato (riferito ad un elettrodo di riferimento Cu/CuSO₄ saturo) e probabilità di corrosione:

- $E > -200$ mV: Probabilità di NON corrosione superiore al 90%
- -200 mV $> E > -350$ mV: Incertezza sulla presenza o meno di corrosione
- $E < -350$ mV: Probabilità di corrosione superiore al 90%.

4.11.6 Presentazione dei risultati

Per ogni punto di prova sottoposto a misura di potenziale dovranno essere rilevati e riportati i seguenti dati:

- ubicazione del punto di prova su piante e/o sezioni;
- sigla del punto di prova come indicato al §1.2.1;
- una tabella contenente i valori di potenziale rilevati sui nodi, disposti secondo la griglia di misura;
- un diagramma bidimensionale a curve per evidenziare graficamente la distribuzione del potenziale dei nodi della zona di misura, preliminarmente riportato in tabella;

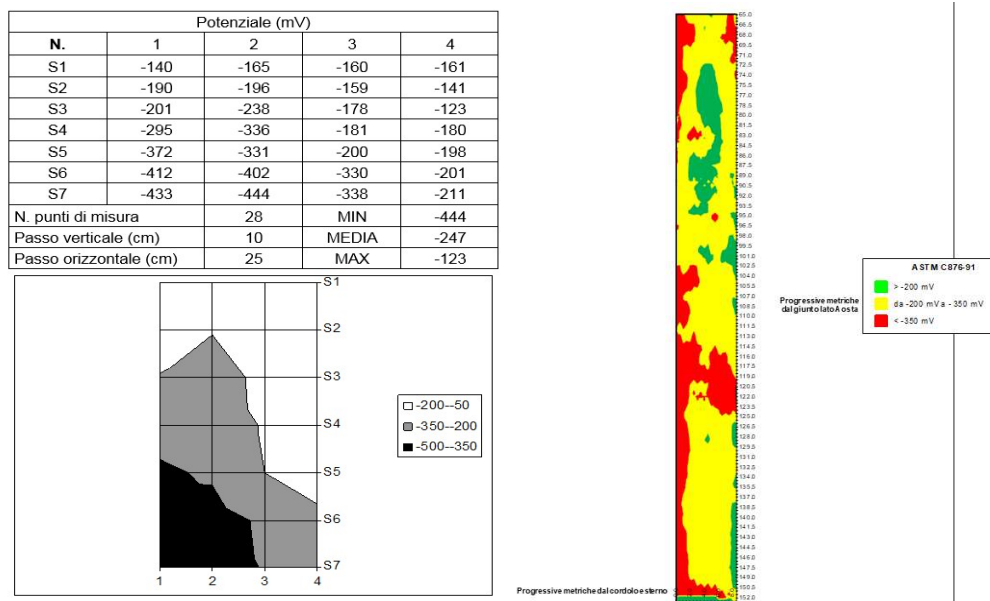


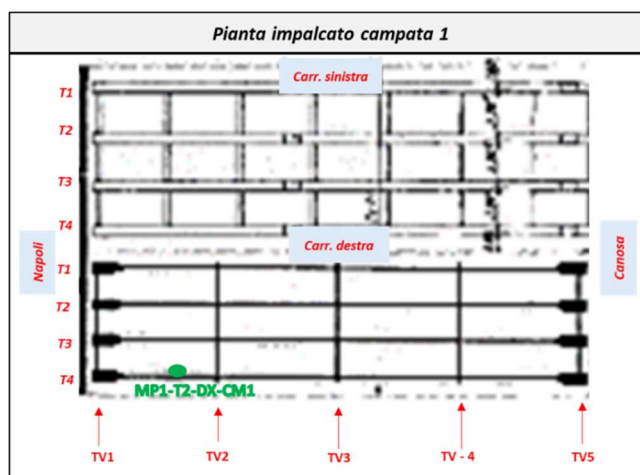
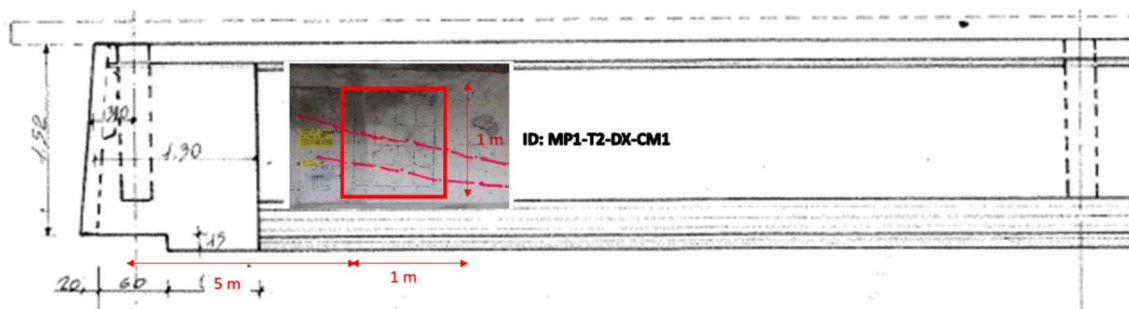
Figura 57- Misure di potenziale – esempio presentazione dei dati

- esito di eventuali saggi diretti sulle armature per verifica condizioni di corrosione (§4.4);
- documentazione fotografica.

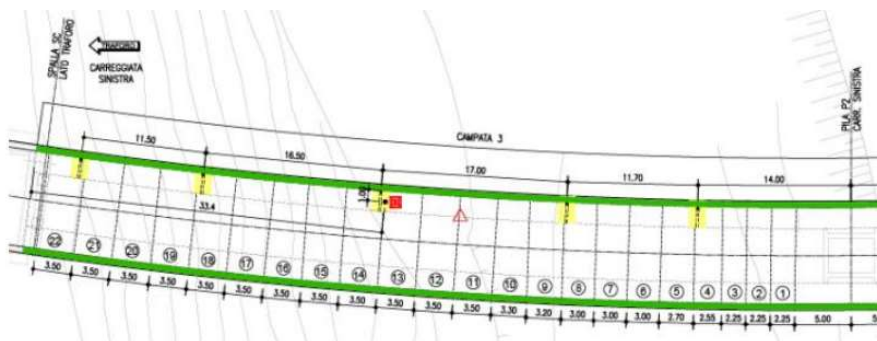
I report delle prove saranno forniti in allegato alla relazione tecnica.

Il codice di identificazione del punto di prova (§1.2.1) dovrà corrispondere a quello riportato in pianta e/o sezioni. L'ubicazione di ogni prova eseguita, su piante/sezioni rappresentanti gli elementi strutturali indagati, dovrà essere univocamente indicata mediante il corrispondente codice di identificazione riportato sul campione o punto di prova (§1.2.1).

Di seguito si riporta un esempio del formato e del contenuto:



N°	Zona di rilievo	Punti di misura del potenziale di corrosione	Mappatura aree di attenzione
1	MP1-T3-DX-CM1		



CAMPATA C3 – MAPPATURA DI POTENZIALE

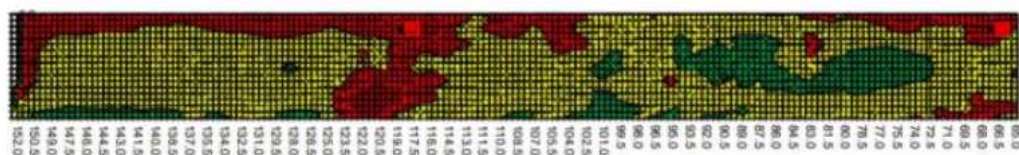


Figura 58 – Ubicazione prove in pianta e documentazione fotografica – Esempio restituzione misure di potenziale, nel primo caso senza saggio, nel secondo con saggio.

5 Indagini per elementi in acciaio

5.1 Prove sugli elementi di carpenteria

Il presente capitolo contiene le procedure e le modalità di esecuzione delle indagini rivolte agli elementi in carpenteria metallica e alle giunzioni bullonate. Per le modalità di verifica delle saldature, si rimanda al §6.

5.1.1 Prelievo elementi in acciaio da carpenteria metallica

Il prelievo e le successive prove di laboratorio devono essere eseguiti (**e certificate ai sensi della circolare 7617/STC**) da uno dei laboratori autorizzati ai sensi dell'art.59 del DPR n.380/2001, come richiamato al §1.2.1. L'obiettivo del prelievo di campioni di acciaio da carpenteria (spezzoni di profilati, bulloni...) è l'esecuzione, sui provini ricavati, dei successivi test di laboratorio consistenti in prove chimiche e prove meccaniche per la determinazione delle caratteristiche dell'acciaio.

Il prelievo deve essere eseguito nei punti indicati nel PIN e, per quanto possibile, in punti "neutri", ossia a sollecitazioni nulle. Zone tipiche sono i "retrotrave", gli appoggi sulle piattabande e gli assi neutri in anime o le zone di inversione del momento flettente delle piattabande.

Indipendentemente dal punto di prelievo, è sempre necessario, eseguire il ripristino a perfetta regola d'arte per non rischiare di creare punto d'innesco di difetti, che possano poi propagarsi alle altre parti dell'elemento strutturale.

5.1.1.1 Strumentazione e attrezzatura

- Smerigliatrice con disco da taglio o fiamma ossiacetilenica o cannello al plasma;
- calibro a corsio;
- durometro LEEB, UCI e sonda da 50 N o resistivi tipo E-handy;
- metro;
- fotocamera digitale;
- saldatrice e vernici per ripristini.

5.1.1.2 Modalità di esecuzione

I prelievi dei campioni d'acciaio dovranno essere eseguiti con particolare cautela ed attenzione, articolandoli in una fase preliminare ed in una fase operativa.

Fase preliminare.

E' richiesta una fase preliminare alle operazioni di prelievo consistenti nella prequalifica di tutte le saldature necessarie ai ripristini e nell'approntamento del materiale di ripristino.

a) Prequalifica della saldatura di ripristino.

L' ESECUTORE deve sottoporre all'approvazione dell'I.I.S. o di altro Ente terzo consulente le modalità esecutive delle saldature di ripristino, comprensive di:

- progetto delle saldature con definizione dei dettagli (es: posizione dei tagli, cianfrinature, dimensioni...) e specifiche di procedimento di saldatura (WPS);
- qualificazione delle procedure di saldatura (WPAR) e del personale addetto alla saldatura conformemente al § 7.4 della norma UNI EN 1090-2 per la classe di esecuzione EXC3 (se non diversamente segnalato nel PIN), contenente il quaderno di saldatura, in accordo alle

NTC2018. In particolare, la qualifica della procedura di saldatura dovrà tenere conto delle seguenti specifiche:

- Acciai di tipo "standard":
 - *indicazioni sul tipo di qualifica.*

Tipicamente, per il ripristino di talloni prelevati in piano (dalle piattabande) o in verticale (delle anime), è necessaria una qualifica di procedimento secondo EN 15614-1, e relativi patentini dei saldatori secondo EN ISO 9606-1, con i seguenti parametri:

REQUISITI QUALIFICA DELLA PROCEDURA DI SALDATURA - EN 15614-1 - livello 2	
REQUISITI QUALIFICA	CARATTERISTICHE
GIUNTO	testa a testa a piena penetrazione (bw)
MATERIALE BASE	secondo EN ISO 15608 gruppo 1.2, acciai al carbonio con carico di snervamento fino a 360 Mpa, o 1.4, acciai con resistenza migliorata alla corrosione atmosferica (corten). Sono esclusi quindi casi particolari come ad esempio acciai bonificati tipo T1
SPESSORE	da valutare con la committenza
PROCESSO SALDATURA	elettrodo rivestito (111) o filo animato con protezione gassosa (136) o filo animato autoprotetto (114) - passata multipla
MATERIALE CONSUMABILE	elettrodo basico con classificazione EN ISO 2560 E 42 4 B H5 o filo animato rutilico con classificazione UNI EN ISO 2560-A min.E42 oppure UNI EN ISO 2560-B min.E55 e comunque sempre in relazione alla classe di resistenza di acciaio da ripristinare che, se non diversamente specificato, si intende la massima e pari alla S355, o con equivalenti proprietà meccaniche in caso di acciaio corten
POSIZIONI SALDATURA DA QUALIFICARE	PF (per le prove di resilienza) + PE (per le prove di durezza)

Nello specifico, le prescrizioni sono:

- giunto: testa a testa a piena penetrazione (bw);
- materiale base: secondo EN ISO 15608 gruppo 1.2, acciai al carbonio con carico di snervamento fino a 360 Mpa, o 1.4, acciai con resistenza migliorata alla corrosione atmosferica (corten). Sono esclusi quindi casi particolari come, ad esempio, acciai bonificati tipo T1;
- spessore di riferimento: si ipotizza pari a 25 mm (campo di validità da 12,5 a 50 mm), tale da ricoprire la maggior parte degli spessori della carpenteria presente nelle opere d'arte della rete ASPI. Lo spessore degli elementi da ripristinare dovrà essere sempre rilevato dall'ESECUTORE prima dell'avvio della campagna di indagine;
- processo di saldatura: elettrodo rivestito (111) o filo animato (136 o 114);
- materiale consumabile: elettrodo basico con classificazione EN ISO 2560 E 42 4 B H5 o filo animato rutilico con classificazione UNI EN ISO 2560-A min.E42 oppure UNI EN ISO 2560-B min.E55 e comunque sempre in relazione alla classe di resistenza di acciaio da ripristinare che, se non diversamente specificato, si intende la massima e pari alla S355, o con equivalenti proprietà meccaniche in caso di acciaio corten;
- posizioni di saldatura in campo: verticale ascendente PF + frontale PE, per elementi da ripristinare verticali, e piano PA + sopra-testa PE, per elementi orizzontali;
- Posizioni di saldatura da qualificare: è richiesta, per ogni range di spessore, la produzione di n.2 qualifiche su giunto testa-testa BW realizzato in passate multiple, di cui la prima in posizione verticale ascendente (PF), con annesse prove di resilienza, e la seconda in posizione sopra-testa (PE), con annesse prove di durezza.

Le posizioni di qualifica riportate corrispondono a quelle operative in campo e presentano una difficoltà realizzativa maggiore, in linea con quanto prescritto dalla norma di riferimento per le zone con minimo e massimo apporto termico (UNI EN ISO 15614-1 par. 8.4.2).

Per ogni posizione devono essere inoltre eseguite le verifiche previste dalla norma UNI EN ISO 15614-1 tab.2 e tab.4. Tali prescrizioni permettono di qualificare il processo di saldatura per tutti i tipi di giunto (anche a parziale penetrazione o cordone d'angolo) e per tutte le posizioni, per range di spessori che rientrano nella tab. 7 UNI EN ISO 15614-1 (sulla base dello spessore t del campione prova).

- Requisiti qualifica dei saldatori:

Un saldatore qualificato per giunti testa-testa BW, nelle due posizioni PF e PE, per campioni di spessore maggiore di 12mm, con cordoni realizzati da un solo lato e senza sostegno (ss nb), risulta qualificato per processi di saldatura ad elettrodo (111) o filo animato (136 o 114), in tutte le posizioni e condizioni (vedi tab. 11 – ISO 9606-1) e per tutti gli spessori da 3mm in su.

REQUISITI QUALIFICA DEI SALDATORI - EN ISO 9606-1			
PROCESSO DI SALDATURA	POSIZIONI RICHIESTE	POSIZIONI SALDATURA CHE COPRONO TUTTE LE POSIZIONI RICHIESTE (vedi tab 9 ISO 9606-1)	QUALIFICHE RICHIESTE
elettrodo básico con classificazione EN ISO 2560 E 42 4 B H5 o filo animato rutilico con classificazione UNI EN ISO 2560-A min.E42 oppure UNI EN ISO 2560-B min.E55 e comunque sempre in relazione alla classe di resistenza di acciaio da ripristinare che, se non diversamente specificato, si intende la massima e pari alla S355, o con equivalenti proprietà meccaniche in caso di acciaio corten	ANIMA TRAVE: ripristini PF+PC (spessori >3mm)	PE + PF	111 (o 136/114) - P - BW - FM1 - B - $t > 12$ - PF - ss, nb
	ALA TRAVE: ripristini PE+PA (spessori >3mm)		111 (o 136/114) - P - BW - FM1 - B - $t > 12$ - PE - ss, nb

N.B.: è richiesto almeno uno dei due processi di saldatura indicati (111 elettrodo o 136/114 filo animato) mentre sono necessarie entrambe le qualifiche indicate
I giunti ss nb qualificano i bs e ss mb

▪ *indicazioni sul pre-riscaldamento:*

Con riferimento alle temperature minime di preriscaldamento da adottare, in mancanza di informazioni circa il carbonio equivalente dei materiali, si fa riferimento alle seguenti prescrizioni:

	Sp. < 30 mm	Sp. 30 ÷ 50 mm	Sp. > 50 mm
Acciai non patinabili	20°C	50°C	80°C
Acciai patinabili	50°C	75°C	100°C

Gli acciai che compongono il materiale base si assumono a priori saldabili poiché i vari elementi strutturali presentano, nella maggior parte dei casi, saldature già eseguite in fase di realizzazione dell'opera.

La prova chimica per la definizione del carbonio equivalente risulta in ogni caso necessaria per la definizione della classe di saldabilità. Tale prova, unitamente a quella di trazione ed eventualmente di resilienza, è indicata nel PIN.

Nel caso in cui, la realizzazione della saldatura dovesse presentare difficoltà di esecuzione, anche a seguito delle indicazioni sopra riportate, l'ESECUTORE deve

avvisare il COMMITTENTE, sospendendo l'attività di ripristino in attesa dei risultati della prova chimica.

▪ Acciai di tipo "speciale":

Quanto sopra esposto è valido per gli acciai "standard" al carbonio tipicamente presenti sulla maggior parte delle opere della rete ASPI. Nel caso di acciai "speciali" (es. di tipo COR-TEN) le qualifiche richieste dovranno essere valutate nello specifico, di concerto con l'Ufficio Laboratori.

A seconda del tipo di acciaio verranno quindi specificate all'ESECUTORE le prescrizioni per la qualifica di saldatura e dei saldatori, nonché del preriscaldamento.

Nel caso l'Ente terzo richiedesse di aggiornare o revisionare i contenuti delle specifiche, l'ESECUTORE è tenuto ad apportare tali modifiche nel più breve tempo possibile e ad ottenere l'approvazione definitiva da parte dell'Ente.

N.B.: è ammesso dal COMMITTENTE l'utilizzo di prequalifiche già ottenute per interventi di ripristino su altre opere, a parità di parametri essenziali: spessori, tipi di giunto, procedimenti di saldature, posizioni, temperature di preriscaldamento, tipi di materiali consumabili, apporti termici...

b) Approntamento del tallone di ripristino:

- Nel PIN sarà indicato lo spessore della lamiera nel punto di prelievo al fine di consentire all'ESECUTORE di determinare la lunghezza/larghezza del campione da prelevare sufficiente poi per ricavare il provino (ai sensi della UNI 10002-1:2004 e UNI EN ISO 377:2017), anche in relazione alla macchina per la trazione. Altresì questo consente di preparare il tallone di ripristino. Laddove non ci fosse certezza dello spessore della carpenteria, sarà cura dell'ESECUTORE effettuare un rilievo in campo degli spessori degli elementi oggetto di indagine. Nel PIN sarà inoltre indicata la classe di resistenza dell'acciaio e della stessa dovrà essere l'acciaio del tallone; se non indicata o non disponibile, il tallone sarà dell'acciaio della classe più alta disponibile (S355).
È sempre raccomandata, ove possibile, una misurazione diretta in campo dello spessore dell'elemento da ripristinare prima della preparazione del tallone di ripristino.
- Il tallone deve essere completo di **certificato** di provenienza con marcatura CE secondo EN 10025, che ne documenta le caratteristiche meccaniche nonché le dimensioni geometriche, in particolare lo spessore, conformi a quelle del tallone da prelevare. Le caratteristiche meccaniche dovranno essere confermate mediante una prova durometrica e le caratteristiche geometriche mediante un controllo dimensionale, in contraddittorio con il COMMITTENTE.
- È richiesta l'esecuzione di ripristini testa-testa BW, con idonea preparazione del cianfrino dei talloni ed esecuzione saldatura a piena penetrazione, in particolar modo per le zone appartenenti ad elementi metallici, tali da permettere una saldatura da entrambi i lati (anima trave, piattabanda trave, irrigidimento verticale trave).
- Qualora siano presenti elementi che presentano limiti operativi (ad esempio pile cave, vuote o piene), in cui il ripristino testa-testa da un solo lato dovesse evidenziare difficoltà di realizzazione, si potrà valutare in accordo con il COMMITTENTE il ripristino in sovrapposizione con saldature a cordone ad angolo su ogni lato.
- Affinché, durante la fase di saldatura su giunto testa-testa o cordone ad angolo, il bagno di fusione non risulti contaminato da materiale esterno presente sul tallone, quale rivestimento protettivo, ossidazione superficiale, grasso..., l'elemento di acciaio dovrà essere accuratamente ripulito per

tutta la sua area o lungo tutta la zona da saldare, con solvente e/o smerigliatrice o carta abrasiva a grana fine.

- c) Predisporre le schede tecniche dei materiali di ripristino e condividerle con il COMMITTENTE.

Fase operativa.

- Esecuzione del taglio, che può essere eseguito meccanicamente "a freddo" senza necessità di raffreddare la parte con acqua, oppure "a caldo" con cannello al plasma, ma in quest'ultimo caso è necessario trattare la parte termicamente alterata (circa 2 mm) mediante molatura. Nel caso di tagli con disco, questi devono essere eseguiti con spigoli arrotondati e non vivi, come da esempi seguenti:



- Esecuzione della saldatura di ripristino del tallone preparato al punto precedente, per giunto testa-testa, con saldatura da entrambi i lati (ad esclusione delle pile cave), nel punto di prelievo secondo le modalità indicate nella presente Istruzione, eventualmente, secondo anche quelle integrative del PRG.

È richiesta particolare attenzione alla pulizia tramite molatura tra una passata e l'altra, al fine di evitare difetti volumetrici e irregolarità del cordone successivo; ciò consentirebbe, altresì, di individuare facilmente eventuali difetti già presenti in corso e contestualmente intervenire.

Se non indicato, i cordoni dei giunti testa-testa dovranno essere lasciati a vista; diversamente sarà richiesta una smerigliatura totale a filo del materiale di base. Nel caso in cui si proceda in tale senso è richiesta una documentazione fotografica del cordone di saldatura prodotto (prima della smerigliatura) ed il mantenimento della planarità delle superfici adiacenti (a smerigliatura avvenuta).



Cordone a vista,
accettabile



Cordone smerigliato,
accettabile



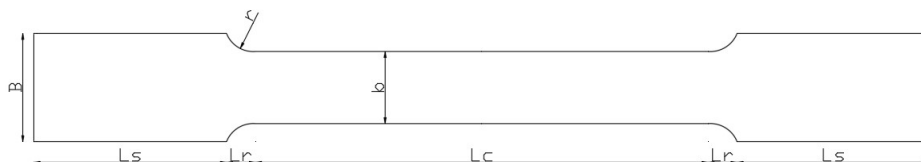
Cordone smerigliato,
non accettabile

Nel caso di prelievi su elementi cavi, ove il ripristino può avvenire eseguendo la saldatura da un solo lato, per spessori elevati o condizioni operative limitanti (ad esempio pila cava con presenza di riempimento), sarà valutata la fattibilità di sostituire un tallone con giunto testa-testa a piena penetrazione con un tallone di dimensioni maggiori in sovrapposizione e saldatura a cordone ad angolo su ogni lato.

- Come previsto dalla norma EN 1090-2, ove necessario, occorre prevedere dei talloni di estremità e la loro successiva molatura, senza strappi o intagli nel materiale base.
 - Dopo aver siglato il punto di prova ed il campione prelevato (§1.2.1), fotografare il campione dopo il prelievo insieme a un cartellino (indicante la sigla del campione) ed a un metro semirigido per attestarne la lunghezza, il punto di prelievo ed il relativo ripristino;
 - Controllo e certificazione delle saldature, su cordone non smerigliato, rispettando i tempi di attesa previsti nella norma EN 1090-2 (rif. Tab. 23, §12.4.2.1). L'ESECUTORE potrà procedere alla smerigliatura del cordone eseguito, se richiesto, solo dopo averne eseguito il controllo.
 - Deve essere eseguito il controllo visivo e strumentale sul 100% delle saldature eseguite non smerigliate con emissione di certificato di conformità, supportato da sufficiente documentazione fotografica, anche delle misurazioni, ai sensi della norma:
 - per tutti gli spessori:
 - UNI EN ISO 17637:2017: "Controllo non distruttivo delle saldature - Esame visivo dei giunti saldati per fusione".
 - UNI EN ISO 5817:2023: "Saldatura - Giunti saldati per fusione di acciaio, nichel, titanio e loro leghe (esclusa la saldatura a fascio di energia) - Livelli di qualità delle imperfezioni". Livello B.
 - UNI EN ISO 17638 :2016: "Controllo non distruttivo delle saldature - Controllo con particelle magnetiche".
 - UNI EN ISO 23278 - 2015: "Controllo non distruttivo delle saldature - Controllo con particelle magnetiche - Livelli di accettabilità". Livello 2X.
 - in aggiunta, per spessori >8mm e a piena penetrazione:
 - UNI EN ISO 17640 - 2019: "Controllo non distruttivo delle saldature - Controllo mediante ultrasuoni - Tecniche, livelli di prova e di valutazione".
 - UNI EN ISO 11666 - 2018: "Controllo non distruttivo delle saldature - Controllo mediante ultrasuoni - Livelli di accettabilità". Livello 2.
- In caso di esito negativo dei controlli sulle saldature, occorre procedere a cura e spese dell'ESECUTORE a tutte le attività di riparazione necessarie ad ottenere la certificazione richiesta.
- Nel caso in cui sia richiesta la spianatura del cordone di saldatura del giunto testa-testa a filo del materiale di base e successivamente alla smerigliatura dovessero comparire difetti visivi e volumetrici, non evidenziati dai controlli precedenti, occorrerà procedere al ripristino delle zone difettose, al successivo ripristino e controlli su saldatura e ad una nuova levigatura.
 - Ripristino della vernice protettiva come da schema Tipologici Ripristini Indagini ALLEGATO 1 e, eventualmente, secondo anche quelle integrative del PRG, avente il RAL indicato in PIN o rilevato in cantiere tramite colorimetro.

Si precisa che per "certificato di prova" è inteso il documento contenente gli esiti dei controlli non distruttivi sulle saldature (VT, MT, UT) redatto ai sensi della relativa norma UNI di prova e firmato dal personale addetto ai controlli (ispettore certificato secondo le UNI EN ISO 9712:2022 oppure UNI EN ISO 9712:2012, almeno di livello 2).

La provetta da ricavare dal campione prelevato deve essere lavorata di macchina e di tipo proporzionale. La geometria della provetta dipende dallo spessore della stessa: i riferimenti sono riportati nelle norme di seguito indicate (appendice B, C, D della norma UNI EN 10002-1:2004 e UNI EN ISO 6892-1:2020) e sarà così costituita:



Le lunghezze delle porzioni L_c , r , b , L_r e L_o sono stabilite in funzione dello spessore e definite dalle norme richiamate, mentre le teste di serraggio (dimensioni L_s e B) possono presentare forma qualsiasi, essendo correlate ai dispositivi di afferraggio della macchina che eseguirà la trazione.

Per questo motivo, il PRG, che deve organizzare il prelievo e quindi stabilire il punto di prova, dovrà prendere contatti con l'ESECUTORE al fine di avere tutte le indicazioni relative alla lunghezza L_s e alla larghezza B utile al calcolo della lunghezza totale del campione da prelevare ($L_t \geq 2L_s + 2L_r + L_c$).

A titolo di esempio si riportano le lunghezze della parte calibrata $2L_r + L_c$ in funzione dello spessore (a cui si sommerà $2L_s$ concordata con l'ESECUTORE). Le lunghezze complessive tipiche del campione misurano 35-40 cm.

spessore (mm)	L, calibr (mm)	L, s (mm)
3,0	62,0	+ 2*L _s
4,0	69,0	+ 2*L _s
5,0	75,0	+ 2*L _s
6,0	98,0	+ 2*L _s
8,0	109,0	+ 2*L _s
10,0	135,0	+ 2*L _s
12,0	146,0	+ 2*L _s
14,0	168,0	+ 2*L _s
16,0	177,0	+ 2*L _s
18,0	206,0	+ 2*L _s
20,0	212,0	+ 2*L _s

5.1.2 Prove di laboratorio sui campioni di carpenteria prelevati

Una volta prelevati e catalogati, i campioni di carpenteria dovranno essere accuratamente custoditi in maniera tale da evitare danneggiamenti di alcun tipo e quindi trasportate presso un laboratorio ufficiale ed autorizzato di cui all'art.59 del DPR n.380/2001 (rif. §1.2.1 del presente documento) che, dopo aver ricavato la provetta, **eseguirà e certificherà le prove di trazione ai sensi della circolare 7617/STC**, con determinazione almeno delle grandezze sottoelencate:

- resistenza allo snervamento f_y ,
- resistenza a rottura f_t per trazione;
- allungamento percentuale a rottura A ;
- allungamento percentuale totale sotto carico massimo A_{gt} .

In aggiunta alle prove indicate, potrebbe essere richiesta anche una prova (terna) di resilienza e/o analisi chimica con spettrometro ad emissione ottica: in ogni caso, tali prove andranno concordate e valutate con il COMMITTENTE, dal momento che richiederebbero ulteriori campioni o campioni di dimensioni maggiori.

5.1.2.1 Normativa di riferimento

- UNI EN ISO 6892-1:2020 "Materiali metallici - Prova di trazione - Parte 1: Metodo di prova a temperatura ambiente";
- ASTM E 415:2021 "Analisi chimica con spettrometro ad emissione ottica";
- UNI EN ISO 377:2017 "Acciaio e prodotti di acciaio - Prelievo e preparazione dei campioni e dei provini per prove meccaniche";
- UNI EN 10025-1 :2005 "Prodotti laminati a caldo di acciai per impieghi strutturali - Parte 1: Condizioni tecniche generali di fornitura";
- UNI EN ISO 148-1:2016 "Materiali metallici - Prova di resilienza Charpy - Parte 1: Metodo di prova";
- UNI EN 10002-1:2004 "Materiali metallici - Prova di trazione - Parte 1: Metodo di prova a temperatura ambiente" (ritirata e sostituita da UNI EN ISO 6892-1:2020, comunque da assumere come riferimento);
- UNI EN ISO 16809:2019 "Prove non distruttive - Misurazione dello spessore mediante ultrasuoni".

5.1.2.2 Presentazione dei risultati

Per ogni provino sottoposto a prova dovranno essere rilevati i seguenti dati:

- Sigla identificativa del campione (§1.2.1) e del punto di prelievo
- Ubicazione in pianta e/o profili/sezioni del punto di prelievo con relativa sigla (§1.2.1);
- Indicazione della modalità di rottura (es. su intaglio o in prossimità dell'afferraggio);
- Indicazione di eventuali difetti del campione (es. corrosione, riduzioni sezione...);
- Dimensioni provino ed indicazione dell'area resistente e dello spessore del provino;
- Carico di snervamento, espresso in N;
- Carico unitario di snervamento f_y in N/mm²;
- Carico di rottura espresso in N;
- Carico unitario a rottura f_t in N/mm²;
- Rapporto f_t/f_y ;
- Allungamento percentuale a rottura A (se richiesto nel PIN);
- Allungamento percentuale totale sotto carico massimo A_{gt} ;
- Risultati della terna di prove di resilienza con pendolo di Charpy (se richiesta prova);
- Analisi chimica con indicazione del Carbonio Equivalente (se richiesta prova).

Dovranno essere riportati anche i dati relativi all'attività di ripristino, ovvero:

- Progetto delle saldature;
- Specifiche di procedimento di saldatura (WPS);
- Qualifiche relative alla saldatura (WPAR);
- Certificato di provenienza del tallone;
- Qualifica del saldatore;
- Certificato del materiale di apporto della saldatura;
- Certificato di controllo visivo e strumentale (magnetoscopico e ultrasonico) attestante la conformità della saldatura;
- Esito prova durezza eseguita in contraddittorio;

- Schede tecniche delle vernici protettive;
- Report fotografico (panoramica, dettaglio preparazione delle facce da saldare lato elemento, dettaglio preparazione delle facce da saldare lato tallone, elemento ripristinato con dettagli saldatura eseguita, ripristino delle protezioni). Ogni foto deve avere cartello identificativo (§1.2.1).

I certificati delle prove di laboratorio di trazione ai sensi della circolare 7617/STC saranno forniti in allegato alla relazione tecnica, nonché tutti gli altri dati relativi all'attività di ripristino.

Le informazioni sopra rilevate dovranno essere inserite all'interno di una tabella riepilogativa.

Il codice di identificazione dei campioni e del punto di prova (§1.2.1) dovrà corrispondere a quello riportato in pianta e/o sezioni. L'ubicazione di ogni prova eseguita, su piante/sezioni rappresentanti gli elementi strutturali indagati, dovrà essere univocamente indicata mediante il corrispondente codice di identificazione riportato sul campione e punto di prova (§1.2.1).

Si riporta un esempio di dati da riportare su certificato e alcune foto di campioni di prova e relativi provini ricavati (dopo prova di trazione):

Opera/Parte d'opera	ID	Dimensioni Provino			Area sezione resistente	Carico di snervamento	Carico di rottura	tensione di snervamento	tensione di rottura	rapporto tensioni	allungamento a rottura
		Spessore	Larghezza	Lunghezza	A	F _y	F _r	f _y	f _r	f _r /f _y	ε
		(mm)	(mm)	(mm)	(mm²)	(kN)		[MPa]	[MPa]	[-]	[%]
Trave	12	22,59	13,61	99,00	307,45	116,50	168,84	378,9	549,2	1,45	27,57
Appoggio	7	24,75	8,73	83,00	216,07	154,84	170,89	716,6	790,9	1,10	15,31

IDENTIFICAZIONE CAMPIONE	DIMENSIONI			PROVE DI TRAZIONE UNI-EN 10002-1-94			PIEGAMENTO O PIEGAMENTO E RADDOPPIAMENTO UNI-ISO 10065-94	DIAMETRO MANDRINO	MARCHI RILEVATI
	a-Ø mm	b mm	A AREA DELLA SEZIONE mm²	TENSIONE DI SNERVAMENTO f _y N/mm²	TENSIONE DI ROTTURA f _t N/mm²	ε _t %			
B	8,6	25,0	215,0	351	449	30,5	-	-	Marchio non osservabile
E	8,6	24,9	214,1	323	430	30,5	-	-	Marchio non osservabile
I	10,8	25,0	270,0	338	583	32,0	-	-	Marchio non osservabile
H	19,6	25,0	490,0	357	528	27,0	-	-	Marchio non osservabile

* ALLUNGAMENTO A ROTTURA

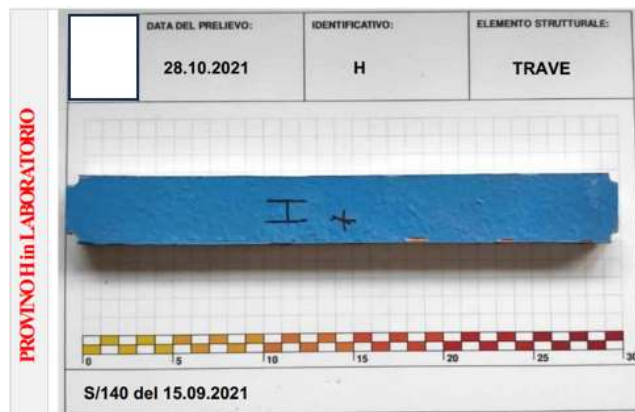


Figura 59 – Esempio di restituzione dati – Prove di trazione su carpenteria metallica

5.1.3 Prove di durezza su carpenteria metallica

Per le modalità di esecuzione si rimanda a quanto indicato per gli elementi in cemento armato nel paragrafo §4.6 del presente elaborato.

Nel caso della carpenteria metallica non sarà necessaria alcuna demolizione, ma soltanto la preparazione della superficie di prova ed il successivo ripristino:

- l'area di indagine, già piana, deve preventivamente essere preparata eliminando la vernice ed altri eventuali ammaloramenti superficiali (es. ossidazione) e lucidata con carta abrasiva o smeriglio a grana fine. Nel caso di zincatura a caldo, la prova deve essere autorizzata dal COMMITTENTE. L'acciaio COR-TEN può essere direttamente lucidato.
Nel caso di ammaloramenti importanti quali ad esempio esfoliazioni dell'acciaio o corrosione spinta, deve essere cambiato punto di prova;
- ripristino della finitura e della protezione della zona di prova secondo le modalità indicate nello schema Tipologici Ripristini Indagini ALLEGATO 1.

5.1.4 Misure di spessore con ultrasuoni

La prova consente la misura dello spessore di materiali metallici per contatto diretto, basandosi sulla misurazione del tempo di volo di impulsi ultrasonici. Lo scopo della prova è quello di misurare lo spessore di una parte di un elemento in acciaio (ad esempio la sua piattabanda), solitamente, per la verifica dello spessore residuo in seguito ad uno stato di usura o di corrosione, quando questo è accessibile da un solo lato oppure quando è richiesta maggiore precisione rispetto alla misura diretta con calibro.

È raccomandato un tecnico certificato secondo la UNI EN ISO 9712:2022 oppure UNI EN ISO 9712:2012, di almeno livello 2 per il metodo ultrasonoro.

5.1.4.1 Strumentazione e attrezzatura

- Spessimetro ad ultrasuoni con varie sonde o modulabile in frequenza, in base allo spessore da rilevare. È preferito l'impiego di sonde piane e la tecnica a eco multiplo per eseguire misure anche su superfici verniciate rilevando il solo spessore dello strato di metallo, senza la necessità di rimuovere la finitura;
- gel accoppiante;
- blocchi campione di taratura;
- calibro a corsoio;
- smerigliatrice e carta abrasiva, preferibilmente a grana fine (eventuale);
- materiale per ripristino finitura (eventuale).

5.1.4.2 Normativa di riferimento

- UNI EN ISO 16809:2019 "Prove non distruttive - Misurazione dello spessore mediante ultrasuoni".
- UNI EN ISO 9712:2022 oppure UNI EN ISO 9712:2012 "Prove non distruttive – Qualificazione e certificazione del personale addetto alle prove non distruttive".

5.1.4.3 Modalità di esecuzione

Le misure ultrasoniche saranno effettuate secondo la seguente procedura:

- In presenza di finitura (integra o danneggiata):
 - o Qualora l'ESECUTORE non sia in possesso di spessimetro in grado di leggere lo spessore del metallo anche in presenza di finitura, è necessario pulire la superficie da indagare, rimuovendo

la finitura (o i residui) fino al metallo al lucido. Tale operazione avviene mediante smerigliatrice e, nel caso di elementi zincati a caldo deve essere autorizzata dal COMMITTENTE. Il punto di prova deve essere libero dalle impurità superficiali che rendono la superficie irregolare.

- Qualora l'ESECUTORE sia in possesso di spessimetro indicato al §5.1.4.1, si procederà alla pulizia direttamente del punto di prova (con smerigliatrice e/o carta abrasiva) dalle impurità superficiali che rendono la superficie irregolare.
- In assenza di finitura (es. acciaio COR-TEN o degrado importante), eseguire la pulizia mediante smerigliatrice o carta abrasiva del punto di prova dalle impurità superficiali che rendono la superficie irregolare, preferibilmente fino al metallo al lucido.
- Tarare lo strumento sul blocco campione fornito dal produttore al momento dell'acquisto dello strumento.
- Posizionare la sonda sul punto di misura interponendo un sottile velo di olio o gel accoppiante per ultrasuoni tra la stessa e la superficie di contatto. Leggere sul display e registrare il valore rilevato. Eseguire almeno 3 misurazioni nell'intorno del punto, dalle quali ricavare il valore medio.
- Nel caso di misure eseguite in punti degradati, aggiungere anche alcune misurazioni di spessore in punti integri, in maniera tale da consentire il confronto diretto.
- Ripristino della finitura e della protezione come da schema Tipologici Ripristini Indagini ALLEGATO 1 (eventuale, nel caso di cui al primo punto) avente il RAL indicato in PIN o rilevato in cantiere tramite colorimetro.

5.1.4.4 Presentazione dei risultati

Per ogni punto di prova dovranno essere rilevati i seguenti dati:

- sigla identificativa del punto di misura (§1.2.1);
- ubicazione in pianta e/o profili/sezioni del punto di misura con relativa sigla (§1.2.1);
- marca e tipologia della strumentazione impiegata;
- velocità degli ultrasuoni impostata (V);
- tempo impiegato dall'impulso (andata e ritorno) ad attraversare il materiale (t);
- valori di spessore rilevati (H), riportando sia quello rilevato in punti integri sia quello rilevato in punti degradati (nel caso di doppia misura);
- nome dell'operatore;
- data e ora dell'estrazione;

I report delle prove saranno forniti in allegato alla relazione tecnica.

Le informazioni sopra rilevate dovranno essere inserite all'interno di una tabella riepilogativa.

Il codice di identificazione del punto di prova (§1.2.1) dovrà corrispondere a quello riportato in pianta e/o sezioni.

L'ubicazione di ogni prova eseguita, su piante/sezioni rappresentanti gli elementi strutturali indagati, dovrà essere univocamente indicata mediante il corrispondente codice di identificazione riportato sul campione e punto di prova (§1.2.1).

Di seguito si riporta un esempio di restituzione dati.

SIGLA	IDENTIFICAZIONE ELEMENTO	UBICAZIONE VERIFICA	LETTURE [mm]			MEDIA [mm]
			1	2	3	
A ₁	Trave	Ala inferiore	40,33	40,27	40,41	40,37
A ₂		Anima	10,21	10,19	10,22	10,21
A ₃		Ala superiore	29,98	29,93	29,87	29,93
C ₁	Traverso	Base	7,72	7,69	7,76	7,72
C ₂		Altezza	7,65	7,63	7,64	7,64
F	Traverso	Base	6,93	6,92	6,96	6,94



Figura 60 – Esempio di restituzione dati – Prove spessimetriche su carpenteria metallica

5.2 Prelievo e prove di laboratorio su bulloni

Il presente paragrafo tratta il prelievo dei bulloni e le relative prove di laboratorio per la determinazione delle loro caratteristiche meccaniche di resistenza; nello specifico si farà riferimento alle prove di resistenza a rottura per trazione da condurre sulla vite.

Tutte le indicazioni in merito ai bulloni da prelevare (posizione e giunto) sono riportate nel PIN, così come le caratteristiche che devono avere i bulloni sostitutivi (diametro, tipo, classe di resistenza, lunghezza, coppia di serraggio, numero rondelle, eventuale controdamo, RAL finitura).

Su richiesta del COMMITTENTE e/o PRG, quando specificato nel PIN, potrebbero essere richieste prove di durezza sui dadi e rondelle, cui si rimanda alle modalità indicate al §5.1.3.

5.2.1 Normativa di riferimento prove di laboratorio

- UNI EN 15048 (assiemi non precaricati SB) e UNI EN 14399 (assiemi precaricati HV, HR, HRC).
- UNI EN ISO 898-1:2009 Caratteristiche meccaniche degli elementi di collegamento di acciaio - Parte 1: Viti e viti prigioniere con classi di resistenza specificate - Filettature a passo grosso e a passo fine. Prova di trazione.
- UNI EN ISO 6892-1:2020 Materiali metallici - Prova di trazione - Parte 1: Metodo di prova a temperatura ambiente.

5.2.2 Strumentazione e attrezzatura per prelievo

- Chiave dinamometrica e/o chiavi inglesi e/o chiavi a bussole.
- Moltiplicatore di coppia.
- Avvitatore pneumatico o elettrico completo di chiavi a bussole.
- Lubrificante e spazzola metallica per rimozione ossido.
- Calibro a corsoio e metro.
- Materiali per ripristino della finitura avente il RAL indicato in PIN o rilevato in cantiere tramite colorimetro.

5.2.3 Modalità di esecuzione del prelievo

Sulla base delle indicazioni contenute nel PIN, l'ESECUTORE individua il giunto strutturale e, tra i bulloni presenti, il bullone o i bulloni da prelevare.

Per ogni bullone da prelevare, prima di procedere al prelievo:

- Verificare la geometria, la tipologia e la classe del bullone da prelevare e confrontarle con quelle del bullone di ripristino, se differenti informare il COMMITTENTE e sospendere il prelievo.
- Controllare le condizioni del dado, della parte di vite filettata sporgente oltre il dado, del contatto tra la testa del bullone e la piastra:
 - o Nel caso di ossidazione leggera, spazzolare e poi lubrificare l'assieme.
 - o Nel caso di ossidazione importante/corrosione, con presenza di sfogliatura e aumento di volume, informare il COMMITTENTE e sospendere il prelievo (verifica possibilità di cambiare bullone da prelevare).

Se i controlli appena elencati danno esito positivo, eseguire il prelievo/i:

- Procedere alla svitatura del bullone; in caso di bulloni di grosso diametro, è possibile impiegare una chiave dinamometrica con moltiplicatore di coppia oppure un avvitatore pneumatico/elettrico).

- Esaminare il bullone prelevato e catalogarlo (§1.2.1), con relativa documentazione fotografica anche del punto di prelievo.
- Posizionare il nuovo bullone sostitutivo (bullone, rondelle e dadi) serrandolo alla coppia indicata nel PIN e/o secondo le modalità §5.3.
- Ripristino della finitura e della protezione come da schema Tipologici Ripristini Indagini ALLEGATO 1.

5.2.4 Presentazione dei risultati

Per ogni bullone che verrà sottoposto a prova di trazione dovranno essere rilevati i seguenti dati:

- Sigla identificativa del campione (§1.2.1) e del punto di prelievo;
- Ubicazione in pianta e/o profili/sezioni del punto di prelievo con relativa sigla (§1.2.1);
- Indicazione di eventuali difetti del campione (es. corrosione, riduzioni sezione...);
- Dimensioni e tipo di provino con indicazione dell'area resistente (diametro e marchio);
- Carico di rottura per trazione espresso in N;
- Carico unitario a rottura per trazione f_t in N/mm²;
- Se individuabile:
 - o Carico di snervamento per trazione espresso in N;
 - o Carico unitario di snervamento per trazione f_y in N/mm²;

Dovranno essere riportati anche i dati relativi all'attività di ripristino, ovvero:

- Certificato di provenienza del bullone/bulloni;
- Coppia di serraggio impiegata;
- Schede tecniche delle vernici protettive;
- Report fotografico (panoramica, dettaglio bullone/i prelevato/i, dettaglio del bullone/i di ripristino e della finitura). Ogni foto deve avere cartello identificativo (§1.2.1).

I certificati delle prove di trazione di laboratorio ai sensi della circolare 7617/STC saranno forniti in allegato alla relazione tecnica, nonché tutti gli altri dati relativi all'attività di ripristino.

Le informazioni sopra rilevate dovranno essere inserite all'interno di una tabella riepilogativa.

Il codice di identificazione dei campioni e del punto di prova (§1.2.1) dovrà corrispondere a quello riportato in pianta e/o sezioni. L'ubicazione di ogni prova eseguita, su piante/sezioni rappresentanti gli elementi strutturali indagati, dovrà essere univocamente indicata mediante il corrispondente codice di identificazione riportato sul campione e punto di prova (§1.2.1).

Si riporta un esempio di dati da riportare su certificato e alcune foto di campioni di prova:

CAMPIONE N°	SIGLA CAMPIONE	VITE TIPO MARCHIO E CLASSE	CARICO ROTTURA F_m N	CARICO UNITARIO DI ROTTURA (*) R_m MPa
1	M	M24x60 IML 10	356'220	1'009

* I carichi unitari di rottura sono riferiti ad una sezione nominale secondo UNI EN ISO 898 Parte 1* (A_n nom: 245 mm² per M20)

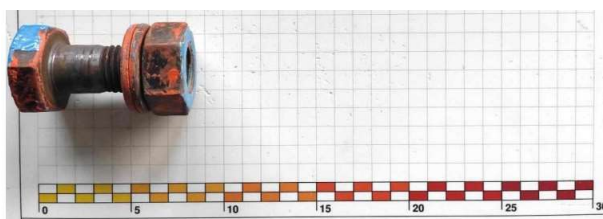


Figura 61 – Esempio di restituzione dati – Prove su bullone

5.3 Verifica della coppia di serraggio dei bulloni

I bulloni dei giunti strutturali, in particolare quelli precaricati ad alta resistenza, è necessario che siano adeguatamente serrati, controllando dunque che non siano poco serrati (e quindi inefficaci) o serrati eccessivamente (al fine di evitare lo snervamento o la possibile rottura della vite). Il tutto a beneficio di funzionalità ed efficienza del giunto.

Il controllo del loro serraggio (ossia della coppia di serraggio) avviene mediante una chiave dinamometrica.

5.3.1 Normativa di riferimento

- DM 17/01/2018: "Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni»;
- Circolare n.7 del 21/01/2019 C.S.LL.PP;
- CNR UNI 10011 "Costruzioni di acciaio, Istruzioni per il calcolo, l'esecuzione, il collaudo e la manutenzione";
- EN 1090-2: "Esecuzione di strutture di acciaio e di alluminio – Parte 2: Requisiti tecnici per strutture di acciaio".

5.3.2 Strumentazione e attrezzatura

- Chiave dinamometrica preferibilmente elettronica con impostazione digitale della coppia di serraggio ed eventuale impostazione di $\pm \Delta$ rispetto alla coppia target, munita di certificato di taratura;
- Pennarello indelebile;
- Eventuale moltiplicatore di coppia.

5.3.3 Modalità di esecuzione

Il numero di bulloni da controllare sarà indicato nel PIN, così come i giunti di appartenenza e la loro posizione e la coppia di serraggio target. È necessario quindi conoscere il diametro dei bulloni e la classe di resistenza. La verifica della coppia di serraggio deve essere eseguita preferibilmente su bulloni integri e non ossidati.

La procedura per il controllo della coppia di serraggio è la seguente:

Bulloni non a serraggio controllato (giunzioni non precaricate, giunzioni a taglio) tipo SB:

1. marcare dado e la testa della vite con un pennarello indelebile con una traccia continua che interessa anche la piastra sottostante;
2. allentare il dado con una rotazione almeno pari a 60° ;
3. applicare la coppia prescritta nel PIN riserrando il dado in verso opposto:
 - se la coppia prescritta riporta il dado nella stessa posizione di partenza, ovvero con le tracce allineate, l'esito è positivo;
 - se la coppia prescritta non riporta il dado nella stessa posizione di partenza, ovvero con le tracce non allineate, il bullone era sovraserato (se l'angolo di rotazione in fase di avvitamento è inferiore a 60° alla coppia impostata) o sottoserrato (se l'angolo di rotazione in fase di avvitamento è maggiore di 60° alla coppia impostata).

Bulloni a serraggio controllato (giunzioni precaricate, giunzioni ad attrito), per sistemi ad alta resistenza tipo HV, HR: è consigliabile evitare di allentare e riserrare il bullone in quanto potrebbe danneggiarlo e/o snervarlo.

E' preferibile quindi impiegare un metodo incrementale, che consiste nel procedere serrando il bullone, a partire da una coppia più bassa rispetto quella target, con un certo numero di step incrementali fino alla coppia target. Si potrebbe ad esempio procedere:

1. Coppia di partenza: coppia target – 200 Nm;
2. incrementi: 4 step da 50 Nm (a scelta dell'ESECUTORE);
3. marcare dado e la testa della vite con un pennarello indelebile con una traccia continua che interessa anche la piastra sottostante;
4. applicare la coppia di partenza e proseguire con gli step previsti, controllando ogni volta l'allineamento della traccia;
5. per ogni step di incremento con coppie intermedie:
 - il bullone non ruota, ovvero le tracce rimangono allineate: il bullone è serrato ad una coppia maggiore rispetto quella intermedia;
 - il bullone ruota, ovvero le tracce non rimangono allineate: il bullone è lento, ma è serrato almeno alla coppia intermedia. Negli step successivi il bullone ruoterà fino a quando non verrà raggiunta la coppia a cui è serrato (che può essere il target o l'intermedia);
6. in corrispondenza della coppia finale target:
 - il bullone non ha ruotato, ovvero le tracce sono rimaste allineate: il bullone è serrato almeno alla coppia target;
 - il bullone ha ruotato, ovvero le tracce non sono rimaste allineate: il bullone era lento ed è stato serrato alla coppia target.

È possibile applicare la procedura incrementale ai bulloni non da precarico, in particolare quando si vuole determinare il valore della coppia di serraggio nel caso di bulloni lenti (sottoserrati).

Se in un giunto anche un solo bullone non risponde alle prescrizioni circa il serraggio, tutti i bulloni del giunto devono essere controllati, a partire da quelli più interni verso quelli periferici.

Nel caso si preveda la rimozione di uno o più bulloni, si dovrà prevedere adeguatamente al ripristino: si richiede la medesima lunghezza, tipologia (es. HV), classe di resistenza del bullone stratto come concepito nel calcolo. E' richiesta anche la riverniciatura, con mantenimento del RAL presente.

5.3.4 Presentazione dei risultati

Per ogni bullone testato dovranno essere rilevati i seguenti dati:

- sigla identificativa del punto di misura (§1.2.1);
- ubicazione in pianta e/o profili/sezioni del punto di misura con relativa sigla (§1.2.1), posizione del giunto e del bullone;
- schema di prova (eventuale);
- tipologia del bullone (da precarico, normale..., diametro);
- eventuali fasi preparatorie (es. rimozione vernice);
- stato di conservazione del bullone;
- indicazione della coppia di riferimento target;
- verifica della coppia di serraggio (esito finale e/o esito dei vari step intermedi, con descrizione delle condizioni di rotazione del bullone e del suo serraggio, se possibile indicare la coppia);
- nome dell'operatore;
- data e ora dell'estrazione.

I report delle prove saranno forniti in allegato alla relazione tecnica.

Le informazioni sopra rilevate dovranno essere inserite all'interno di una tabella riepilogativa.

Il codice di identificazione del punto di prova (§1.2.1) dovrà corrispondere a quello riportato in pianta e/o sezioni.

L'ubicazione di ogni prova eseguita, su piante/sezioni rappresentanti gli elementi strutturali indagati, dovrà

essere univocamente indicata mediante il corrispondente codice di identificazione riportato sul campione e punto di prova (§1.2.1).

Di seguito si riporta un esempio di restituzione dati.

GIUNTO G	
<p>Unione inferiore – G3 Tot. 2 bulloni</p>	<p>Unione inferiore centrale – G2 Tot. 9 bulloni</p>
<p>Unione inferiore – G4 Tot. 2 bulloni</p>	



Attrezzatura utilizzata:	<input checked="" type="checkbox"/> Chiave dinamometrica
Posizione delle aree di prova:	Vedere schemi grafici allegati

Contrassegno identificativo della prova	Contrassegno bullone	Tipo di bullone	Coppia di riferimento [Nm]	Esito delle prove	Note
D1	D1.1	Ø18 N 5D	215	Bullone sottoserato a 180 Nm	Vedere schema grafico giunto D
D1	D1.2	Ø18 N 5D	215	Bullone sottoserato a 160 Nm	Vedere schema grafico giunto D
D2	D2.1	Ø18 N 5D	215	Bullone sottoserato a 160 Nm	Vedere schema grafico giunto D
D2	D2.2	Ø18 N 5D	215	Bullone sottoserato a 160 Nm	Vedere schema grafico giunto D
D2	D2.3	Ø18 N 5D	215	Bullone sottoserato a 160 Nm	Vedere schema grafico giunto D
D2	D2.4	Ø18 N 5D	215	Bullone sottoserato a 180 Nm	Vedere schema grafico giunto D
D2	D2.5	Ø18 N 5D	215	Bullone sottoserato a 190 Nm	Vedere schema grafico giunto D
D2	D2.6	Ø18 N 5D	215	Bullone sottoserato a 180 Nm	Vedere schema grafico giunto D
D2	D2.7	Ø18 N 5D	215	Bullone sottoserato a 160 Nm	Vedere schema grafico giunto D
D2	D2.8	Ø18 N 5D	215	Bullone sottoserato a 180 Nm	Vedere schema grafico giunto D
D2	D2.9	Ø18 N 5D	215	Bullone sottoserato a 160 Nm	Vedere schema grafico giunto D
D5	D5.1	Ø18 N 5D	215	Bullone sottoserato a 160 Nm	Vedere schema grafico giunto D
D5	D5.2	Ø18 N 5D	215	Bullone sottoserato a 160 Nm	Vedere schema grafico giunto D
G2	G2.1	Ø18 N 5D	215	Bullone serrato ad almeno 215 Nm	Vedere schema grafico giunto G
G2	G2.2	Ø18 N 5D	215	Bullone sottoserato a 200 Nm	Vedere schema grafico giunto G
G2	G2.3	Ø18 N 5D	215	Bullone sottoserato a 160 Nm	Vedere schema grafico giunto G
G2	G2.4	Ø18 N 5D	215	Bullone serrato ad almeno 215 Nm	Vedere schema grafico giunto G
G2	G2.5	Ø18 N 5D	215	Bullone sottoserato a 180 Nm	Vedere schema grafico giunto G
G2	G2.6	Ø18 N 5D	215	Bullone sottoserato a 170 Nm	Vedere schema grafico giunto G
G2	G2.7	Ø18 N 5D	215	Bullone sottoserato a 200 Nm	Vedere schema grafico giunto G
G2	G2.8	Ø18 N 5D	215	Bullone sottoserato a 210 Nm	Vedere schema grafico giunto G
G2	G2.9	Ø18 N 5D	215	Bullone sottoserato a 160 Nm	Vedere schema grafico giunto G
G3	G3.1	Ø18 N 5D	215	Bullone serrato ad almeno 215 Nm	Vedere schema grafico giunto G
G3	G3.2	Ø18 N 5D	215	Bullone serrato ad almeno 215 Nm	Vedere schema grafico giunto G
G4	G4.1	Ø18 N 5D	215	Bullone sottoserato a 210 Nm	Vedere schema grafico giunto G
G4	G4.2	Ø18 N 5D	215	Bullone sottoserato a 190 Nm	Vedere schema grafico giunto G
L2	L2.1	Ø18 N 5D	215	Bullone sottoserato a 210 Nm	Vedere schema grafico giunto L
L2	L2.2	Ø18 N 5D	215	Bullone serrato ad almeno 215 Nm	Vedere schema grafico giunto L
L2	L2.3	Ø18 N 5D	215	Bullone serrato ad almeno 215 Nm	Vedere schema grafico giunto L
L2	L2.4	Ø18 N 5D	215	Bullone serrato ad almeno 215 Nm	Vedere schema grafico giunto L
L2	L2.5	Ø18 N 5D	215	Bullone serrato ad almeno 215 Nm	Vedere schema grafico giunto L
L2	L2.6	Ø18 N 5D	215	Bullone serrato ad almeno 215 Nm	Vedere schema grafico giunto L

Figura 62 – Esempio di restituzione dati – Verifica della coppia di serraggio di bulloni

6 Saldature di elementi in carpenteria metallica

Nel presente capitolo sono riportate le indicazioni sulle modalità di indagine da condurre sulle saldature di elementi in carpenteria metallica, elencando e descrivendo le varie metodologie di controlli e le applicazioni in opera.

6.1 Metodologie di controlli non distruttivi sulle saldature

Il presente paragrafo riporta le indagini previste per eseguire controlli non distruttivi sulle saldature. Le metodologie di indagine di seguito analizzate sono:

- Controlli delle saldature con metodo visivo (VT);
- Controlli delle saldature con liquidi penetranti (PT);
- Controlli delle saldature con particelle magnetiche (MT);
- Controlli delle saldature con ultrasuoni (UT).

La scelta della metodologia di indagine verrà indicata nel PIN specifico, nonché il livello di accettabilità e l'estensione del controllo (100% saldature esistenti, parziali...). La preparazione del punto di prova della saldatura da verificare è commisurata al livello di accettabilità definito nel PIN e nella norma di riferimento.

Il personale addetto a tali controlli non distruttivi deve essere certificato secondo le UNI EN ISO 9712:2022 oppure UNI EN ISO 9712:2012, almeno di livello 2.

Si precisa che, nei paragrafi seguenti, per “certificato di prova” è inteso il documento contenente gli esiti dei controlli non distruttivi sulle saldature (VT, MT, UT) redatto ai sensi della relativa norma UNI di prova e firmato dal personale addetto ai controlli (ispettore certificato secondo le UNI EN ISO 9712:2022 oppure UNI EN ISO 9712:2012, almeno di livello 2).

6.1.1 Controllo delle saldature con metodo visivo (VT)

Il controllo visivo assume una notevole rilevanza nel processo ispettivo. La sua funzione è determinante per rilevare tutte le anomalie che si manifestano in superficie e sono visibili all'esame diretto.

L'esame visivo (VT) di una saldatura permette di rilevare diversi difetti quali:

- cricche
- corrosioni
- alterazioni di colore dovuti a surriscaldamenti
- erosioni
- deformazioni
- irregolarità della finitura superficiale
- errori di montaggio di sistemi meccanici
- variazioni dimensionali.

L'esame visivo è di fondamentale importanza per indirizzare correttamente i successivi esami non distruttivi, spesso condotti a campione, selezionando ed individuando le aree più opportune in funzione dell'impegno strutturale delle membrature e delle criticità emerse proprio a fronte dell'esame visivo.

6.1.1.1 Normativa di riferimento

- DM 17/01/2018: “Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni”
- UNI EN ISO 9712 – 2022 oppure UNI EN ISO 9712 - 2012: “Prove non distruttive - Qualificazione e certificazione del personale addetto alle prove non distruttive”

- UNI EN ISO 5817 - 2023: "Welding - Fusion-welded joints in steel, nickel, titanium and their alloys - Quality levels for imperfections"
- UNI EN ISO 17637 - 2017: "Controllo non distruttivo delle saldature - Esame visivo dei giunti saldati per fusione".

6.1.1.2 Strumentazione e attrezzatura

- Calibro da saldatura;
- calibro a corsoio;
- lenti di ingrandimento;
- lampada portatile;
- spazzola metallica;
- smerigliatrice con disco a grana fine;
- accessori vari (specchi, endoscopi...);
- prodotti per la pulizia della superficie.

6.1.1.3 Modalità di esecuzione

Operativamente, l'ESECUTORE dovrà seguire la procedura:

- a) In base al livello richiesto ed alle condizioni in sito, verificare il punto di prova, il quale potrà essere se previsto:
 - i. sgrassato e ripulito da polveri e la finitura, se non rimossa, deve essere ben aderente;
 - ii. in caso di sfogliature e/o distacchi e/o ossidi superficiali gli stessi devono essere rimossi per mezzo di spazzolatura meccanica e la superficie dovrà essere sgrassata e ripulita da polveri;
 - iii. rimozione totale fino a saldatura viva senza alterare il risultato del controllo, con spazzola metallica, solventi o smerigliatrice con disco a grana fine.

L'illuminazione della zona d'esame è di particolare importanza ed è ottenuta con lampade che permettono una luminosità di almeno 500 lux sul pezzo da esaminare;

- b) Eseguire il controllo su tutte le superfici accessibili del giunto saldato indicato nel PIN con eventuale identificazione di tutte le zone che presentano dei difetti tramite marcatore indelebile ad alto contrasto, per l'intera estensione. Valutare l'accettabilità del difetto in base ai limiti indicati nelle tabelle presenti nella norma UNI EN ISO 5817 – 2023;
- c) Procedere eseguendo le foto dei difetti riscontrati sull'elemento ispezionato, allegando ogni misura/descrizione utile a quantificare gli eventuali difetti;
- d) Ripristino delle aree di prova come da schema Tipologici Ripristini Indagini ALLEGATO 1 avente il RAL indicato in PIN o rilevato in cantiere tramite colorimetro.

L'esame visivo può essere diretto o indiretto (ausilio di specchi o strumenti quali teleobiettivi e endoscopi). L'esecuzione e l'interpretazione dei risultati deve essere effettuata da personale qualificato e certificato.

6.1.1.4 Presentazione dei risultati

I risultati dell'esame visivo dovranno essere riportati in un certificato riportante almeno i seguenti dati:

- Sigla identificativa del punto di esame (§1.2.1);
- Identificazione del componente ispezionato su piante e/o prospetti;
- Nome dell'operatore;

- Data e ora dell'esecuzione della prova;
- Materiale del componente analizzato;
- Spessore del materiale;
- Livelli di qualità/accettabilità secondo le UNI EN ISO 5817 - 2023;
- Caratteristiche tecniche principali della strumentazione utilizzata;
- Risultati dell'ispezione con riferimento ai criteri di accettabilità (esaustiva documentazione fotografica dei difetti riscontrati sull'elemento ispezionato).

I certificati dei controlli saranno forniti in allegato alla relazione tecnica, nonché tutti gli altri dati relativi all'attività di ripristino.

Le informazioni sopra rilevate dovranno essere inserite all'interno di una tabella riepilogativa.

Il codice di identificazione del punto di esame (§1.2.1) dovrà corrispondere a quello riportato in pianta e/o sezioni. L'ubicazione di ogni prova eseguita, su piante/sezioni rappresentanti gli elementi strutturali indagati, dovrà essere univocamente indicata mediante il corrispondente codice di identificazione riportato sul campione e punto di prova (§1.2.1).

Di seguito un esempio di restituzione:

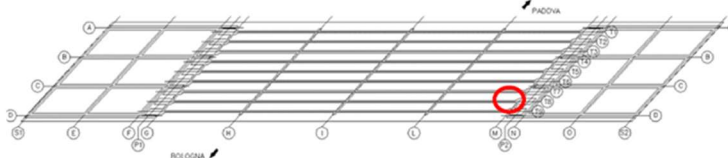



Indagini sulle saldature esame visivo							
 <p style="font-size: small; text-align: center;">Stralcio pianta impalcata dell'opera – localizzazione indagine (red circle)</p>							
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr style="background-color: #f2f2f2;"> <th style="text-align: left; padding: 2px;">Informazioni richieste</th> <th style="text-align: left; padding: 2px;">Giudizio Operatore</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="padding: 2px;"> –nome dell'operatore; –data e ora dell'esecuzione della prova; –identificazione del componente ispezionato su piante e/o prospetti; –materiale del componente analizzato; –spessore del materiale; – –caratteristiche tecniche principali della strumentazione utilizzata; </td> <td style="padding: 2px; vertical-align: top;"> livelli di qualità/accettabilità secondo le UNI EN ISO 5817 e giudizio motivato operatore </td> </tr> </tbody> </table>	Informazioni richieste	Giudizio Operatore	–nome dell'operatore; –data e ora dell'esecuzione della prova; –identificazione del componente ispezionato su piante e/o prospetti; –materiale del componente analizzato; –spessore del materiale; – –caratteristiche tecniche principali della strumentazione utilizzata;	livelli di qualità/accettabilità secondo le UNI EN ISO 5817 e giudizio motivato operatore	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr style="background-color: #f2f2f2;"> <th style="text-align: left; padding: 2px;">Documentazione fotografica</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="padding: 2px;">  <p style="color: yellow; font-weight: bold; font-size: small; position: absolute; left: 10%; bottom: 10%;">cricca trasversale</p> </td> </tr> </tbody> </table>	Documentazione fotografica	 <p style="color: yellow; font-weight: bold; font-size: small; position: absolute; left: 10%; bottom: 10%;">cricca trasversale</p>
Informazioni richieste	Giudizio Operatore						
–nome dell'operatore; –data e ora dell'esecuzione della prova; –identificazione del componente ispezionato su piante e/o prospetti; –materiale del componente analizzato; –spessore del materiale; – –caratteristiche tecniche principali della strumentazione utilizzata;	livelli di qualità/accettabilità secondo le UNI EN ISO 5817 e giudizio motivato operatore						
Documentazione fotografica							
 <p style="color: yellow; font-weight: bold; font-size: small; position: absolute; left: 10%; bottom: 10%;">cricca trasversale</p>							

Figura 63 – Esempio scheda di restituzione – Indagini sulle saldature con metodo visivo

6.1.2 Controllo delle saldature con liquidi penetranti (PT)

L'esame con liquidi penetranti consente di rilevare difettosità superficiali non individuabili con l'esame visivo. Tale ispezione è adatta per evidenziare e localizzare sul materiale esaminato eventuali discontinuità affioranti in superficie. Il metodo è ampiamente utilizzato per la ricerca di difetti nelle saldature quali cricche e porosità.

Il principio si basa sulla capacità di questi liquidi di penetrare per capillarità nelle fessure infinitesimali della superficie di una saldatura o di un semplice elemento metallico. Successivamente il liquido viene richiamato in superficie mediante apposite polveri (rivelatore), lasciando una traccia visibile dell'estensione e della forma del difetto.

Il controllo con liquidi penetranti trova limitati spazi di applicazione sulle strutture in opera poiché risulta piuttosto lento nella sua applicazione e richiede una preparazione e una pulizia molto spinte delle superfici. Ha il vantaggio di non richiedere nessuna apparecchiatura elettrica o elettronica. Per tale motivo, nel caso in cui fosse presente un rivestimento/finitura nel punto di prova indicato nel PIN, occorrerà valutare preliminarmente con il COMMITTENTE e PRG la sostituzione del controllo mediante metodo PT con metodo MT.

6.1.2.1 Normativa di riferimento

- DM 17/01/2018: "Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni"
- UNI EN ISO 9712 – 2022 oppure UNI EN ISO 9712 - 2012: "Prove non distruttive - Qualificazione e certificazione del personale addetto alle prove non distruttive"
- UNI EN ISO 3452-1 - 2021: "Prove non distruttive - Esame con liquidi penetranti - Parte 1: Principi generali"
- UNI EN ISO 23277 - 2015: "Controllo non distruttivo delle saldature - Controllo mediante liquidi penetranti - Livelli di accettabilità"

6.1.2.2 Strumentazione e attrezzatura

- Liquido penetrante;
- rivelatore;
- sgrassante / solvente;
- spazzola metallica manuale;
- panni;
- smerigliatrice con disco a spazzola;
- lampada portatile;
- lenti di ingrandimento.

6.1.2.3 Modalità di esecuzione

L'operazione di controllo deve essere eseguita con temperature del materiale compreso tra 10 e 40°C per consentire la migliore capacità penetrativa del liquido. La superficie da indagare deve trovarsi allo stato vivo con la saldatura a vista (priva di finitura) e va preparata mediante spazzolatura (manuale o meccanica) o solventi o detergenti appositi.

Operativamente, l'ESECUTORE dovrà seguire la procedura:

- a. Spruzzare il liquido penetrante (di colore generalmente rosso) a elevata sensibilità e ad alto contenuto di pigmenti colorati in bomboletta spray o applicarlo manualmente sulla superficie con un pennello; il penetrante deve essere lavabile con acqua o rimovibile con il liquido pulitore;
- b. Attendere 10-30' e rimuovere manualmente il liquido penetrante dalla superficie utilizzando stracci impregnati di acqua o imbevuti con solvente. Lasciare che la superficie si asciughi naturalmente oppure accelerare il processo mediante aria compressa filtrata e/o pulendo manualmente con degli stracci puliti e asciutti;
- c. Applicare uno sviluppatore bianco sulla superficie al fine di assorbire ed attirare verso la superficie il penetrante rimasto nelle discontinuità dopo il lavaggio e di espanderlo in superficie con conseguente ingrandimento anche delle indicazioni relative a piccolissime discontinuità;
- d. Eseguire il controllo su tutte le superfici accessibili del giunto saldato indicato nel PIN con eventuale identificazione di tutte le zone che presentano dei difetti tramite marcatore indelebile ad alto contrasto, per l'intera estensione. Valutare l'accettabilità del difetto in base ai limiti indicati nelle tabelle presenti nella norma UNI EN ISO 23277 - 2015;
- e. Procedere annotando la posizione e la dimensione degli eventuali difetti rilevati ed effettuare una foto per ogni difetto;
- f. Ripristino del punto di prova come da Schema Tipologici Ripristini Indagini ALLEGATO 1 avente il RAL indicato in PIN o rilevato in cantiere tramite colorimetro.

L'esecuzione e l'interpretazione dei risultati deve essere effettuata da personale qualificato e certificato.

6.1.2.4 Presentazione dei risultati

I risultati dell'esame con liquidi penetranti dovranno essere riportati in un certificato riportante almeno i seguenti dati:

- Sigla identificativa del punto di esame (§1.2.1);
- Identificazione del componente ispezionato su piante e/o prospetti;
- Nome dell'operatore;
- Data e ora dell'esecuzione della prova;
- Materiale del componente analizzato;
- Tipo di giunzione;
- Livelli di qualità/accettabilità secondo le UNI EN ISO 23277 - 2015;
- Prodotti utilizzati nel controllo (liquido penetrante, rivelatore...)
- Spessore del materiale;
- Caratteristiche tecniche principali della strumentazione utilizzata;
- Risultati dell'ispezione con riferimento ai criteri di accettabilità (esaustiva documentazione fotografica dei difetti riscontrati sull'elemento ispezionato).

I certificati dei controlli saranno forniti in allegato alla relazione tecnica, nonché tutti gli altri dati relativi all'attività di ripristino.

Le informazioni sopra rilevate dovranno essere inserite all'interno di una tabella riepilogativa.

Il codice di identificazione del punto di esame (§1.2.1) dovrà corrispondere a quello riportato in pianta e/o sezioni. L'ubicazione di ogni prova eseguita, su piante/sezioni rappresentanti gli elementi strutturali indagati, dovrà essere univocamente indicata mediante il corrispondente codice di identificazione riportato sul campione e punto di prova (§1.2.1).

Un esempio di restituzione è riportato di seguito.

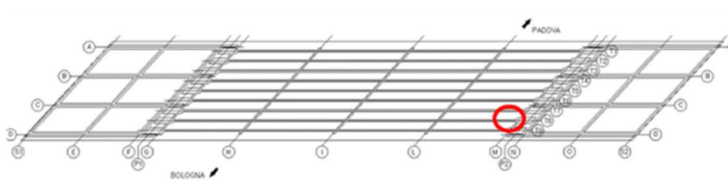



Indagini sulle saldature con liquidi penetranti							
 <p style="text-align: center; font-size: small;">Stralcio pianta impalcato dell'opera – localizzazione indagine (red circle)</p>							
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr style="background-color: #f2f2f2;"> <th style="text-align: left; padding: 2px;">Commenti</th> <th style="text-align: left; padding: 2px;">Giudizio Operatore</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="padding: 2px;"> -nome dell'operatore; -data e ora della prova; -identificazione del componente ispezionato su piante e prospetti; -materiale del componente; -tipo di giunzione; -spessore del materiale; -livelli di accettabilità; -prodotti utilizzati nel controllo (liquido penetrante, rivelatore...) </td> <td style="padding: 2px;"></td> </tr> </tbody> </table>	Commenti	Giudizio Operatore	-nome dell'operatore; -data e ora della prova; -identificazione del componente ispezionato su piante e prospetti; -materiale del componente; -tipo di giunzione; -spessore del materiale; -livelli di accettabilità; -prodotti utilizzati nel controllo (liquido penetrante, rivelatore...)		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr style="background-color: #f2f2f2;"> <th style="text-align: left; padding: 2px;">Documentazione fotografica</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center; padding: 10px;">  </td> </tr> </tbody> </table>	Documentazione fotografica	
Commenti	Giudizio Operatore						
-nome dell'operatore; -data e ora della prova; -identificazione del componente ispezionato su piante e prospetti; -materiale del componente; -tipo di giunzione; -spessore del materiale; -livelli di accettabilità; -prodotti utilizzati nel controllo (liquido penetrante, rivelatore...)							
Documentazione fotografica							
							

Figura 64 – Esempio scheda di restituzione – Indagini sulle saldature con liquidi penetranti

6.1.3 Controllo delle saldature con particelle magnetiche (MT)

L'esame magnetoscopico unisce una buona versatilità di impiego con una notevole rapidità di utilizzo. Consente di rilevare rapidamente difettosità anche sub-superficiali oltre a quelle aperte in superficie. La porzione di area da esaminare viene magnetizzata localmente con un elettromagnete le cui espansioni polari vengono appoggiate sulla superficie (fase di magnetizzazione). La magnetizzazione del materiale, in corrispondenza di singolarità che disturbano l'andamento regolare delle linee di flusso magnetico, tipicamente i difetti e le imperfezioni, subisce delle dispersioni locali di linee di forza in grado di attirare piccolissime particelle di polvere di ferro.

Durante la magnetizzazione l'area da esaminare viene irrorata con polvere magnetica secca o più frequentemente in sospensione spray in un veicolo liquido (fase di applicazione della polvere magnetica). Mantenendo la magnetizzazione per pochi secondi le particelle di polvere magnetica (di colore nero) migrano sui difetti presenti e ne fanno risaltare, sulla superficie precedentemente imbiancata con lacca di contrasto, la posizione, la forma e le dimensioni.

Il controllo richiede una buona preparazione della superficie ma è in grado di essere eseguito, talvolta con sensibilità ridotta, anche in presenza di strati di vernice superiori ai 50 micron, previo accertamento del livello di sensibilità d'esame. In caso di inattendibilità del metodo MT, in relazione allo spessore del rivestimento, occorre

procedere con altra metodologia di controllo, da concordare con il COMMITTENTE e/o PRG. Generalmente è necessario disporre di alimentazione elettrica anche se in casi estremi si può ricorrere all'impiego di magneti permanenti.

6.1.3.1 Normativa di riferimento

- DM 17/01/2018: "Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni"
- UNI EN ISO 9712 – 2022 oppure UNI EN ISO 9712 - 2012: "Prove non distruttive - Qualificazione e certificazione del personale addetto alle prove non distruttive"
- UNI EN ISO 17638 - 2016: "Controllo non distruttivo delle saldature - Controllo con particelle magnetiche"
- UNI EN ISO 23278 - 2015: "Controllo non distruttivo delle saldature - Controllo con particelle magnetiche - Livelli di accettabilità"

6.1.3.2 Strumentazione e attrezzatura

- Giogo elettromagnetico o magnete permanente (previa verifica del potere di sollevamento);
- lacca di contrasto;
- sgrassante / solvente;
- polveri magnetiche;
- spazzola metallica;
- smerigliatrice con disco a spazzola;
- lampada portatile;
- lenti di ingrandimento;

6.1.3.3 Modalità di esecuzione

Operativamente, l'ESECUTORE dovrà seguire la procedura:

- a. Verificare le condizioni della finitura del punto di prova, la quale, se presente, deve essere in buono stato di adesione e dovrà essere sgrassata e ripulita da polveri.
In caso di sfogliature e/o distacchi e/o ossidi superficiali gli stessi devono essere rimossi per mezzo di spazzolatura meccanica e la superficie dovrà essere sgrassata e ripulita da polveri;
- b. Nebulizzare sul pezzo da controllare la lacca bianca di contrasto;
- c. Magnetizzare la superficie con il giogo elettromagnetico seguendo le indicazioni della norma UNI EN ISO 17638;
- d. Applicare sul pezzo la polvere magnetica. Ripetere l'operazione per le opportune direzioni di magnetizzazione;
- e. Ispezionare e valutare le imperfezioni;
- f. Eseguire il controllo su tutte le superfici accessibili del giunto saldato indicato nel PIN con eventuale identificazione di tutte le zone che presentano dei difetti tramite marcatore indelebile ad alto contrasto, per l'intera estensione. Valutare l'accettabilità del difetto in base ai limiti indicati nelle tabelle presenti nella norma UNI EN ISO 23278 - 2015;
- g. Procedere annotando la posizione e la dimensione degli eventuali difetti rilevati ed effettuare una foto per ogni difetto;
- h. Ripristino del punto di prova come da schema Tipologici Ripristini Indagini ALLEGATO 1 avente il RAL indicato in PIN o rilevato in cantiere tramite colorimetro.

L'esecuzione e l'interpretazione dei risultati deve essere effettuata da personale qualificato e certificato.

6.1.3.4 Presentazione dei risultati

I risultati dell'esame con particelle magnetiche dovranno essere riportati in un certificato riportante almeno i seguenti dati:

- Sigla identificativa del punto di esame (§1.2.1);
- Identificazione del componente ispezionato su piante e/o prospetti;
- Nome dell'operatore;
- Data e ora dell'esecuzione della prova;
- Materiale del componente analizzato;
- Tipo di giunzione;
- Livelli di qualità/accettabilità secondo le UNI EN ISO 23278 - 2015;
- Prodotti utilizzati nel controllo (liquido penetrante, rivelatore...)
- Spessore del materiale;
- Caratteristiche tecniche principali della strumentazione utilizzata (tipologia di giogo);
- Prodotti utilizzati nel controllo (lacca di contrasto, polveri magnetiche ...);
- Risultati dell'ispezione con riferimento ai criteri di accettabilità (esaustiva documentazione fotografica dei difetti riscontrati sull'elemento ispezionato).

I certificati dei controlli saranno forniti in allegato alla relazione tecnica, nonché tutti gli altri dati relativi all'attività di ripristino.

Le informazioni sopra rilevate dovranno essere inserite all'interno di una tabella riepilogativa.

Il codice di identificazione del punto di esame (§1.2.1) dovrà corrispondere a quello riportato in pianta e/o sezioni.

L'ubicazione di ogni prova eseguita, su piante/sezioni rappresentanti gli elementi strutturali indagati, dovrà essere univocamente indicata mediante il corrispondente codice di identificazione riportato sul campione e punto di prova (§1.2.1).

Per il formato di restituzione si faccia riferimento alla scheda riportata nel paragrafo precedente.

6.1.4 Controllo delle saldature con ultrasuoni (UT)

Il controllo ultrasonoro (UT) è un metodo in cui onde sonore ad alta frequenza sono introdotte nel materiale da esaminare, allo scopo di evidenziare:

- difetti interni
- misurare lo spessore dei materiali
- misurare la distanza e la dimensione delle difettosità.

A differenza dei metodi con liquidi penetranti e con particelle magnetiche questo tipo di controllo è volumetrico, consente cioè la ricerca di difetti interni al materiale. Una delle applicazioni fondamentali di questa tecnologia è il controllo di giunti saldati a piena penetrazione. Tale metodologia non è applicabile a saldature a cordone d'angolo.

Questo tipo di applicazione prevede l'utilizzo di sonde angolate in quanto, la geometria del giunto e la presenza del sovrametallo sul cordone di saldatura, rende necessario un fascio ultrasonoro angolato per sfruttare la riflessione della lamiera base e scandagliare l'intero volume della saldatura.

6.1.4.1 Normativa di riferimento

- DM 17/01/2018: "Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni"
- UNI EN ISO 9712 – 2022 oppure UNI EN ISO 9712 - 2012: "Prove non distruttive - Qualificazione e certificazione del personale addetto alle prove non distruttive"
- UNI EN ISO 17640 - 2019: "Controllo non distruttivo delle saldature - Controllo mediante ultrasuoni - Tecniche, livelli di prova e di valutazione"
- UNI EN ISO 11666 - 2018: "Controllo non distruttivo delle saldature - Controllo mediante ultrasuoni - Livelli di accettabilità"
- UNI EN ISO 23279 – 2017: "Prove non distruttive delle saldature – Prove a ultrasuoni – Caratterizzazione delle discontinuità nelle saldature"

6.1.4.2 Strumentazione e attrezzatura

- Rilevatore di difetti a ultrasuoni;
- trasduttori / sonde;
- gel accoppiante;
- sgrassante / solvente;
- spazzola metallica;
- smerigliatrice;
- blocchi campione previsti dalla normativa.

6.1.4.3 Modalità di esecuzione

Le superfici interessate dal controllo a ultrasuoni devono essere sufficientemente lisce in modo tale da permettere una buona scorrevolezza del trasduttore. Per ottenere un buon accoppiamento tra la sonda e il materiale da esaminare è necessario eliminare l'aria che vi si interpone, mediante l'utilizzo di un mezzo di accoppiamento da inserire tra la sonda e la superficie da esaminare. Il mezzo di accoppiamento deve avere buone caratteristiche di bagnabilità e una buona trasparenza agli ultrasuoni.

Operativamente, l'ESECUTORE dovrà seguire la procedura:

- a. Verificare le condizioni della finitura del punto di prova, la quale se presente deve essere in buono stato di adesione e dovrà essere sgrassata e ripulita da polveri.

In caso di sfogliature e/o distacchi e/o ossidi superficiali gli stessi devono essere rimossi per mezzo di spazzolatura meccanica e la superficie dovrà essere sgrassata e ripulita da polveri al fine di renderla quanto più omogenea e liscia;

- b. Verificare la strumentazione ed eseguire la taratura dell'asse dei tempi e della sensibilità sui blocchi campione previsti da normativa e sui difetti di riferimento (fori trapanati lateralmente, fori piani, intagli...);
- c. Il controllo deve essere eseguito su tutto il volume del pezzo in modo da non lasciare aree inesplorate, nel caso in cui ciò non sia possibile, a causa della configurazione del particolare da esaminare o per altre motivazioni, deve essere avvisato il COMMITTENTE;
- d. L'ESECUTORE deve spaziare lungo tutto lo sviluppo trasversale del giunto, soffermandosi sulle sezioni in cui vengono rilevate anomalie di segnale, al fine di identificare la profondità e l'estensione del difetto;
- e. Eseguire il controllo su tutte le superfici accessibili del giunto saldato indicato nel PIN con eventuale identificazione di tutte le zone che presentano dei difetti tramite marcatore indelebile ad alto contrasto, per l'intera estensione. Valutare l'accettabilità del difetto in base ai limiti indicati nelle tabelle presenti nella norma UNI EN ISO 11666 - 2018;
- f. Procedere annotando la posizione e la dimensione degli eventuali difetti rilevati ed effettuare una foto per ogni difetto;
- g. Ripristino del punto di prova come da schema Tipologici Ripristini Indagini ALLEGATO 1 avente il RAL indicato in PIN o rilevato in cantiere tramite colorimetro.

L'esecuzione e l'interpretazione dei risultati deve essere effettuata da personale qualificato e certificato.

6.1.4.4 Presentazione dei risultati

I risultati dell'esame ultrasonoro dovranno essere riportati in un certificato riportante almeno i seguenti dati:

- Sigla identificativa del punto di esame (§1.2.1);
- Identificazione del componente ispezionato su piante e/o prospetti;
- Nome dell'operatore;
- Data e ora dell'esecuzione della prova;
- Materiale del componente analizzato;
- Tipo di giunzione;
- Livelli di qualità/accettabilità secondo le UNI EN ISO 11666 - 2018;
- Prodotti utilizzati nel controllo (liquido penetrante, rivelatore...);
- Spessore del materiale;
- Caratteristiche tecniche principali della strumentazione utilizzata (tipologia di giogo);
- Prodotti utilizzati nel controllo (lacca di contrasto, polveri magnetiche ...);
- Risultati dell'ispezione con riferimento ai criteri di accettabilità (esaustiva documentazione fotografica dei difetti riscontrati sull'elemento ispezionato).

I certificati dei controlli saranno forniti in allegato alla relazione tecnica, nonché tutti gli altri dati relativi all'attività di ripristino.

Le informazioni sopra rilevate dovranno essere inserite all'interno di una tabella riepilogativa.

Il codice di identificazione del punto di esame (§1.2.1) dovrà corrispondere a quello riportato in pianta e/o sezioni.

L'ubicazione di ogni prova eseguita, su piante/sezioni rappresentanti gli elementi strutturali indagati, dovrà essere univocamente indicata mediante il corrispondente codice di identificazione riportato sul campione e punto di prova (§1.2.1).

6.2 Controllo delle saldature in opera

6.2.1 Oggetto delle attività

Le attività devono essere svolte dall'ESECUTORE, le metodologie previste sono quelle trattate al paragrafo precedente (§6.1) e la scelta di una o dell'altra verrà sempre indicata nel PIN.

Il tecnico incaricato dell'ispezione deve essere qualificato di *livello 2* ai sensi della norma UNI EN ISO 9712:2022 oppure UNI EN ISO 9712:2012.

Gli elementi strutturali indicati nel PIN potrebbero essere affetti da difettosità più o meno estesa che, generalmente, coinvolgono anche le protezioni.

Nei paragrafi seguenti sono dettagliate le attività da svolgere nel caso di difetti, distinguendo le modalità operative quando presenti e noti (§6.2.2) e quando non noti a priori (§6.2.3).

È sempre richiesta una valutazione delle condizioni della finitura, ossia preliminarmente ai controlli l'ESECUTORE dovrà dare una valutazione della stessa indicando:

- **Stato del rivestimento:**
 - integro e solidale con cordone
 - integro ma distaccato dal cordone (rigonfio),
 - lesionato, sfogliato parzialmente
 - totalmente assente
- **Presenza o assenza di ossidazione.**

Tale valutazione dovrà essere integrata all'interno dei certificati dei controlli successivamente richiesti e corredata da un rilievo fotografico delle condizioni della finitura a supporto della descrizione riportata.

6.2.2 Elementi per i quali sono noti i difetti

In caso di difetto censito (da scheda ispettiva periodica e da sopralluogo) occorre procedere al rilievo del degrado in accordo a quanto riportato al §3 della presente Istruzione; in particolare, sono da quantificare i seguenti difetti tipologici:

- "corrosione" (difetto tipologico Acc_10 e Acc_11);
- "difetto della saldatura" (difetto tipologico Acc_1);
- "rottura della saldatura" (difetto tipologico Acc_2).

raccogliendo i dati di seguito indicati. L'ESECUTORE deve redigere un certificato che deve contenere i seguenti dati e misure:

- Schema grafico con l'ubicazione del difetto (distanza in pianta o ascissa dal punto notevole più vicino: mezzeria, appoggio, nodo...) e:
 - Nel caso di CORROSIONE, riportare l'estensione e la lunghezza del tratto corroso;
 - Nel caso di ROTTURA o DIFETTO, riportare la mappa quotata delle cricche/lesioni/distacchi (quotare la lunghezza del tratto interessato dai difetti e le dimensioni dei difetti stessi);
- Descrizione testuale sintetica del difetto con indicazione di:
 - disposizione del giunto (testa-testa, sovrapposizione, a T, a L...);
 - posizione rispetto allo stato di sollecitazione (laterale, frontale, obliquo);
 - tipologia di saldatura (completa/parziale penetrazione, cordone d'angolo);
 - rilievo della geometria residua della saldatura:
 - se CORROSIONE, rilievo dello spessore o altezza di gola residui nel punto minimo;

- se ROTTURA o DIFETTO, rilievo della posizione della rottura o del difetto ed estensione;

Nel caso di CORROSIONE, la misurazione della geometria e dei difetti deve essere eseguita con gli strumenti più idonei al caso, es. meccanici (calibri) e/o ultrasonici, dopo le opportune attività di pulizia (es. spazzolatura).

Nel caso di ROTTURA o DIFETTI l'attività di controllo strumentale prevista è eseguita con i metodi magnetoscopici e/o ultrasonici in accordo alle indicazioni presenti al precedente §6.2.1.

- Fotografie descrittive:
 - Almeno n.1 foto "panoramica", con individuazione di: carreggiata, campata, elemento, posizione;
 - Foto di dettaglio della saldatura e del difetto, preventivamente identificato tramite marcatore indelebile ad alto contrasto per tutta la sua estensione (in numero opportuno, strettamente necessario);
 - L'ESECUTORE deve riportare fotografie sia dello stato ante pulizia (nella condizione in cui sono state trovate, eventuale presenza di acqua...) sia post pulizia.

Su elementi con difettosità estesa, l'ESECUTORE deve concordare con il COMMITTENTE e/o PRG la discretizzazione del rilievo.

Si precisa, infine, che le attività di ripristino delle protezioni non sono richieste all'ESECUTORE, essendo le zone indagate già degradate e quindi con protezioni inefficaci. Nei casi in cui sia richiesto il ripristino, fare riferimento al paragrafo "Prelievo elementi in acciaio da carpenteria metallica" al §5 della presente Istruzione.

6.2.3 Elementi per i quali non sono noti i difetti

Il controllo in opera di saldature esistenti per le quali non sono noti difetti a priori ha come criteri di accettabilità quelli previsti dai singoli metodi di controllo (VT, MT e UT) così come indicato al paragrafo § 6.1.

Nel caso in cui non siano censiti difetti (da scheda ispettiva periodica e/o da sopralluogo), si ipotizza comunque che, nella maggior parte dei casi, si possano trovare saldature difettate: per tale motivo, si richiede sempre una ispezione visiva preliminare della finitura come indicato al § 6.2.1, nelle aree da indagare, e del loro intorno, individuate da PIN. Infatti, il deterioramento della verniciatura, quando presente, può essere indicativo di una zona soggetta ad ammaloramento e che quindi potrebbe presentare un giunto di saldatura più vulnerabile.

Le attività devono essere svolte secondo la procedura riportata di seguito, in base alle tipologie di protezione/finitura presenti:

- caso A – elementi verniciati;
- caso B – elementi in acciaio corten non verniciato;
- caso C – elementi zincati a caldo.

Caso A – elementi verniciati.

Sulle giunzioni saldate indicate nel PIN, l'ESECUTORE esegue la verifica visiva preliminare dello stato di conservazione del rivestimento/finitura dei cordoni di saldatura secondo le modalità definite al §6.2.1.

Successivamente, rimuove il rivestimento/finitura del cordone di saldatura e procede alla preparazione del cordone per l'esecuzione del controllo secondo le specifiche metodologie di cui al §6.1.

In assenza di specifiche indicazioni riportate nel PIN, si applicheranno le seguenti modalità operative:

1. rimozione del rivestimento/finitura esclusivamente mediante spazzola metallica, sia manuale sia installata su trapano o flessibile, e perfezionamento finale eventualmente con solventi e/o carta abrasiva a grana fine manualmente;
2. ispezione visiva della saldatura esposta, in accordo alla UNI EN ISO 17637 – 2017;
3. controllo strumentale della saldatura esposta:
 - magnetoscopico, su tutti i tipi di saldature;
 - ultrasonico, solo su saldature a completa penetrazione principali di spessore maggiore di 8 mm;
4. ripristino della protezione come da schema Tipologici Ripristini Indagini ALLEGATO 1 e §6.2.2.4 avente il RAL indicato in PIN o rilevato in cantiere tramite colorimetro.

Si precisa che nelle zone esenti da difetti, è necessario procedere ad una verifica dello spessore del rivestimento, così come indicato nell'appendice A.1 della norma UNI EN ISO 17638-2016. Per spessori elevati, superiore ai 50 micron, tali da rendere non applicabile il metodo MT, le metodologie di indagine alternative saranno concordate con il COMMITTENTE e/o PRG.

I metodi di controllo delle saldature sono svolti in accordo al paragrafo § 6.2.1 ed è richiesta, in presenza di difetti, l'identificazione del difetto e della sua estensione tramite marcatore indelebile ad alto contrasto.

Nel caso in cui siano presenti delle non conformità ai criteri di accettabilità indicati nel paragrafo iniziale sarà cura dell'ESECUTORE avvisare il COMMITTENTE e/o PRG, al fine di valutare, ad esempio, l'incremento dell'estensione del controllo ad ulteriori cordoni.

Caso B – Acciaio COR-TEN non verniciato

Date le caratteristiche dell'acciaio COR-TEN, prima dell'inizio delle indagini, l'ESECUTORE dovrà verificare la zona da indagare che non sia soggetta a percolazioni o esposta ad altre possibili fenomeni di causa di degrado. L'ESECUTORE esegue analisi strumentali delle saldature individuate nel PIN e nell'intorno, procedendo ad eseguire le seguenti attività:

- preparazione del supporto esclusivamente mediante spazzola metallica, sia manuale sia installata su trapano o flessibile, e perfezionamento finale eventualmente con carta abrasiva a grana fine manualmente.
NB: l'attività deve essere svolta con estrema cura a non creare incisioni o intagli nel materiale; evitare l'uso della mola con disco da taglio;
- ispezione visiva della saldatura, in accordo alla UNI EN ISO 17637 – 2017;
- individuazione delle zone da sottoporre a controllo strumentale:
 - magnetoscopico, su tutti i tipi di saldature;
 - ultrasonico, solo su saldature a completa penetrazione principali di spessore maggiore di 8 mm.

Il criterio di accettabilità dei difetti deve essere conforme a quello riportato all'inizio di questo paragrafo.

I metodi di controllo delle saldature sono svolti in accordo al paragrafo § 6.2.1 ed è richiesta l'identificazione del difetto e della sua estensione tramite marcatore indelebile ad alto contrasto.

Caso C – elementi zincati a caldo

Sulle giunzioni saldate indicate nel PIN, l'ESECUTORE esegue la verifica visiva preliminare dello stato di conservazione del rivestimento/finitura dei cordoni di saldatura secondo le modalità definite al §6.2.1.

Data la peculiarità del rivestimento, l'eventuale rimozione e successivo ripristino dovranno essere concordati preliminarmente con COMMITENTE e/o PRG. Quindi l'ESECUTORE, ricevuto il benestare, procede secondo le seguenti modalità:

1. rimozione del rivestimento/finitura esclusivamente mediante spazzola metallica, sia manuale sia installata su trapano o flessibile, e perfezionamento finale eventualmente con solventi e/o carta abrasiva a grana fine manualmente;
2. ispezione visiva della saldatura esposta, in accordo alla UNI EN ISO 17637 – 2017;
3. individuazione delle zone da sottoporre a controllo strumentale:
 - magnetoscopico, su tutti i tipi di saldature;
 - ultrasonico, solo su saldature a completa penetrazione principali di spessore maggiore di 8 mm;

Il ripristino della protezione dovrà avvenire secondo quanto concordato con COMMITENTE e/o PRG (§6.4).

Si precisa che, nelle zone esenti da difetti, è necessario procedere ad una verifica dello spessore del rivestimento, così come indicato nell'appendice A.1 della norma UNI EN ISO 17638-2016. Per spessori elevati, superiore ai 50 micron, tali da rendere non applicabile il metodo MT, le metodologie di indagine alternative saranno concordate con il COMMITENTE e/o PRG.

I metodi di controllo delle saldature sono svolti in accordo al paragrafo § 6.2.1 ed è richiesto, in presenza di difetti, l'identificazione del difetto e della sua estensione tramite marcatore indelebile ad alto contrasto.

Nel caso in cui siano presenti delle non conformità ai criteri di accettabilità indicati nel paragrafo iniziale sarà cura dell'ESECUTORE avvisare il COMMITENTE e/o PRG, al fine di valutare, ad esempio, l'incremento dell'estensione del controllo ad ulteriori cordoni.

6.3 Ripristini di vernice protettiva

Per i dettagli si rimanda al documento Schema Tipologici Ripristini Indagini ALLEGATO 1, del quale di seguito si riportano i punti salienti:

- Preparazione delle superfici: Verniciatura con sistema protettivo per ambiente C5 durata attesa H (> 15 anni) o C4 durata attesa VH (> 25 anni) secondo ISO 12944:2018.
- Preparazione delle superfici: Le superfici devono essere preliminarmente pulite, con strumenti idonei, in maniera tale che risultino completamente rimossi olii e grassi, ruggine, calamina, rivestimenti ed altri materiali estranei. Ogni eventuale traccia residua di contaminazione deve presentarsi solo come macchia leggera in forma di punti o strisce (rif. grado di pulitura St3, ISO 8501-1).
Successivamente occorre procedere con la preparazione meccanica della superficie, con strumenti manuali o meccanici (es: mola con disco di carta...), creando un idoneo profilo di ancoraggio delle protezioni.
- Tipologia vernici e cicli di verniciatura: È facoltà dell'ESECUTORE proporre tipologia e cicli di verniciatura, da sottoporre all'approvazione del COMMITTENTE, per ottenere le prestazioni sopra indicate.
- RAL: È onore del gruppo ATIL comunicare all'ESECUTORE il RAL da applicare. Qualora questo non fosse noto oppure l'opera presentasse variazione cromatica dovuta all'invecchiamento, è richiesto all'ESECUTORE la misurazione diretta in campo mediante colorimetro.

6.4 Ripristini di zincatura protettiva

Per i dettagli si rimanda al documento Schema Tipologici Ripristini Indagini ALLEGATO 1, del quale di seguito si riportano i punti salienti:

- Preparazione delle superfici: Verniciatura con sistema protettivo per ambiente C5 durata attesa H (> 15 anni) o C4 durata attesa VH (> 25 anni) secondo ISO 12944:2018.
- Preparazione delle superfici: Le superfici devono essere preliminarmente pulite, con strumenti idonei, in maniera tale che risultino completamente rimossi olii e grassi, ruggine, calamina, rivestimenti ed altri materiali estranei. Ogni eventuale traccia residua di contaminazione deve presentarsi solo come macchia leggera in forma di punti o strisce (rif. grado di pulitura St3, ISO 8501-1).
Successivamente occorre procedere con la preparazione meccanica della superficie, con strumenti manuali o meccanici (es: mola con disco di carta...), creando un idoneo profilo di ancoraggio delle protezioni.
- Tipologia vernici e cicli di verniciatura: Si devono utilizzare vernici ad elevato contenuto di zinco; è facoltà dell'ESECUTORE proporre tipologia e cicli di verniciatura, da sottoporre all'approvazione del COMMITTENTE, per ottenere le prestazioni sopra indicate.
- RAL: È onore del gruppo ATIL comunicare all'ESECUTORE il RAL da applicare. Qualora questo non fosse noto oppure l'opera presentasse variazione cromatica dovuta all'invecchiamento, è richiesto all'ESECUTORE la misurazione diretta in campo mediante colorimetro.

Le specifiche sopra riportate si riferiscono al caso di zincatura a freddo.

Nel caso di zincatura a caldo (§6.2.3, caso C) le modalità di ripristino devono essere concordate preliminarmente con COMMITTENTE e/o PRG, con la possibilità di applicare previ accordi quanto indicato sopra.

7 Indagini speciali per strutture in cemento armato precompresso

La pianificazione, la modalità di svolgimento e le tipologie di prova devono essere coerenti con quanto riportato nel documento IO22: "Piano delle Indagini su elementi in c.a.p. post-tesi ai fini delle verifiche accurate di sicurezza. Istruzioni operative" richiamato al §1.3 della presente Istruzione.

7.1 Rilievo del tracciato e della sezione dell'armatura di precompressione

7.1.1 Oggetto

La presente procedura ha come oggetto la definizione delle modalità di esecuzione dei rilievi per l'individuazione della consistenza del sistema di precompressione, ovvero i dettagli costruttivi, sia per elementi pre-tesi sia per elementi post-tesi. In alcuni casi il rilievo può essere limitato all'individuazione puntuale del cavo, finalizzata ad ulteriori indagini (sondaggi endoscopici, tomografie...).

7.1.2 Normativa di riferimento

- RILEM TC 127-MS: Tests for masonry materials and structures;
- ASTM D6432-99 (R2005): Standard Guide for Using the Surface Ground Penetrating Radar Method for Subsurface Investigation. .

7.1.3 Strumentazione e attrezzatura

La strumentazione per effettuare i rilievi è generalmente costituita da:

- Georadar con antenna avente frequenza adeguata in relazione allo spessore previsto/presunto da indagare (antenne ad alta frequenza consentono di indagare spessori limitati solitamente intorno a 30 cm, antenne a bassa frequenza consentono di indagare spessori maggiori di 30 cm); anche in relazione alle condizioni di sito (es. umidità). Solitamente è richiesto un georadar a singola antenna, ma può essere impiegato anche un georadar multicanale con antenne polarizzate., ;
- Martello perforatore con attacco SDS Plus, con scalpelli piatti e a punta SDS plus;
- Mazzetta e scalpello per operazioni manuali;
- Calibro a corsoio;
- Software di post-elaborazione, che permettono anche la restituzione in formato .dxf, quando richiesto.

7.1.4 Modalità di esecuzione

Generalmente, il rilievo del sistema di precompressione degli elementi strutturali si articola nella:

1. Individuazione del tracciato dell'armatura di precompressione mediante scansione/i con georadar;
2. Definizione della quantità di armatura di precompressione:
 - a. Nel caso di elementi pre-tesi (a fili aderenti), il numero di trefoli/trecce presenti nella sezione dell'elemento;
 - b. Nel caso di elementi post-tesi (a cavi scorrevoli), il numero di cavi nell'elemento ed il numero di trefoli/fili costituenti i cavi stessi;
3. Determinazione della sezione dei trefoli/fili (diametro);
4. Quando le condizioni lo consentono, i due punti precedenti si attuano mediante la rilevazione delle testate degli elementi (in particolare, il sistema di ancoraggio nel caso di elementi post-tesi), altrimenti si eseguono mediante demolizioni locali nell'elemento.

7.1.5 Individuazione del tracciato dell'armatura di precompressione

Preliminarmente all'esecuzione dell'indagine georadar dovranno essere svolte una serie di scansioni su un breve tratto campione dell'elemento strutturale atte a calibrare la scansione e la restituzione, in termini di risoluzione del radargramma, del valore corretto del copriferro o di uno spessore noto (costante dielettrica del materiale), nonché ad accertarsi dell'adeguatezza del punto di prova (es. presenza di rinforzi o ripristini che potrebbero schermare o attenuare il segnale). In presenza di disturbi elettromagnetici causati da sorgenti esterne note, si dovrà filtrare preliminarmente il segnale con varie tipologie di filtri (filtro passa-basso, passo-alto, passa-banda).

Il rilievo del tracciato dei cavi di precompressione consiste nel rilevare l'ubicazione dell'armatura di precompressione in corrispondenza di più sezioni trasversali dell'elemento, ubicate a diverse distanze da un punto noto (es. appoggio), e per ognuna di queste misurare la posizione verticale dell'armatura rispetto l'intradosso dell'elemento..

Operativamente, il rilievo del tracciato dell'armatura di precompressione viene eseguito con la seguente procedura:

1. Suddivisione dell'elemento in almeno tre zone di indagine, se non diversamente indicato nel PIN, ubicate rispettivamente nella mezzeria e alle due estremità dell'elemento.

Nel caso di travi le zone di indagine saranno posizionate:

- a. Dall'appoggio 1 a circa $\frac{1}{4}$ della luce, sull'anima.
- b. In mezzeria, all'intradosso del bulbo inferiore, per circa 1,50 m.
- c. Da circa $\frac{3}{4}$ della luce all'appoggio 2, sull'anima.

L'estensione e/o la numerosità delle zone di indagine potrà essere aumentato o diminuito in relazione alla complessità del tracciato da individuare: nel caso di armatura rettilinea, ad esempio, potranno essere considerate zone meno estese oppure nel caso armature a cavi scorrevoli con un numero elevato di cavi, le sezioni potranno essere più estese. I dettagli sono riportati nel PIN.

2. Suddivisione delle zone di indagine in una serie di sezioni trasversali di misura disposte ad un interasse costante e quotate a partire da un punto noto (es. appoggio) con coordinata X come di seguito definito; solitamente l'interasse di misura è di 50 cm, salvo diverse indicazioni riportate nel PIN. La numerosità e l'interasse delle sezioni, per ogni zona, potrà essere aumentato o diminuito in relazione alla complessità del tracciato da individuare (armature rettilinee o inclinate o paraboliche).
3. In corrispondenza di ciascuna delle sezioni di misura, nel caso di superfici piane verticali (es. anima travi o traversi) esecuzione di scansione lineare verticale con georadar per tutta l'altezza indagabile dell'elemento, nel caso di superfici piane orizzontali (es. solette o bulbo inferiore delle travi) scansione lineare orizzontale con georadar per tutta la larghezza dell'elemento. Memorizzazione del segnale acquisito ed evidenziazione con marcatore dell'ubicazione dell'armatura rilevata sulla superficie dell'elemento. Nel caso di georadar multicanale e/o con antenne polarizzate è possibile indagare più direzioni (2D) con una sola scansione.
4. Rilievo metrico della posizione dell'armatura individuata sull'elemento mediante:
 - coordinate X (distanza orizzontale longitudinale da un punto noto più vicino, esempio l'appoggio nel caso di travi);
 - coordinate Y (nel caso di superfici verticali, distanza verticale dall'intradosso dell'elemento);
 - coordinate Z (nel caso di superfici orizzontali, distanza orizzontale trasversale da uno spigolo dell'elemento).

La distanza X corrisponde anche alla coordinata della sezione trasversale di misura sulla quale si esegue la scansione, definita in precedenza.

Le coordinate Y e Z possono anche essere desunte dal radargramma memorizzato, a condizione che si riporti comunque la distanza X e la posizione dell'origine del sistema di riferimento del radargramma rispetto un punto dell'elemento (es. intradosso elemento, appoggio o nodo strutturale...). E' quindi indispensabile la memorizzazione in B-SCAN del radargramma.

5. Esecuzione di demolizioni localizzate lungo l'elemento o ispezione delle testate.

7.1.6 Rilievo dei trefoli / fili presenti nei cavi di precompressione

Successivamente all'identificazione del tracciato dell'armatura di precompressione, come definito al §7.1.4, è necessario definirne la quantità, in maniera tale da calcolare i cm² di area totale di acciaio.

La quantità di armatura di precompressione è definita mediante:

- Il conteggio dei trefoli/trecce presenti nella sezione, nel caso di elementi in c.a.p. a fili aderenti; il conteggio del numero di cavi presenti nella sezione e il numero di trefoli/fili costituenti il cavo/i, nel caso di elementi in c.a.p. a cavi scorrevoli.
- La misura della sezione (diametro) dei fili o dei fili di trefoli/trecce.

Il rilievo del numero di fili/trecce/trefoli e dei cavi e la misura del relativo diametro (trefoli/fili), presenti nella sezione, dovrà essere preferibilmente eseguito in corrispondenza delle testate degli elementi precompressi, previa rimozione del calcestruzzo di protezione (§7.4): in questo caso il rilievo del numero di fili/trecce/trefoli e dei cavi è completo. Riportare anche il tipo di ancoraggio (ed eventualmente lo stato di conservazione come indicato al §3).

Qualora non fosse possibile accedere alle testate, tutte o in parte, il rilievo e le misure potranno essere effettuate dove il calcestruzzo di copriferro (stimato a partire dal rilievo GPR al §7.1.4.1) è limitato, ad esempio nelle travi sull'intradosso del bulbo inferiore in prossimità della sezione di mezzeria, mediante demolizione locale di questo (saggio), secondo le modalità al §7.4; in quest'ultimo caso, il rilievo è limitato al conteggio delle sole armature (fili/trefoli/trecce e cavi) visibili in relazione alle dimensioni dello scasso, mentre la misura della sezione (diametro) dei fili o dei fili di trefoli/trecce è sempre possibile.

Tutte le demolizioni ed i relativi ripristini dovranno essere eseguiti in accordo allo schema Tipologici Ripristini Indagini ALLEGATO 1.

Indicazioni più specifiche sono riportate nel PIN, con la possibilità di eseguire ulteriori prove all'interno delle demolizioni locali eseguite (es. prove di durezza, ispezione condizioni di conservazione dell'armatura...), allo scopo di minimizzare gli scassi.

7.1.7 Presentazione dei risultati

Per ogni elemento in c.a.p. interessato dall'individuazione della consistenza del sistema di precompressione dovrà essere prodotto un a una scheda contenente:

- sigla identificativa del punto di misura (§1.2.1);
- ubicazione in pianta e/o profili/sezioni del punto di misura con relativa sigla (§1.2.1);
- profilo longitudinale dell'elemento in c.a.p. investigato contenente l'ubicazione delle zone e delle sezioni di misura/rilievo con il tracciato dei cavi rilevato (possibilmente sovrapposto a quello di progetto), quotate rispetto un punto noto (es. appoggio). Su richiesta del COMMITTENTE e a partire dai documenti di progetto/contabilità, il profilo longitudinale dell'elemento dovrà essere restituito in formato editabile DWG, in cui il tracciato rilevato deve essere sovrapposto al tracciato di progetto evidenziando eventuali scarti;

- sezioni trasversali dell'elemento in c.a.p. investigato in cui riportare le posizioni dell'armatura di precompressione ed il relativo radargramma in B-SCAN;
- tabella con le coordinate X, Y, Z del tracciato individuato dell'armatura di precompressione rispetto ad un sistema di riferimento esplicitamente indicato (§7.1.4.1);
- indicazione sulla quantità di armatura di precompressione rilevata (n° di cavi e n° fili/trefoli per cavo nel caso di armatura post-tesa, n° di trefoli/trecce nel caso di armatura pre-tesa, con misura delle sezioni/diametri dei fili), specificando le modalità di rilievo (dalle testate o mediante demolizione locale);
- descrizione del tipo di ancoraggio e del relativo stato di conservazione (qualora sia stato possibile ispezionare le testate, per armatura post-tesa);
- descrizione circa lo stato di conservazione dell'armatura di precompressione;
- documentazione fotografica della prova.

I report delle prove potranno essere forniti in allegato alla relazione tecnica, nonché tutti gli altri dati relativi all'attività di ripristino.

Le informazioni sopra rilevate dovranno essere inserite all'interno di una tabella riepilogativa di sintesi. L'ESECUTORE dovrà utilizzare la tabella apposita desunta dall'Allegato 3, della quale se ne richiede anche la restituzione editabile in formato Excel .xls.

Il codice di identificazione del punto di prova (§1.2.1) dovrà corrispondere a quello riportato in pianta e/o sezioni. L'ubicazione di ogni prova eseguita, su piante/sezioni rappresentanti gli elementi strutturali indagati, dovrà essere univocamente indicata mediante il corrispondente codice di identificazione riportato sul campione e punto di prova (§1.2.1).

Si precisa che il rilievo dell'armatura di precompressione eseguito secondo le modalità qui indicate rappresenta l'unico caso in cui viene richiesta la completa restituzione dei dati richiesti.

Quando il rilievo è svolto perché propedeutico ad altre prove (es. prove tomografiche, indagini endoscopiche, saggi...) non è richiesta la restituzione dell'intero sistema e dell'intero elemento strutturale, ma soltanto del punto di prova, atto a dimostrare la presenza di armatura.

Si riporta un esempio di dati da riportare su report:

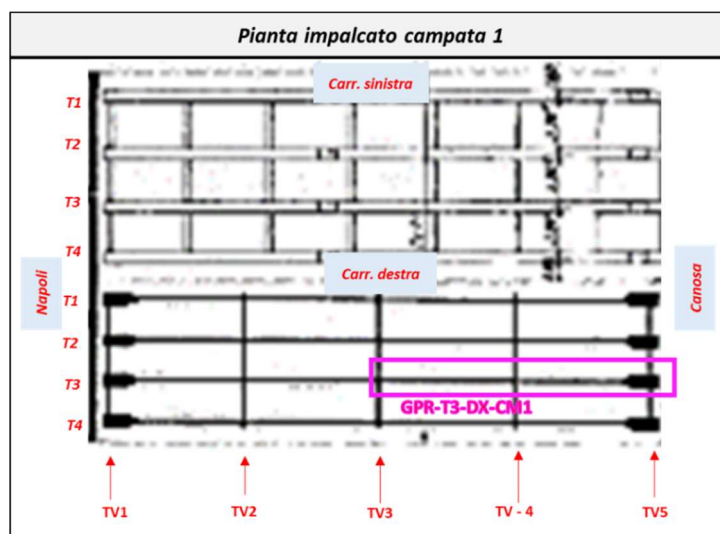


Figura 65 –Identificazione del sistema di precompressione – Esempio ubicazione prove in pianta

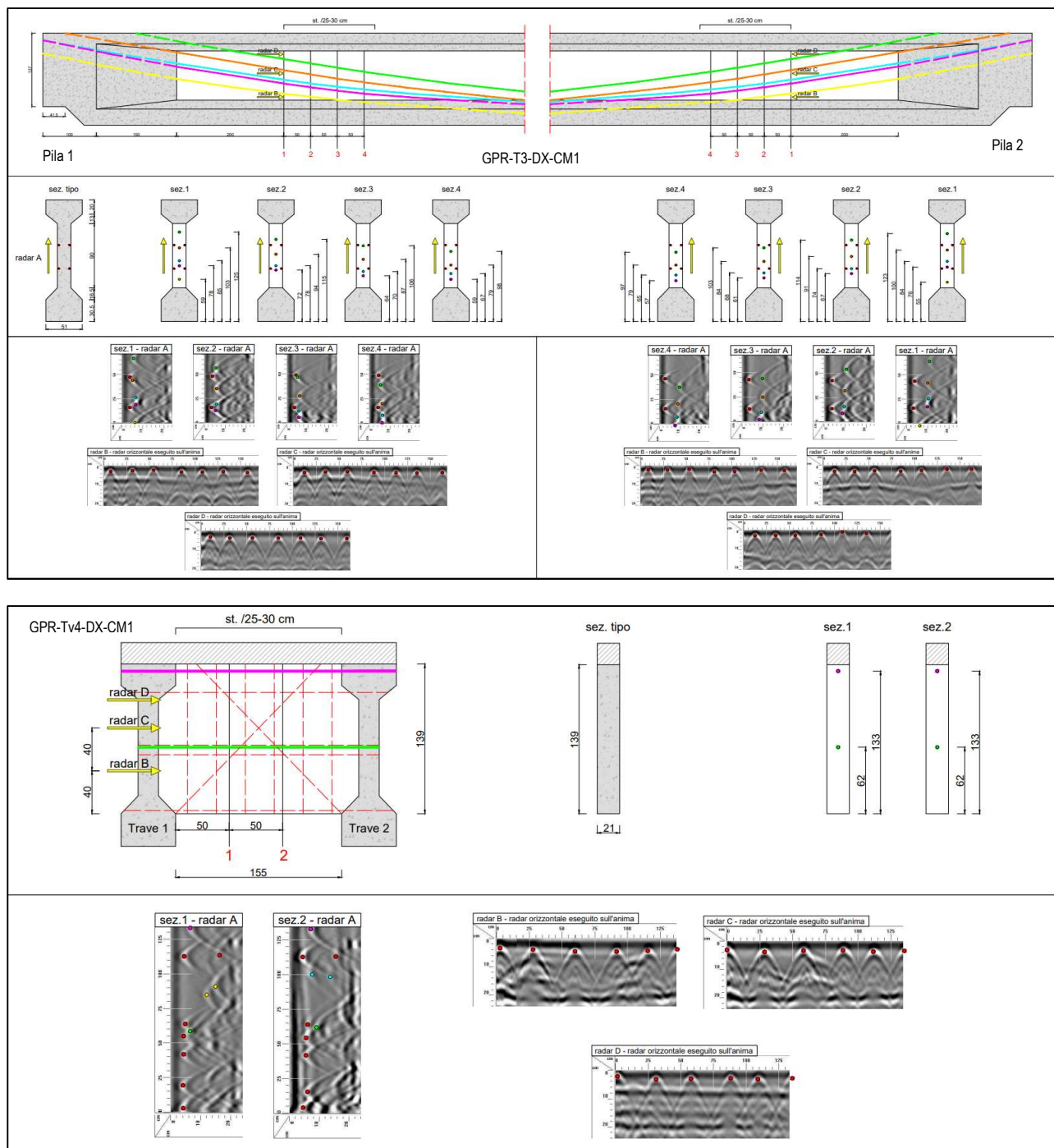


Figura 66 – Identificazione del sistema di precompressione – Esempio ubicazione sezioni e zone di rilievo con posizionamento armatura di precompressione (es. travi e traversi post-tesi)

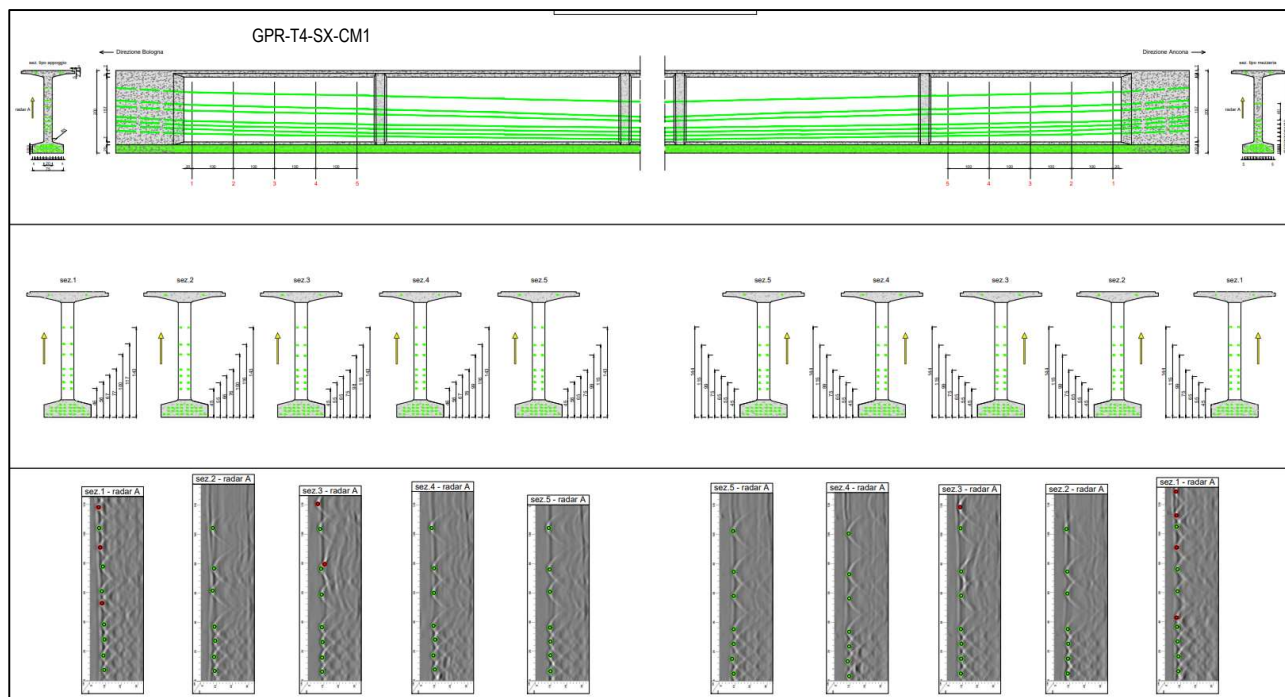


Figura 67 – Identificazione del sistema di precompressione – Esempio ubicazione sezioni e zone di rilievo con posizionamento armatura di precompressione (es. travi pre-tesi)

				TRACCIATO CAVI																	
Id. Opera	Elemento portante in CAP	Tipo elemento portante (TB/TI - TS/TC)	Id elemento portante indagato	Tracciato Armatura di precompressione (metà trave)																	
				Id sezione trasversale da PROGETTO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		
				Ascissa z (m) sezione trasv. PROGETTO																	
				Id sezione trasversale RILEVATA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		
				Ascissa z (m) sezione trasv. RILEVATA																	
				Id Cavo	Ordinate y (cm) - da intradosso elemento																
				Cavo 1 - 2 PROG.																	
				Cavo 1 - 2 RILEV.																	
				Cavo 3 -4 PROG.																	
				Cavo 3 -4 RILEV.																	
				Cavo 5 - 6 PROG.																	
				Cavo 5 - 6 RILEV.																	
				Cavo 7-8-9 PROG.																	
				Cavo 7-8-9 RILEV.																	
				Cavo 10-11-12 PROG.																	
				Cavo 10-11-12 RILEV.																	
				Cavo 13-14-15 PROG.																	
				Cavo 13-14-15 RILEV.																	
				Cavo 16-17-18 PROG.																	
				Cavo 16-17-18 RILEV.																	
				Cavo 19-20-21 PROG.																	
				Cavo 19-20-21 RILEV.																	
				Cavo 22-23-24 PROG.																	
				Cavo 22-23-24 RILEV.																	
				Cavo 25-26-27 PROG.																	
				Cavo 25-26-27 RILEV.																	

Figura 68 – Identificazione del sistema di precompressione – Esempio di restituzione tabellare coordinate tracciato armatura All.3

A corredo delle indicazioni relativi al tracciato dell'armatura di precompressione, dovranno essere inserite anche le demolizioni locali e/o ispezioni delle testate finalizzate alla quantificazione dell'armatura, richiamando l'identificazione del punto di prova e l'ubicazione ed eventualmente le prove aggiuntive eseguite nel saggio stesso (es. prova di durezza).

Copriferro: 8,5 cm
Guaina: leggermente ossidata esternamente ed internamente
Riempimento: presente (prelevato per analisi chimica)
Prova della leva: i fili testabili risultano in tensione

GPR-T3-DX-CM1
Cavo-3-sez.1-Pila-2

FILI SCOPERTI/ INDAGATI (N. FILI): 5

	Fili misurati direttamente	Fili stimati visivamente
n° fili	1	4
Φ (mm)	7	7 - 7 - 7 - 7
ASSENZA DIFETTI (n° fili)	1	3
OSSIDAZIONE PUNTUALE (n° fili)	0	1



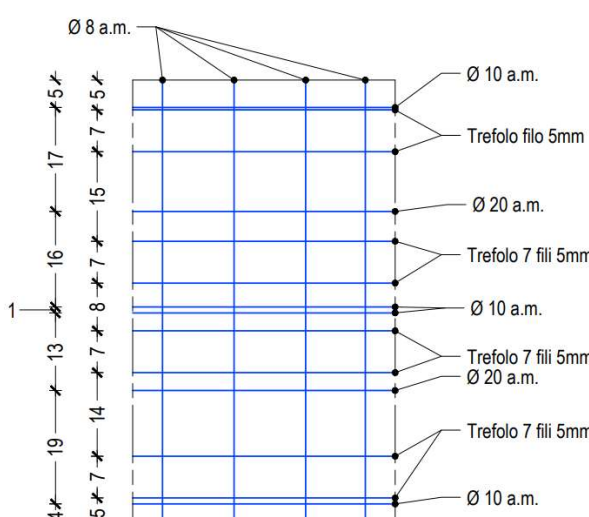



Figura 69 – Identificazione del sistema di precompressione - Esempio di restituzione demolizione localizzata (armatura post-tesa)

Bulbo inferiore Trave Saggio eseguito in mezzeria

GPR-T4-SX-CM1




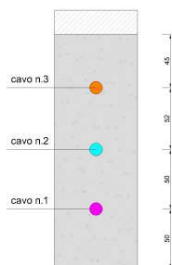


Figura 70 – Identificazione del sistema di precompressione - Esempio di restituzione demolizione localizzata (armatura pre-tesa)

NOTE: sono stati aperti n.3 cavi dal basso. Il quarto cavo non è stato aperto causa zona difficilmente raggiungibile. Si rilevano n.5 fili per il cavo 1, e n.55 fili per i cavi 2 e 3. Si contano 56 predisposizioni dei fili, tuttavia per la testata del cavo più basso non sembrano essere presenti due fili (riferimento foto di seguito), mentre per le testate 2 e 3 non sembra essere presente un filo ciascuno. Tutte le testate risultano ossidate e corrose.

GPR-T3-DX-CM1
Testata cavi – Pila 2



Prospetto testata



Testata cavo 1



Testata cavo 2



Testata cavo 3

NOTE:

Il saggio diretto è stato eseguito all'estradosso dell'impalcato, in corrispondenza della testata della trave, appoggio lato Pila 2. La testata del cavo è costituita da 12Φ7 leggermente ossidati. La guaina presenta ossidazione superficiale e risulta riempita. Si segnala la presenza di umidità nel riempimento.

La piastra di bloccaggio risulta leggermente ossidata.

GPR-T3-DX-CM1
Cavo 2 soletta – testata



Figura 71 – Identificazione del sistema di precompressione - Esempio di restituzione rilievo testate ancoraggio (armatura post-tesa)

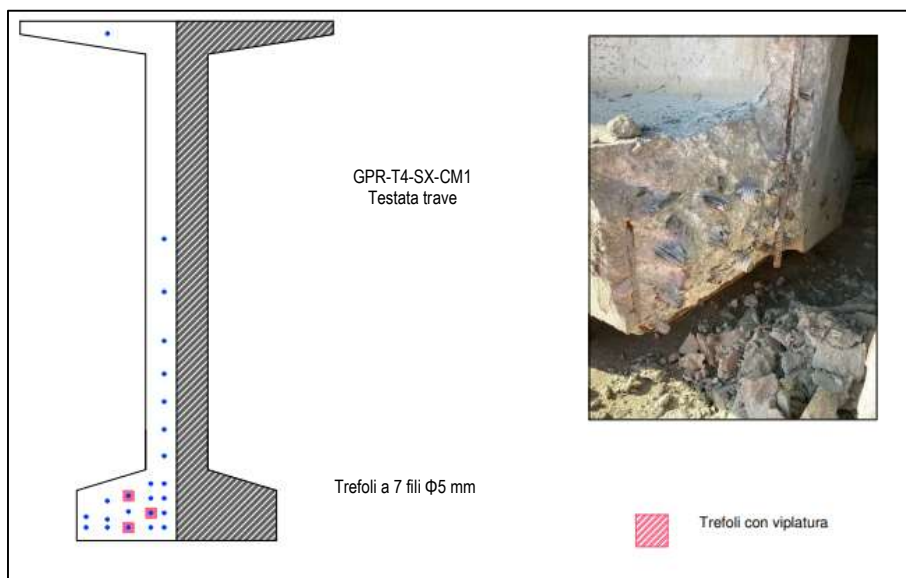


Figura 72 – Identificazione del sistema di precompressione - Esempio di restituzione rilievo testate travi (armatura pre-tesa)

7.2 Tomografia Ultrasonica per elementi precompressi post-tesi

7.2.1 Oggetto

La presente procedura ha come oggetto la definizione delle modalità di esecuzione della tecnica di indagine tomografica ultrasonica, attraverso la quale, negli elementi strutturali con armatura post-tesa (cavi scorrevoli), è possibile localizzare potenziali difetti nella malta di iniezione dei cavi (vuoti o microfessure) e/o difetti nel calcestruzzo (vespai, cavità o delaminazione).

Il limite principale di questa tecnica d'indagine è quello di non poter conoscere le dimensioni di tali difetti (microscopici o macroscopici) ed in misura minore la loro tipologia e posizione esatta; è quindi necessario procedere con un'analisi relativa, per confronto con situazioni le cui caratteristiche sono note o misurabili.

7.2.2 Descrizione del metodo

I principi fisici della prova sono gli stessi della classica prova ultrasonica: un impulso elastico viene fatto propagare all'interno di un materiale e ne viene misurato il c.d. "tempo di volo", determinando la velocità di propagazione delle onde.

La differenza fondamentale consiste nella tipologia di onda generata: nella prova ultrasonica classica vengono impiegate onde di compressione di tipo P, mentre nella tomografia ultrasonica vengono impiegate onde di taglio di tipo S, che sono energeticamente meno potenti e più lente rispetto alle onde P, ma si prestano meglio alla caratterizzazione dei materiali come il calcestruzzo.

I vantaggi nell'utilizzo del tomografo e dell'impiego della tomografia ultrasonica sono diversi:

- il tomografo basa il suo funzionamento sul metodo pulse-eco, ovvero sulla sola prima riflessione di brevi impulsi di onde elastiche molto smorzate: ciò consente di risolvere il "problema" delle numerose onde riflesse/rifratte all'interno del materiale (a causa della variazione di impedenza delle interfacce, ad esempio discontinuità del calcestruzzo come fratture), che renderebbe complessa l'elaborazione del segnale;
- le onde di taglio sono caratterizzate da lunghezze d'onda più corte rispetto le onde P, quindi hanno una risoluzione più elevata. Inoltre, difetti con geometria allungata nella direzione di polarizzazione delle onde (armature e cavi annegati) sono rilevabili molto facilmente.

L'intensità delle onde riflesse dalle interfacce (disomogeneità) dipende dal loro contrasto rispetto al materiale di base in termini di impedenza acustica (Z_2 impedenza della discontinuità, Z_1 impedenza del materiale di base), la quale dipende dalla densità del materiale, secondo la relazione:

$$R = (Z_2 - Z_1) / (Z_1 + Z_2)$$

Riflessioni parziali e con la stessa fase degli impulsi ($R \sim 0.5$) si ottengono in corrispondenza delle barre d'armatura, la cui impedenza acustica è circa 4-5 volte quella del calcestruzzo, mentre in presenza di aria nei vuoti/fratture, la quale ha un'impedenza acustica praticamente nulla, fa sì che la riflessione sia totale con inversione di fase degli impulsi (per esempio un impulso di compressione viene riflesso come impulso di trazione).

Come anticipato in precedenza, il limite principale della prova è quello di non riuscire a discriminare le dimensioni delle disomogeneità, in particolare dei vuoti dove è contenuta aria: l'output di prova, in scala cromatica, va interpretato in termini relativi, confrontando tra loro aree aventi intensità cromatica simile ed elevata (c.d. aree di attenzione) di una delle quali è noto lo stato (es. vespai, lesioni o dove è stato eseguito un foro e/o saggio d'ispezione per sincerarsi dell'entità del presunto difetto). Il tomografo è in grado di identificare la differenza in termini di impedenza acustica (e quindi in termini di densità e velocità di attraversamento delle onde acustiche

all'interno del materiale attraversato), ma spesso è complicato quantificare l'estensione e la gravità effettiva del difetto come la sua esatta collocazione. Può accadere che intensità "anomale" lette in corrispondenza dell'armatura di precompressione post-tesa (es. cavi) siano:

- bolle d'aria esterne alla guaina
- aria tra trefoli/fili e guaina
- piccole fessurazioni e frantumazioni della boiacca

Dal momento che il difetto principale tipico dell'armatura di precompressione del tipo post-teso è la mancanza totale o parziale di boiacca di iniezione o di bolle locali d'aria nella stessa (dai quali poi possono scaturirne altri), tale tecnica si presta bene all'individuazione di punti potenzialmente interessati da questo tipo di difettosità e per questo si applica su elementi post-tesi.

7.2.3 Strumentazione e attrezzatura

La strumentazione per eseguire le indagini tomografiche ultrasoniche è generalmente costituita da:

- Georadar con antenna di frequenza adeguata per individuare la posizione dei cavi su cui eseguire la tomografia ultrasonica (§7.1);
- Tomografo ad ultrasuoni (es. A1040 Mira);
- Martello perforatore combinato, con attacco SDS Plus e scalpelli piatti e a punta SDS plus;
- Trapano perforatore con punte da 12, 20 e 32 mm;
- Mazzetta, scalpello, spazzola metallica;
- Calibro a corsoio;
- Fotocamera digitale ed endoscopio portatile.

7.2.4 Modalità di esecuzione

7.2.4.1 Procedura di verifica funzionamento e calibrazione dello strumento

L'ESECUTORE deve verificare il corretto funzionamento e la corretta calibrazione del tomografo prima l'avvio delle acquisizioni.

Test del corretto funzionamento dello strumento.

Insieme al tomografo viene fornita anche una lastra in plexiglass che serve per verificare che tutti i sensori (pin) funzionino correttamente. Eseguendo il test nell'apposita modalità, i sensori che funzionano correttamente saranno colorati in verde, altrimenti in rosso.

E' facoltà del COMMITTENTE richiedere all'ESECUTORE il suddetto test di verifica del funzionamento.

Calibrazione dello strumento.

Il tomografo deve essere impostato in modalità A-SCAN e dovrà essere scelta una superficie di calcestruzzo in buono stato (senza vespai, ammaloramenti, porosità, lesioni) senza barre di armatura e/o cavi di precompressione.

Lo scopo è quello di calibrare il minimo ed il massimo percorso tra i sensori, ossia tra i due più vicini e i due più lontani: se sono quindi calibrati "gli estremi" risultano calibrati tutti i percorsi intermedi. La calibrazione consiste nell'impostare un valore dell'Analog Gain che deve essere tale da non saturare il segnale relativo ai due percorsi, ossia deve consentire di visualizzare il primo arrivo dell'onda, ma non deve essere tale da provocare dei picchi eccessivi di oscillazione.

Si riporta di seguito un esempio di calibrazione del valore dell'Analog Gain per il tomografo tipo A1040 MIRA 3D, più usato nell'esecuzione di prove tomografiche.

- 1) Impostare un valore di Analog Gain di partenza (es. 8 dB).
- 2) Scegliere i due percorsi (massimo e minimo) e per ognuno di essi valutare la saturazione dell'onda.



RICEVITORE 2.1
 DEVO EVITARE DI SATURARE IL SEGNALE
 VARIANDO ANALOG GAIN L'ONDA DEVE
 RIMANERE TRA I LIMITI INDICATI



RICEVITORE 8.1
 DEVO VEDERE IL SEGNALE
 VARIANDO ANALOG GAIN L'ONDA DEVE
 VEDERSI ANCHE NEL RICEVITORE PIU'
 LONTANO

- 3) Se il segnale d'onda rilevato nei due percorsi (o anche in uno singolarmente) presenta dei picchi elevati, si ha eccessiva saturazione, quindi è necessario abbassare il valore dell'Analog Gain impostato al punto 1); viceversa, aumentarlo se non sono visibili o sono poco visibili i picchi di segnale (in particolare il primo arrivo).



ORDINATE: ENERGIA

ASCISSE: TEMPO



SEGNALE SATURO
 L'ENERGIA VA OLTRE I LIMITI
 (POSSO VEDERE DIFETTI ANCHE DOVE NON CI
 SONO)

- 4) Quando il segnale viene visualizzato correttamente, in particolare si riconosce il primo arrivo e i picchi sono contenuti, la calibrazione è conclusa. L'Analog Gain appena viene avviata l'acquisizione, non può essere più modificato.

L'ESECUTORE dovrà poi verificare:

- a. Frequenza del segnale: da variare per aumentare/diminuire la risoluzione (valori tipici di riferimento su calcestruzzo sono di 50-55 Hz), anche in base allo spessore da attraversare.
- b. Velocità di percorrenza delle onde: quando il valore di velocità è corretto, gli spessori rilevati dallo strumento (es. spessore del copriferro e/o dell'elemento) saranno con buona approssimazione pari a quelli effettivi. I valori tipici di riferimento della velocità su calcestruzzo sono compresi tra 2.500 m/s e 2.800 m/s. L'impostazione della velocità può avvenire in due modalità:
 - **MANUALE:** si utilizza una misura di spazio nota (es. lo spessore dell'elemento), quindi dal tempo misurato dallo strumento l'ESECUTORE calcola ed imposta la velocità.

- AUTOMATICA: lo strumento la imposta in automatico, ma l'ESECUTORE è tenuto sempre a verificare la bontà dei parametri impostati.
- c. Digital Gain: consente di evidenziare con maggiore intensità la mappa cromatica, facendo risaltare i punti di disomogeneità rilevati dalla tomografia (es. da verde si passa al giallo fino al rosso acceso). Il valore deve essere moderato e basato su un dato noto (es. retrotrave, che solitamente è evidenziato con rosso acceso, in quanto zona di passaggio da cls ad aria).

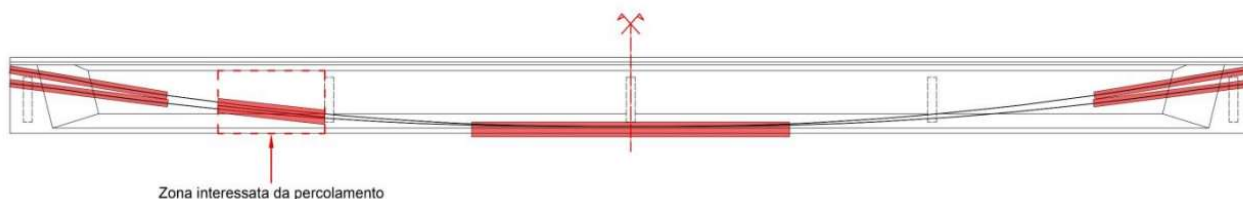
La velocità di percorrenza ed il digital gain possono essere cambiati anche in post elaborazione.

E' di fondamentale importanza che l' ESECUTORE mantenga i medesimi parametri impostati, almeno per ogni punto o zona di prova (es. un lato di appoggio della trave) anche se è preferibile ragionare per elemento strutturale.

Nel caso in cui lo strumento venisse spento o le indagini venissero svolte in giornate differenti o cambiassero le condizioni del punto di prova, è consigliabile rifare la calibrazione nella modalità indicata.

7.2.4.2 Svolgimento della prova

La prova tomografica deve essere eseguita secondo la seguente procedura, articolata in step successivi in base all'esito di ogni sub-indagine, sui cavi campione indicati nel PIN e nelle loro zone critiche individuate, precisando che un campione si intende completamente indagato quando lo sono tutte le sue zone critiche individuabili (come da immagine sottostante, zone di appoggio, di mezzeria e interessate da eventuali percolamenti).



La prova tomografica deve essere sempre preceduta da un'ispezione visiva ravvicinata delle postazioni indicate (nelle zone critiche) nel PIN alla ricerca di eventuali anomalie che possono rendere non rappresentativa la prova, ad esempio:

- ammaloramenti/difetti spia (quali lesioni paraboliche sui cavi o lesioni in genere);
- calcestruzzo risonante o con degrado (dilavamento e percolazioni);
- spigoli vivi dovuti alla cassetatura del getto;
- difetti manifesti (armature in vista);
- presenza di ripristini del cls (incamiciature, vernici o malte) o rinforzi fibrorinforzati e/o fibre di rinforzo a taglio/flessione.

L'operatore dovrà assicurarsi, sempre, che la superficie di prova del calcestruzzo sia tale da consentire la completa adesione dello strumento, in quanto la non completa adesione dei trasduttori potrebbe fare rilevare la presenza di vuoti con aria, schermando/falsando l'acquisizione.

In questi casi, l'ESECUTORE dovrà avvisare tempestivamente il COMMITTENTE, per valutare la possibilità di eseguire, in alternativa, demolizioni locali o fori di ispezione con endoscopie o spostare il punto di prova.

1. Posizionamento sull'elemento strutturale delle zone critiche individuate nel PIN.
2. Per ogni zona critica, esecuzione di scansioni georadar per l'individuazione della posizione dell'armatura post-tesa:

- a. Se l'elemento da indagare corrisponde con lo stesso interessato da rilievo del sistema di precompressione, procedere prima come indicato al §7.1 per l'intero elemento.
 - b. Se sull'elemento da indagare non è previsto il rilievo del sistema di precompressione, il rilievo della posizione delle armature post-tese dovrà avvenire secondo il sistema di sezioni e scansioni descritte al §7.1.4.1, ma da applicare localmente nella zona. L'operatore dovrà comunque tenere conto dei rilievi eseguiti sugli altri elementi simili, anche per confronto.
3. Definizione della postazione tomografica sull'armatura post-tesa individuata (cavo), corrispondente ad un'area a ridosso da 30 cm x 1,50 m di lunghezza e ubicazione dell'origine rispetto un punto notevole (es. appoggio o nodo strutturale).
La postazione deve essere ubicata e quotata sulla trave con il maggiore dettaglio possibile, in quanto deve consentire di eseguire endoscopie e/o demolizioni localizzate nelle sezioni di indagine discretizzate al punto 4 successivo, anche in un secondo momento, qualora dovesse essere previsto un PIN integrativo, senza la necessità di eseguire nuovamente la tomografia.
4. Discretizzazione dell'area con in una serie di sezioni tomografiche aventi passo da 10-15 cm; specifiche indicazioni possono essere indicate nel PIN.
5. Denominazione delle postazioni secondo il codice alfanumerico che identifica il punto di prova (§1.2.1).
6. Eseguire la procedura di calibrazione e, in caso, di verifica del funzionamento del tomografo riportate al precedente §7.2.4.1. Si ricorda all'ESECUTORE che il settaggio dello strumento deve essere mantenuto costante per almeno tutte le acquisizioni sullo stesso elemento (in particolare Analog e Digital Gain).
7. Esecuzione delle scansioni per ogni sezione tomografica, secondo il passo scelto al punto 4, posizionando lo strumento ortogonalmente all'asse del cavo. La tomografia sarà del tipo lineare essendo più rapida, ma nel caso si richiedesse maggiore precisione nelle sezioni dove si è già riscontrata un'anomalia del segnale e lo strumento lo consentisse si potrà impiegare la tomografia matriciale.
8. L'ESECUTORE analizza le scansioni tomografiche eseguite nelle sezioni ai punti 2-3-4 (in modalità A-SCAN o B-SCAN) procedendo in termini relativi, ossia confrontando le potenziali anomalie cromatiche tra di loro (ripetitività) e, eventualmente, con l'intensità di colore del back wall (che solitamente corrisponde a colori molto accesi in quanto totale presenza di aria e massimo rapporto di impedenza).
I criteri di interpretazione delle mappe cromatiche tipicamente sono:
- a. Le zone in cui le intensità di colore sono particolarmente elevate, dovrebbero essere quelle in cui il rapporto di impedenza acustica tra materiale di base e materiale indagato è molto grande (di solito aria/acqua rispetto calcestruzzo).
 - b. Le zone in cui le intensità di colore sono meno elevate, dovrebbero essere quelle in cui il rapporto di impedenza acustica tra materiale di base e materiale indagato è basso (di solito acciaio/continuità rispetto calcestruzzo).
 - c. Ripetitività di una certa intensità di colore.
9. Stabilita la sezione tomografica con la potenziale anomalia individuata, secondo i criteri di cui al punto precedente, l'ESECUTORE procede ad eseguire almeno un foro di riscontro in corrispondenza, con prova endoscopica. L'esecuzione del foro e della prova endoscopica avviene secondo le modalità indicate al §7.3.
Il numero di fori per prove endoscopiche iniziali, salvo diverse indicazioni contenute nel PIN, è di uno per elemento strutturale e comunque in aggiunta ogni qual volta vengono modificate le impostazioni dello strumento. Tutto ciò per calibrare le scansioni, ovvero per tentare di stabilire una correlazione tra l'intensità cromatica della potenziale anomalia e lo stato reale delle condizioni dell'armatura di precompressione, e la correttezza delle impostazioni. Questa correlazione costituisce la base di partenza e la chiave per la possibile lettura delle potenziali anomalie identificate dalle altre intensità cromatiche.

Qualora l'ESECUTORE ravvisi la necessità di testare ulteriori potenziali anomalie, è necessario prendere accordi tempestivamente con il COMMITTENTE, per concordarne il numero e le modalità.

Nel caso di vuoti di dimensione significativa, in accordo con il COMMITTENTE, potrebbe essere richiesto all'ESECUTORE di estendere la zona d'indagine al fine di comprendere l'estensione del difetto su tratti più estesi di quelli programmati.

10. L'ESECUTORE traccia con marcatore indelebile sull'elemento strutturale le potenziali anomalie rilevate, oltre che a prenderne nota e coordinate, per facilitare le operazioni nell'ottica di un eventuale PIN integrativo.
11. Nel caso in cui dai fori e dalle relative prove endoscopiche emergesse un'armatura di precompressione in stato di corrosione o nel caso in cui l'ESECUTORE avesse difficoltà nell'individuazione/descrizione del suo stato di conservazione in maniera oggettiva e univoca è necessario procedere con la demolizione localizzata (saggio) e la quantificazione dell'ammaloramento (§7.4), previ accordi con il COMMITTENTE, per concordarne il numero e le modalità.

Si precisa che il rilievo dell'armatura di precompressione, tranne per gli elementi in cui è espressamente richiesto, è svolto perché propedeutico alla prova tomografica, di conseguenza non è richiesta la restituzione dell'intero sistema e dell'intero elemento strutturale, ma soltanto del punto di prova, atto a dimostrare la presenza di armatura.

7.2.5 Presentazione dei risultati

Per ogni elemento precompresso post-teso (a cavi scorrevoli) interessato da indagini tomografiche dovrà essere prodotta una scheda contenente:

- sigla identificativa del punto di misura (§1.2.1);
 - ubicazione in pianta e/o profili/sezioni del punto di misura con relativa sigla (§1.2.1);
 - profilo longitudinale dell'elemento in c.a.p. investigato contenente l'ubicazione delle postazioni e delle sezioni di misura/rilievo con sovrapposto il tracciato dei cavi, quotate rispetto un punto noto (es. appoggio), vedere §7.1.7;
 - indicazione:
 - a. delle postazioni/sezioni tomografiche, riportate sul profilo longitudinale dell'elemento e sovrapposte al tracciato dei cavi individuato (§7.1);
 - b. indicazione dei punti di prova successivi: prove endoscopiche e/o saggi conoscitivi, sovrapposti alle postazioni/sezioni tomografiche e con evidenziata la potenziale anomalia;
 - c. evidenza della prova endoscopica di riscontro;Tutte i dati riportati in a), b) e c) devono essere identificati con le coordinate necessarie per poter definire univocamente la posizione, la sezione e il cavo indagato, anche in vista un possibile PIN integrativo;
 - tutti i tomogrammi relativi alle sezioni tomografiche individuate (in base alla discretizzazione delle postazioni tomografiche al §7.2.4):
 - a. in formato B-SCAN (obbligatorio);
 - b. in base al tomografo e a discrezione dell'ESECUTORE, in formato C-SCAN o D-SCAN l'intera postazione (30x150 cm), avendo cura di indicare il layer di riferimento (in asse al cavo).
 - descrizione circa:
 - a. Lo stato di conservazione dell'armatura di precompressione;
 - b. Lo stato di conservazione della guaina, all'esterno ed all'interno;
 - c. Lo stato di conservazione della malta di iniezione;
- emerse dalle prove endoscopiche e/o saggi conoscitivi (secondo le modalità specifiche riportate al

§7.3 e §7.4);

Particolare attenzione deve essere posta nei riguardi delle condizioni di conservazione della guaina e dello stato del riempimento di malta di iniezione. E' richiesto quindi di verificare le condizioni esterne ed interne della guaina, di verificare il grado di compattezza ed addensamento della malta, nonché l'uniformità della sua distribuzione tra la guaina e l'armatura.

- Esplicita indicazione delle potenziali anomalie in corrispondenza delle mappe cromatiche;
- documentazione fotografica della prova.

E' richiesta la compilazione di una tabella di sintesi che leghi il flusso delle prove eseguite e sinteticamente il loro esito.

L'ESECUTORE dovrà utilizzare la tabella apposita desunta dall'Allegato 3, della quale se ne richiede anche la restituzione editabile in formato Excel .xls.

I report delle prove potranno essere forniti in allegato alla relazione tecnica, nonché tutti gli altri dati relativi all'attività di ripristino.

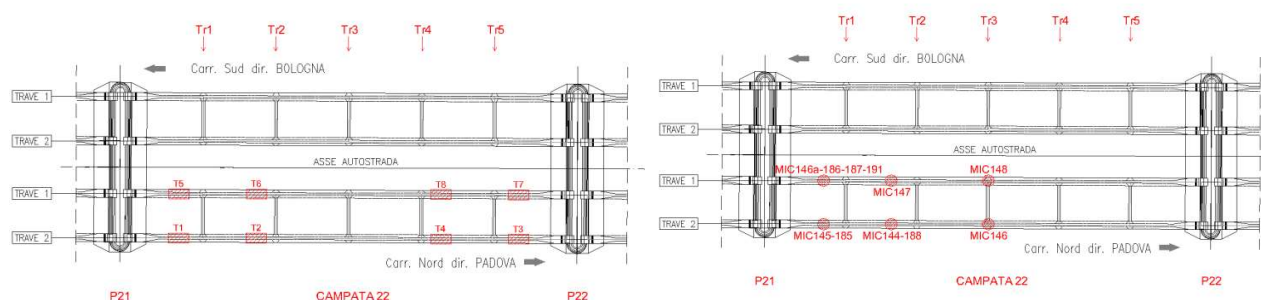
Le informazioni sopra rilevate dovranno essere inserite all'interno di una tabella riepilogativa (facendo riferimento al modello allegato alla presente Istruzione indicato al §1). Il codice di identificazione del punto di prova (§1.2.1) dovrà corrispondere a quello riportato in pianta e/o sezioni. L'ubicazione di ogni prova eseguita, su piante/sezioni rappresentanti gli elementi strutturali indagati, dovrà essere univocamente indicata mediante il corrispondente codice di identificazione riportato sul campione e punto di prova (§1.2.1).

Tutte i dati rilevati (tracciato dell'armatura, postazioni e sezioni tomografiche, prove endoscopiche e saggi conoscitivi) devono essere identificati con le coordinate necessarie per poter definire univocamente la posizione, la sezione tomografica e il cavo indagato, anche in vista un possibile PIN integrativo.

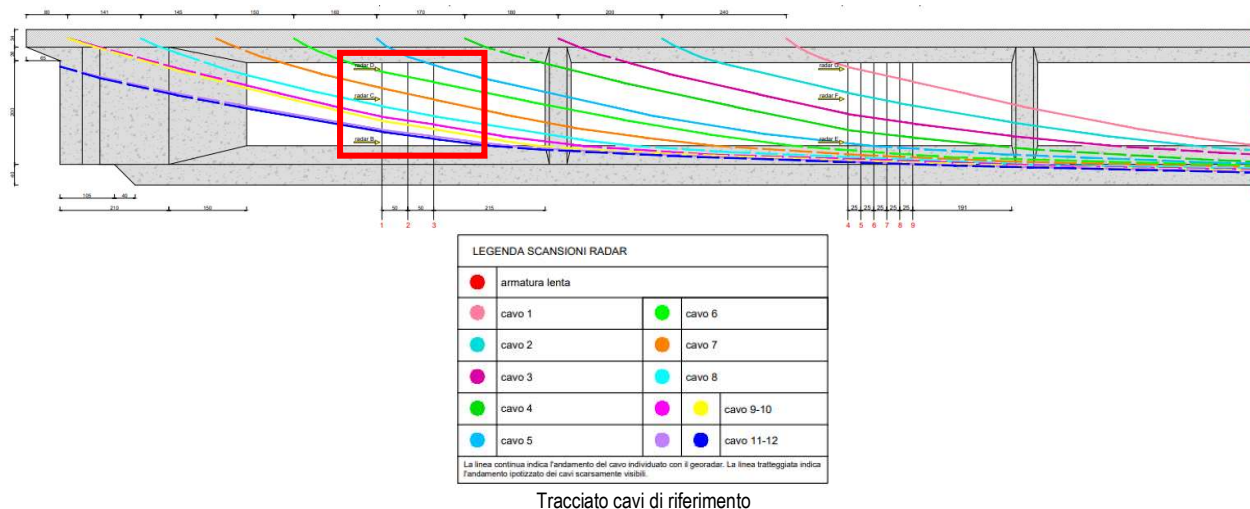
I dati in comune tra le varie prove devono essere richiamati in ciascuna di queste (es. la prova endoscopica e/saggio conoscitivo deve richiamare la sezione tomografica di riferimento e viceversa).

Si precisa che il rilievo dell'armatura di precompressione, tranne per gli elementi in cui è espressamente richiesto, è svolto perché propedeutico alla prova tomografica, di conseguenza non è richiesta la restituzione dell'intero sistema e dell'intero elemento strutturale, ma soltanto del punto di prova, atto a dimostrare la presenza di armatura.

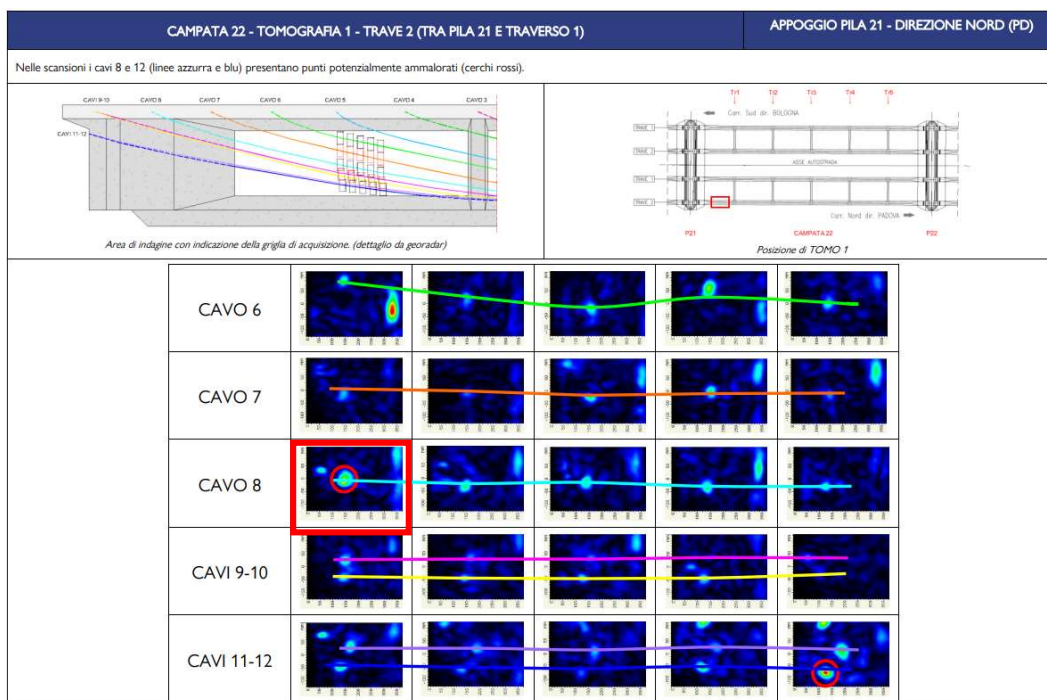
Si riporta un esempio di dati da riportare nel report e della tabella di sintesi:

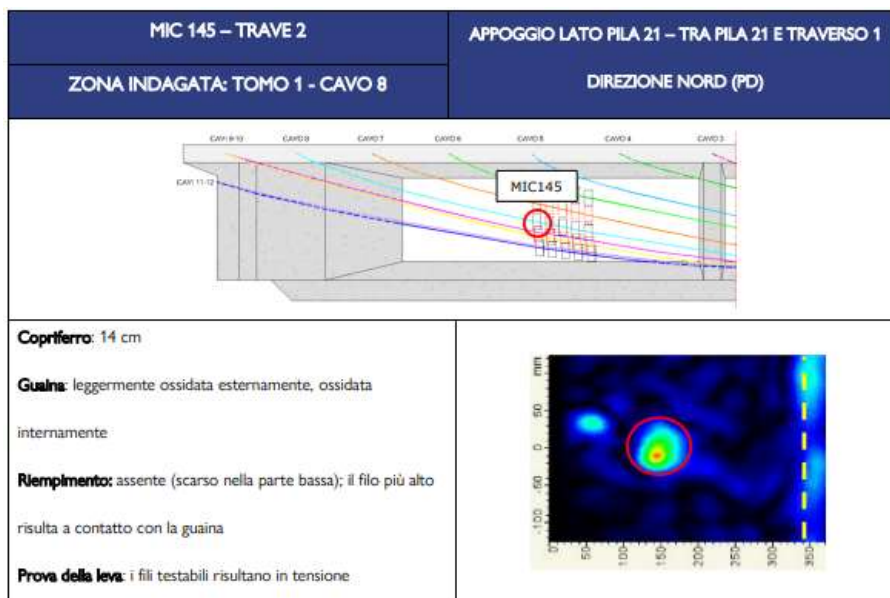


Planimetria di riferimento schema di prova



Esito delle prove ubicate es. TOM1-T2-DX-CM22:





FILI SCOPERTI/ INDAGATI (N. FILI): **14**

	Fili misurati direttamente	Fili stimati visivamente
n° fili	0	14
Φ (mm)	-	4
ASSENZA DIFETTI (n° fili)	0	13
OSSIDAZIONE (n° fili)	0	1





Esito delle prove ubicate es. TOM5-T1-DX-CM22:

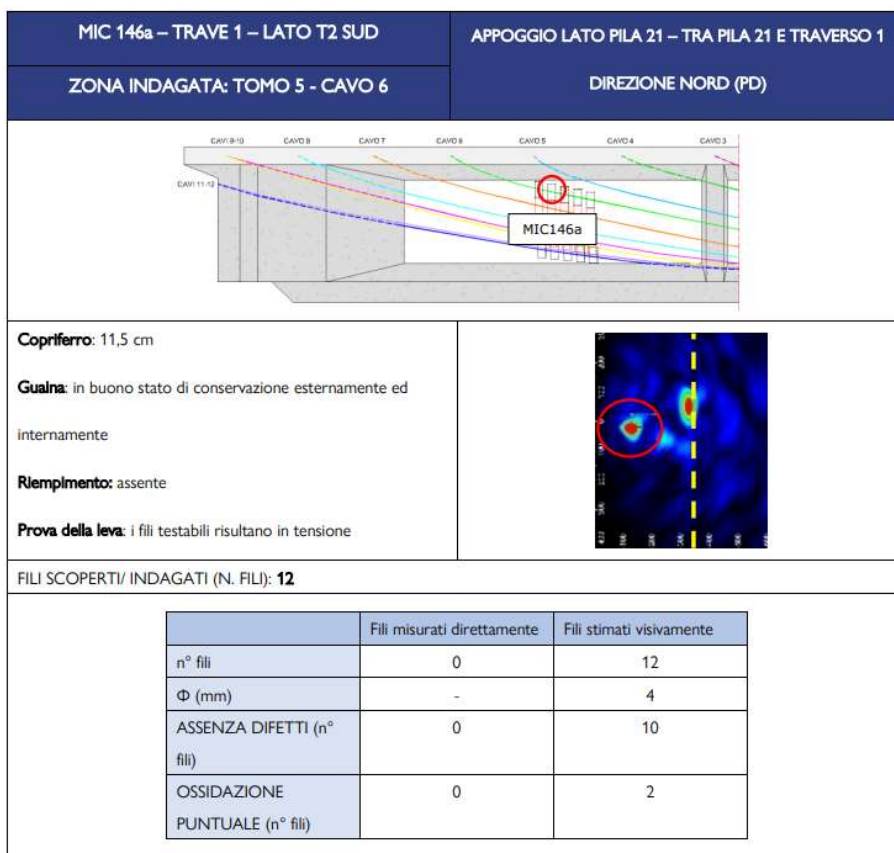
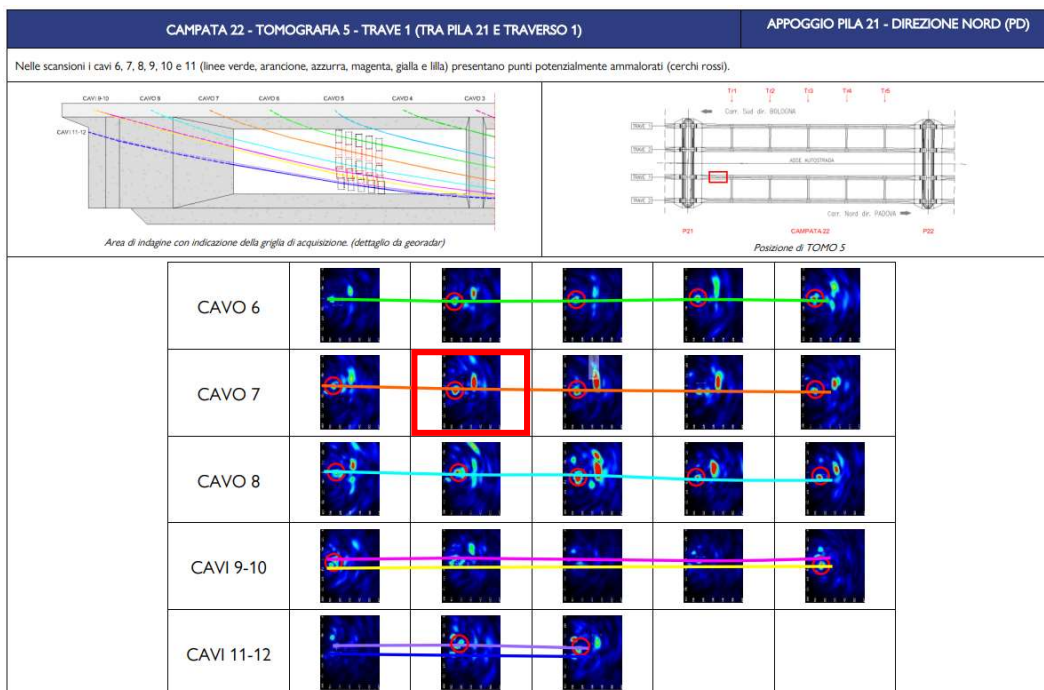




Figura 73 – Esempio scheda di restituzione – Indagini Tomografiche ultrasoniche in B-SCAN, posizionamento e relativo saggio conoscitivo

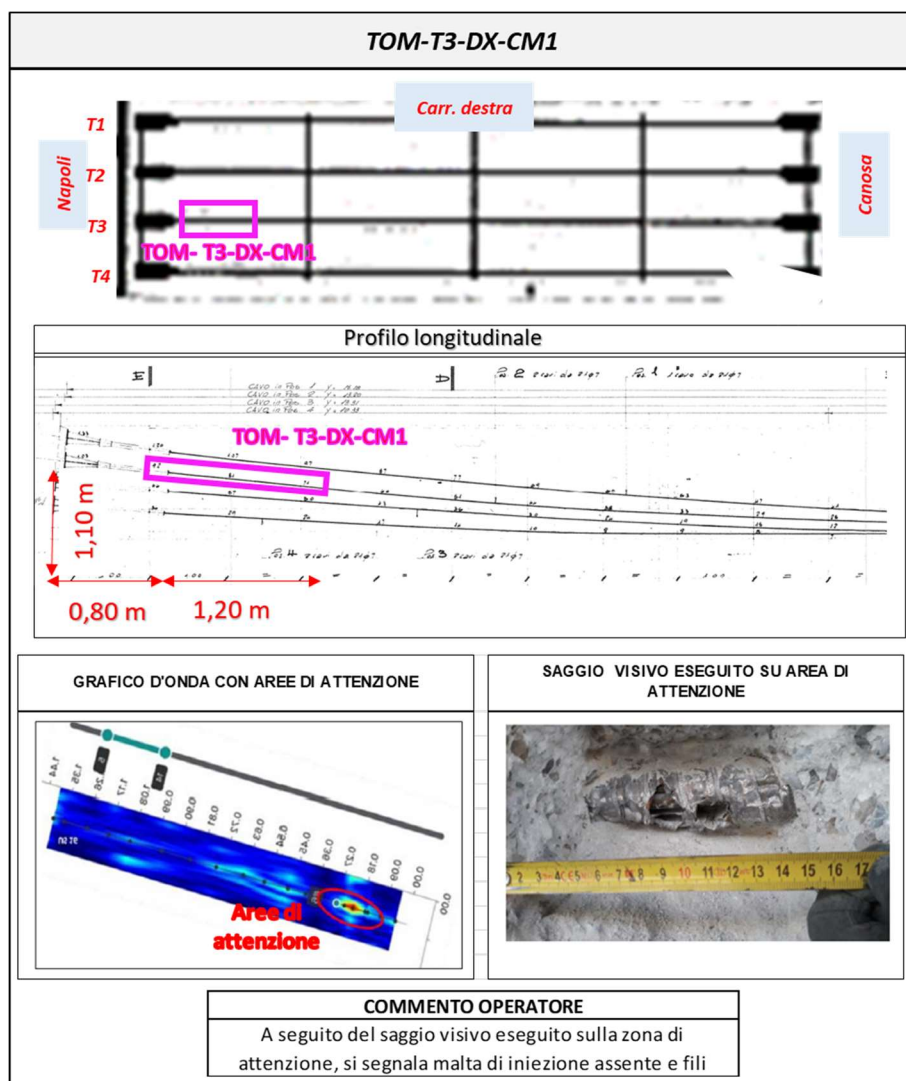


Figura 74 – Esempio scheda di restituzione – Indagini Tomografiche ultrasoniche in C-SCAN, posizionamento e relativo saggio conoscitivo

[illegible]

Figura 75– Esempio scheda di restituzione – Compilazione tabella di sintesi (compilare progressivamente per ogni prova) All.3

7.3 Metodo IMPACT-ECHO per elementi precompressi post-tesi

Sulle potenziali anomalie rilevate mediante indagine tomografica, prima di procedere alle successive prove distruttive (prove endoscopiche, saggi conoscitivi), potrebbe essere richiesto all'ESECUTORE di svolgere una prova non distruttiva secondo il metodo dell'impact echo, allo scopo di minimizzare il danneggiamento all'elemento strutturale.

L'esecuzione di tale prova va concordata e approvata dal COMMITTENTE.

7.3.1 Oggetto

L'impact-echo è una tecnica d'indagine non distruttiva che si basa sulla propagazione e riflessione multipla all'interno del materiale di onde di compressione generate da un impatto meccanico; per l'interpretazione dei dati, successivamente, è svolta un'analisi nel dominio delle frequenze.

Le strutture in calcestruzzo armato si prestano ad essere particolarmente adeguate all'impiego di tale tecnica, al fine di:

- Determinare lo spessore di piastre e solette;
- Rilevare la posizione e l'estensione di difetti come fratture, vuoti e delaminazioni all'interno di strutture, con riferimento nella fattispecie a strutture precomprese post-tese.

Quest'ultimo punto è d'interesse per le finalità di questo paragrafo.

7.3.2 Normativa di riferimento

Il metodo dell'impact-eco è stato standardizzato mediante la ASTM C 1383, con riferimento alle piastre ed alle solette.

Per le applicazioni come la ricerca di difetti in cavi post-tesi, date le molteplici variabili riscontrabili in sito, tuttavia, la metodologia non è stata ancora standardizzata.

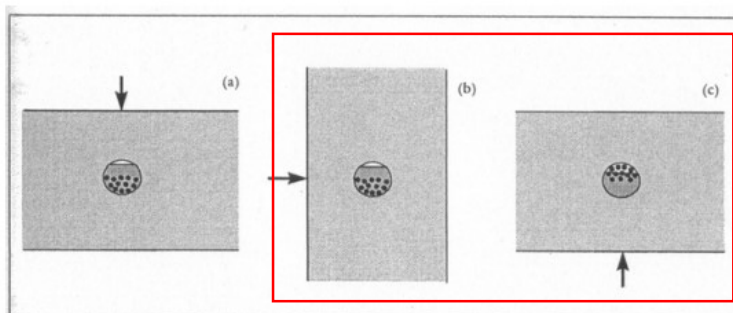
7.3.3 Descrizione del metodo e modalità di esecuzione della prova

Il principio di funzionamento della tecnica si basa sull'analisi di onde elastiche generate dall'impatto di una sferetta di acciaio o di un martello sulla superficie dell'elemento strutturale.

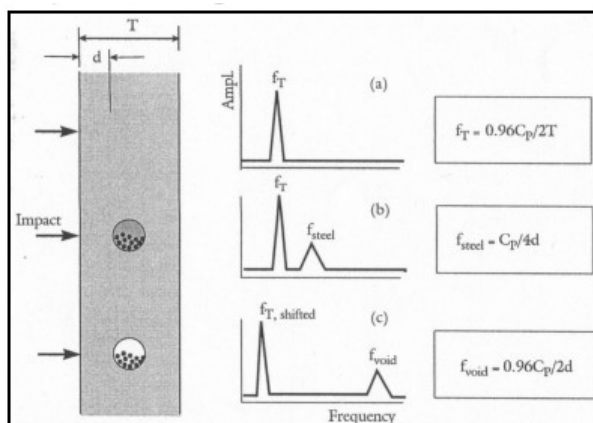
Le onde generate, di bassa frequenza (fino a 50 kHz, con lunghezze d'onda tra i 50 e 2000 mm), si propagano all'interno del calcestruzzo e sono riflesse da eventuali difetti e/o dalle superfici esterne: tali riflessioni, multiple, che eccitano i modi locali producendo spostamenti, sono registrate da un trasduttore posto in prossimità del punto d'impatto, collegato ad una centralina di acquisizione dati.

Il segnale ottenuto viene riportato nel dominio del tempo (forma d'onda) ed analizzato nel dominio delle frequenze, ottenendone lo spettro (frequenze/ampiezze). Nel dominio delle frequenze è possibile visualizzare i picchi di frequenza, che rappresentano le frequenze di riflessione multipla delle onde acustiche tra la superficie d'impatto e le discontinuità incontrate e/o le superfici esterne.

Il metodo dell'impact-echo si presta bene a localizzare difetti che presentano superfici parallele a quella di prova, anche se ci sono altri fattori che ne possono influenzare l'esito: l'estensione laterale e la profondità del difetto rispetto alla superficie di prova, la frequenza massima del segnale utilizzato dalla quale dipende la minima lunghezza d'onda, utile ad individuare i difetti e le discontinuità (possono essere rilevati solo difetti che abbiano una dimensione laterale maggiore della lunghezza d'onda minima impiegata). Nel caso di cavi post-tesi, in aggiunta, bisogna tenere conto della superficie curvilinea della guaina e dalla posizione dei vuoti (i vuoti in figura b) e c)) è probabile che non vengano correttamente rilevati o il segnale è poco chiaro con risposta complessa.



Le situazioni "tipo" a cui è possibile ricondursi sono:



Si precisa che spesso non è possibile rilevare direttamente la presenza di vuoti, a partire da un picco di frequenza netto; quando ciò accade, solitamente, si osserva soltanto uno spostamento verso frequenze inferiori della frequenza di spessore che può essere assunto come indice di potenziali anomalie interne.

Operativamente la prova si articola in:

- Esecuzione dell'indagine tomografica, secondo le modalità riportate al §7.2. L'ESECUTORE individua potenziali anomalie e le traccia sull'elemento strutturale;
- Esecuzione di alcune battute con le sferette di acciaio o martello, allo scopo di individuare la corretta lunghezza d'onda e frequenza; in particolare verificando la frequenza di spessore (calcolo dello spessore noto);
- Esecuzione di battute in asse al cavo, in corrispondenza o nell'intorno della potenziale anomalia rilevata mediante indagine tomografica, ed analisi dello spettro di frequenza (esempio sopra);
- L'ESECUTORE prende nota dei picchi di frequenza che potrebbero confermare la potenziale anomalia e memorizza lo spettro relativo. Qualora lo scenario sia ripetitivo, prende accordi con il COMMITTENTE per concordare le successive modalità di indagine (prova endoscopia §7.4 e/o saggio §7.5).

Se lo strumento lo consente, applicare la procedura bidimensionale (scanning impact-echo) che consente di visualizzare pseudo-sezioni trasversali dell'elemento sottoposto a prova, ottenendo informazioni più dettagliate sull'elemento esaminato: si costruiscono impactechogrammi che rappresentano sezioni perpendicolari alla superficie di prova in cui in ascissa si riporta la posizione del punto di prova e in ordinata la frequenza registrata (o la corrispondente profondità); con diverse intensità di toni di colore o di grigio è rappresentata l'ampiezza dei

picchi di riflessione dell'onda. Le frequenze dei picchi formano trame interpretabili permettendo di individuare visivamente disomogeneità contenute nell'elemento di calcestruzzo esaminato.

7.3.4 Presentazione dei risultati

Gli spettri ottenuti in corrispondenza delle potenziali anomalie sono allegati alla presentazione dei risultati delle indagini tomografiche (§7.2.5) e ne costituiscono quindi parte integrante. Devono essere considerati come un ulteriore dato dal quale valutare la necessità di eseguire prove distruttive e/o per confermare/smentire i potenziali difetti.

7.4 Ispezione endoscopica dei cavi

7.4.1 Oggetto

L'ispezione endoscopica ha come scopo la valutazione locale dello stato di conservazione dell'armatura di precompressione e risulta essere particolarmente adatta nel caso di armatura a cavi scorrevoli (cavi di precompressione). La prova è eseguita ricavando un foro nel copriferro dell'elemento strutturale e solitamente viene svolta o in concomitanza a prove tomografiche (§7.2) o in maniera indipendente/alternativa (ad esempio quando non è possibile fare la prova tomografia a causa di difetti sulla superficie del calcestruzzo). Possono essere eventualmente svolte dopo una prima analisi mediante impact-echo (§7.3).

Attraverso il foro si intercetta il cavo e mediante endoscopio o fotocamera ne viene rilevato il suo stato di conservazione in termini di ossidazione della guaina e dell'armatura di precompressione, completezza e consistenza della boiaccia di iniezione, presenza di umidità.

Qualora dai fori e dalle relative prove endoscopiche si riscontrasse un'armatura di precompressione in stato di corrosione o nel caso in cui l'ESECUTORE avesse difficoltà nell'individuazione/descrizione del suo stato di conservazione in maniera oggettiva e univoca è necessario fare segnalazione al COMMITTENTE e/o PRG, affinché si valuti la necessità di ampliare il foro con uno scasso (§7.4), così da portare in vista un maggior numero di fili e misurare le loro sezioni residue (diametri).

Si evidenzia all'ESECUTORE il rischio di danneggiamento dei fili durante l'esecuzione della prova, si raccomanda quindi di attenersi alle indicazioni di seguito riportate. Altresì qualora venissero danneggiati dei fili, l'ESECUTORE dovrà indicarlo nei report di prova.

7.4.2 Bibliografia di riferimento

- *Linee Guida per l'esecuzione delle ispezioni approfondite di impalcati da ponte con travi in c.a.p. a cavi post-tesi*, ANAS - Centro Sperimentale Stradale di Cesano (04/2020).

7.4.3 Strumentazione e attrezzatura

- Georadar con antenna di frequenza adeguata (§7.1)
- Martello perforatore combinato, con attacco SDS Plus e scalpelli piatti e a punta SDS plus;
- Trapano perforatore con punte da 12, 20 e 32 mm;
- Mazzetta, scalpello, spazzola metallica;
- Calibro a corsoio;
- Pompa o nebulizzatore con acqua;
- Compressore elettrico portatile;
- Fotocamera digitale ed endoscopio portatile HD (almeno 1200 x 720 pixel), con sonde di diametro adeguato.

7.4.4 Descrizione del metodo e modalità di esecuzione della prova

La metodologia d'indagine è articolata in 3 fasi principali distinte e successive, i cui dettagli sono riportati di seguito; attraverso un foro praticato nel copriferro dell'elemento strutturale viene rilevato lo stato di conservazione del cavo di precompressione inserendo un endoscopio dotato di videocamera HD che consente di visualizzare in maniera ravvicinata e di memorizzarne lo stato di conservazione, in termini di ossidazione della

guaina e dell'armatura di precompressione, completezza e consistenza della boiacca di iniezione, presenza di umidità.

La procedura da seguire dipende anche dalle altre eventuali prove eseguite in concomitanza (es. indagini per la rilevazione del tracciato dell'armatura di precompressione §7.1, indagini tomografiche §7.2, rilievo del degrado §5).

1. Operativamente l'ESECUTORE dovrà seguire la seguente procedura: Individuazione dell'armatura di precompressione (cavo di precompressione):
 - a. La posizione del cavo è nota, ad esempio, se l'elemento strutturale è stato oggetto di rilievo del tracciato dell'armatura di precompressione (§7.1) o se sono state eseguite indagini tomografiche (§7.2) o se sono presenti difetti manifesti (§5). In questi casi passare al punto successivo 2;
 - b. La posizione del cavo non è nota, quindi è necessario procedere a rilievo georadar secondo le modalità indicate al §7.1.4.1 (ricordando di prendere nota della posizione del cavo e del punto di prova secondo le coordinate X,Y,Z). Quindi passare al punto successivo 2;
 - c. L'ESECUTORE deve prendere nota di eventuali difetti del calcestruzzo, ad esempio lesioni sui cavi, che devono richiamare quelli rilevate durante l'indagine tomografica (§7.2) e che eventualmente non ne hanno permesso l'applicazione di questa.
2. Tracciare sull'elemento strutturale con marcatore indelebile la posizione del cavo e del punto di prova nella sezione di appartenenza (georadar o tomografica) e prenderne nota, così da essere univocamente posizionato e correlato alle altre prove. Nel caso di difetti manifesti prendere nota dell'ID difetto e della posizione rispetto un punto noto (es. appoggio o come indicato al §5). Passare al punto 3.
3. Determinata la posizione del cavo, l'ESECUTORE prende nota della misura del copriferro e la riporta lungo la punta da $\Phi 12$ del trapano a partire dalla sua estremità, mediante una traccia con nastro colorato o con pennarello; questa costituisce l'indicatore del progressivo avvicinamento al cavo al fine di non danneggiarlo. Quindi esegue il foro guida con la suddetta punta, diminuendo pressione e numero di giri via via che si avvicina al cavo (e alla traccia sulla punta).
4. L'ESECUTORE verifica di aver intercettato il cavo e in successione allarga il foro con le punte da 20 e 32 mm, senza aumentare la profondità.
5. Lavaggio con acqua e successiva pulitura/asciugatura del foro con aria compressa.
6. Se la guaina non è stata aperta o è stata aperta in parte durante l'esecuzione del foro, procedere all'apertura manuale con scalpello dei suoi lembi; se possibile prendere nota delle condizioni di conservazione esterne della guaina. Inoltre, prestare attenzione a non danneggiare la boiacca di iniezione alterandone lo stato (es. frammentarla eccessivamente), per evitare di non riuscire a descriverne le condizioni.
7. Pulitura del foro e del cavo aperto con aria compressa, verificando la visibilità dell'armatura di precompressione e della boiacca di iniezione, anche mediante illuminazione con torcia.
8. Qualora fosse necessario perfezionare il punto di prova ripetere il punto 6, eventualmente anche il 4 e 5.
9. Inserimento nel foro dell'endoscopio per l'ispezione visiva di dettaglio e ravvicinata del cavo, avendo cura di mantenere una sufficiente illuminazione. Rilievo dello stato di conservazione del cavo in termini di ossidazione della guaina metallica (esterna ed interna) e dell'armatura di precompressione, completezza e consistenza dell'iniezione e presenza di umidità.
10. Esecuzione di documentazione fotografica, scattando fotogrammi in alta qualità e risoluzione mediante l'endoscopio e/o la macchina fotografica con zoom. Non sono ammesse riprese video dal quale estrapolare fotogrammi.

Le immagini devono essere nitide e ben illuminate e devono consentire di valutare oggettivamente le condizioni del cavo con la descrizione fornita.

11. Qualora si riscontrasse un'armatura di precompressione in stato di corrosione o nel caso in cui l'ESECUTORE avesse difficoltà nell'individuazione/descrizione del suo stato di conservazione in maniera oggettiva e univoca è necessario fare segnalazione al COMMITTENTE e/o PRG, affinché si valuti la necessità di ampliare il foro con uno scasso (§7.5), così da portare in vista un maggior numero di fili e misurare le loro sezioni residue (diametri).
12. Ripristino del punto di prova (cavo di precompressione e copriferro) come indicato nello schema Tipologici Ripristini Indagini ALLEGATO 1.
13. Esecuzione di documentazione fotografica del ripristino eseguito.

7.4.5 Presentazione dei risultati

Per ogni elemento precompresso post-teso a cavi scorrevoli interessato da prova endoscopica dovrà essere prodotta un a una scheda contenente:

- sigla identificativa del punto di misura (§1.2.1);
- ubicazione in pianta e/o profili/sezioni del punto di misura con relativa sigla (§1.2.1);
- se la prova è stata eseguita in concomitanza a prove tomografiche:
 - a. riportare il profilo longitudinale dell'elemento in c.a.p. investigato contenente l'ubicazione delle postazioni e delle sezioni tomografiche con sovrapposto il tracciato dei cavi rilevato, restituzione delle prove tomografiche secondo le indicazioni specifiche al §7.2 ed indicazione della/e prova/e endoscopica/e sull'anomalia/e potenziale/i rilevata/e (e/o impact-eco);
- se la prova è stata eseguita singolarmente (non insieme a prove tomografiche):
 - a. riportare profilo longitudinale dell'elemento in c.a.p. investigato con il tracciato dei cavi rilevato o il singolo cavo rilevato con sovrapposta la prova endoscopica e posizionata mediante coordinate in pianta e in sezione (es. Z=asse appoggio e Y=intradosso elemento);
 - b. eventuale descrizione dello stato di conservazione del calcestruzzo (es. lesioni sui cavi);
- descrizione circa lo stato di conservazione dell'armatura di precompressione nei riguardi di:
 - a. copriferro individuato
 - b. guaina, internamente ed esternamente;
 - c. iniezione;
 - d. acciaio armonico (evidenziando la necessità di eseguire saggio conoscitivo secondo §7.5 per quantificazione);

Particolare attenzione deve essere posta nei riguardi delle condizioni di conservazione della guaina e dello stato del riempimento della malta di iniezione. E' richiesto quindi di verificare le condizioni esterne ed interne della guaina, di verificare il grado di compattezza ed addensamento della malta, nonché l'uniformità della sua distribuzione tra la guaina e l'armatura.

I parametri da adottare nella descrizione dello stato di conservazione dei singoli componenti sono:

Parametri di riferimento descrizione dello stato di conservazione dei singoli componenti				
Stato conservazione copriferro	Stato conservazione guaina	Stato Iniezione cavo	Stato conservazione armatura	Presenza di umidità interna
Integro	Non Ossidata (se lucida)	Completa	Non Ossidata (se lucida)	Si
Fessurato	Ossidazione (se l'ossido può essere rimosso facilmente riportando il metallo vivo)	Parziale > 75 %	Ossidazione (se l'ossido può essere rimosso facilmente riportando il metallo vivo)	No
Delaminato/Risonante	Corrosa (se la superficie è ruvida e non è possibile rimuovere facilmente l'ossido)	Parziale > 50-75 %	Corrosione superficiale (senza variazione di sezione, se la superficie è ruvida e non è possibile rimuovere facilmente l'ossido)	
Tracce di umidità/percolazioni	Disgregata	Parziale > 25-50 %	Molto corrosa (con variazione di sezione, misura del diametro di tutti i fili rilevabili, procedura §3.5.2.4.2 per trefoli)	
Tracce di ossidi		Assente	Fili/trefoli rotti (conteggio di tutti i fili/trefoli rotti)	

- Indicazione di eventuali fili danneggiati durante l'esecuzione delle prove;
- documentazione fotografica della prova (non sono ammesse riprese videografiche e/o foto ricavate da video). Documentazione fotografica del ripristino.

E' richiesta la compilazione di una tabella di sintesi che legghi il flusso delle prove eseguite e sinteticamente il loro esito.

L'ESECUTORE dovrà utilizzare la tabella apposita desunta dall'Allegato 3, della quale se ne richiede anche la restituzione editabile in formato Excel .xls (§7.2).

I report delle prove potranno essere forniti in allegato alla relazione tecnica, nonché tutti gli altri dati relativi all'attività di ripristino.

Le informazioni sopra rilevate dovranno essere inserite all'interno di una tabella riepilogativa (facendo riferimento al modello allegato alla presente Istruzione indicato al §1). Il codice di identificazione del punto di prova (§1.2.1) dovrà corrispondere a quello riportato in pianta e/o sezioni. L'ubicazione di ogni prova eseguita, su piante/sezioni rappresentanti gli elementi strutturali indagati, dovrà essere univocamente indicata mediante il corrispondente codice di identificazione riportato sul campione e punto di prova (§1.2.1).

Tutti i dati rilevati mediante prove diverse eseguite in successione (es. tracciato dell'armatura, postazioni e sezioni tomografiche, prove endoscopiche e saggi conoscitivi) devono essere identificati con le coordinate necessarie per poter definire univocamente la posizione, la sezione tomografica e il cavo indagato, anche in vista un possibile PIN integrativo.

I dati in comune tra le varie prove devono essere richiamati in ciascuna di queste (es. la prova endoscopica e/saggio conoscitivo deve richiamare la sezione tomografica di riferimento e viceversa).

Si precisa che il rilievo dell'armatura di precompressione, tranne per gli elementi in cui è espressamente richiesto, è svolto perché propedeutico alla prova endoscopica, di conseguenza non è richiesta la restituzione

dell'intero sistema e dell'intero elemento strutturale, ma soltanto del punto di prova, atto a dimostrare la presenza di armatura.

Si riporta un esempio di dati da riportare sul report e della tabella di sintesi:

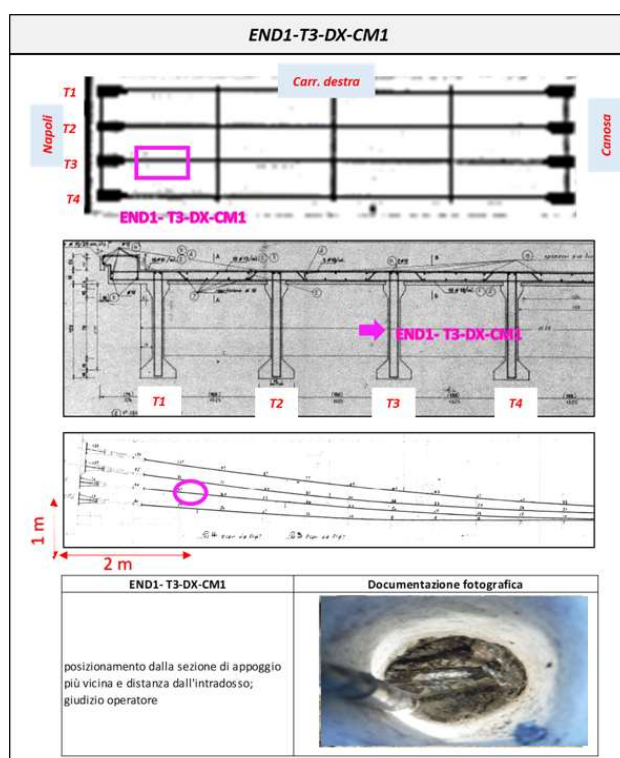


Figura 76 – Esempio scheda di restituzione – Prove endoscopiche singole e tracciato cavi di riferimento

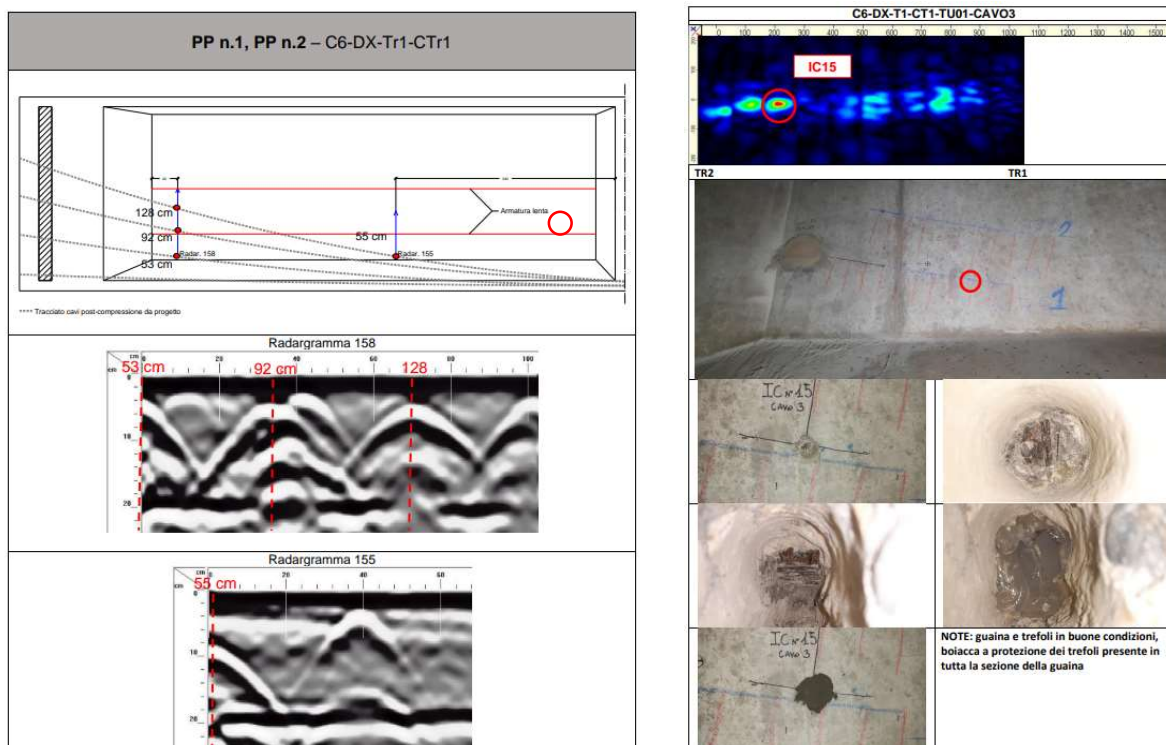


Figura 77 – Esempio scheda di restituzione – Prove endoscopiche con tomografia e georadar di riferimento

[illegible]

Figura 78– Esempio scheda di restituzione – Compilazione tabella di sintesi (compilare progressivamente per ogni prova) All.3

7.5 Saggi conoscitivi sull'armatura di precompressione

7.5.1 Oggetto

La procedura indicata nel presente paragrafo è specifica per l'armatura di precompressione, a differenza di quella trattata al §4.4, specifica per il cemento armato ordinario.

I saggi conoscitivi costituiscono l'indagine maggiormente affidabile ai fini della conoscenza dell'opera e del suo grado di difettosità, dal momento che consentono di rilevare in maniera dettagliata lo stato di conservazione del sistema di precompressione (nel caso di armatura pre-tesa si esamina soltanto l'armatura di precompressione, mentre nel caso di armatura post-tesa si possono esaminare le testate di ancoraggio, i cavi costituiti dalla guaina, dall'armatura stessa e dalla boiacca di iniezione).

Si procede ad effettuare un saggio conoscitivo, solitamente, per le finalità indicate di seguito, di volta in volta comunque dettagliate nel PIN:

- L'ispezione delle testate di ancoraggio del sistema di precompressione (post-teso), sia nel caso di identificazione del sistema di precompressione (§7.1), sia nel caso di rilievo del degrado (§3);
- La misura della quantità di armatura di precompressione (§7.1.4.1);
- L'approfondimento dell'indagine endoscopica nei casi indicati al §7.4 (es. corrosione dell'armatura di precompressione);
- Non è possibile svolgere l'indagine tomografica nei casi indicati al §7.2 (es. difetti del calcestruzzo);
- In caso di degradi manifesti che necessitano quantificazione (§3);

Anche se localizzata, l'esecuzione di un saggio prevede la demolizione del copriferro di calcestruzzo (tecnica distruttiva e invasiva), quindi l'ubicazione, l'estensione, la quantità ed ogni altra modifica al PIN devono essere oculatamente ponderati, in avvio indagini e/o in corso di indagine, con il COMMITTENTE.

Lo scasso eseguito per le finalità indicate può essere sfruttato anche per eseguire altre prove (es. prove di durezza).

7.5.2 Bibliografia di riferimento

- Linee Guida per l'esecuzione delle ispezioni approfondite di impalcati da ponte con travi in c.a.p. a cavi post-tesi", ANAS – Centro Sperimentale Stradale di Cesano (04/2020).

7.5.3 Strumentazione e attrezzatura

- Georadar con antenna di frequenza adeguata (§7.1);
- Martello perforatore con attacco SDS Plus e scalpelli piatti e a punta SDS plus;
- Mazzetta, scalpello, spazzola metallica;
- Calibro a corsoio;
- Pompa o nebulizzatore con acqua;
- Compressore elettrico portatile;
- Fotocamera digitale HD (almeno 1200 x 720 pixel).

7.5.4 Descrizione del metodo e modalità di esecuzione della prova

La prova consiste nell'eseguire un'ispezione visiva diretta su una porzione di elemento strutturale precompresso, praticando una demolizione localizzata di dimensioni adeguate in corrispondenza dell'armatura di

precompressione o di uno dei suoi componenti (es. testate). Per evitare danneggiamenti all'armatura di precompressione, l'esecuzione dei saggi deve essere eseguita con la massima attenzione.

Si precisa che saggi che richiedono la demolizione di uno spessore di calcestruzzo superiore o uguale a 10 cm o in presenza di interventi di rinforzo/ripristino devono essere concordati/approvati dal COMMITTENTE.

L'impostazione della procedura di esecuzione della prova dipende dalla finalità espressa nel PIN e dal tipo di armatura di precompressione (pre-tesa o post-tesa).

7.5.4.1 Saggi conoscitivi sulle testate di ancoraggio (armatura post-tesa)

E' richiesta l'ispezione delle testate di ancoraggio nel caso di sistema di precompressione a cavi post-tesi quando si vuole conoscere la consistenza del sistema di precompressione (§7.1) oppure quando deve eseguirsi il rilievo del degrado (§3). E' necessario che sussistano le condizioni operative e di sicurezza per poter svolgere tale procedura.

- Cavi ancorati in soletta (caso specifico delle travi):
 - a) L'ESECUTORE in possesso degli eventuali elaborati progettuali dell'opera posiziona indicativamente la/e testata/e sulla pavimentazione e poi ne verifica la presenza mediante scansione georadar secondo la metodologia al §4.4.5 "Solette e sbalzi" (da estradosso); nel caso non fossero disponibili elaborati dell'opera, si procederà direttamente alla scansione georadar. Deve essere prestata massima cura durante le operazioni di demolizione al fine di non danneggiare gli ancoraggi dei cavi.
 - b) Taglio della pavimentazione in corrispondenza mediante troncatrice a disco su una superficie di almeno 100 x 100 cm;
 - c) Rimozione della pavimentazione nella zona delimitata dal taglio, mediante martello demolitore elettrico, fino ad arrivare alla superficie di estradosso della soletta; nel caso in cui sia presente materiale impermeabilizzante per la piattaforma stradale, è necessario lasciare un lembo di 5 cm per lato oltre il taglio, al fine di consentire il ripristino per sovrapposizione;
 - d) Demolizione del copriferro della soletta fino alla messa a nudo della testata, che potrebbe trovarsi al di sotto delle armature lente della soletta (nel caso di difficoltà operative, l'ESECUTORE può concordare con COMMITTENTE il taglio e il successivo ripristino);
 - e) Sigla identificativa del punto di prova (§1.2.1) e documentazione fotografica;
 - f) Ubicazione della testata in pianta e/o sezione (rispetto giunto e rispetto cordolo) tale da poter eseguire il confronto con elaborati (se presenti);
 - g) Pulizia della testata mediante aria compressa e descrizione dello stato di conservazione dei componenti della testata (piastre, bloccaggi, intasamento dei fori di iniezione, presenza di umidità...) e del calcestruzzo circostante;
 - h) Misura delle sezioni (diametri) dei fili o dei fili di trefoli e conteggio del numero di fili/trefoli ancorati nella testata;
 - i) Ripristino del copriferro demolito, delle eventuali barre tagliate e della pavimentazione come da schema Tipologici Ripristini Indagini ALLEGATO 1 con documentazione fotografica. L'ESECUTORE dovrà impiegare il bitume a caldo o a freddo preventivamente concordato con la Direzione di Tronco competente (a carico del COMMITTENTE).
- Cavi ancorati in testata dell'elemento (es. travi, traversi...):
 - a) L'ESECUTORE in possesso degli eventuali elaborati progettuali dell'opera posiziona indicativamente la/e testata/e a partire dall'intradosso dell'elemento. Il posizionamento può essere verificato mediante scansione lineare con georadar, ma l'esito non è scontato. Nel caso in cui non fossero disponibili elaborati dell'opera, sarà necessario ricostruire il tracciato dei cavi

(§7.1) e poi riportare, in base alla pendenza individuata di ogni cavo, l'andamento fino alla testata presunta di ancoraggio per stimarne la posizione.

- b) Demolizione del tampone di protezione o della sua porzione fino alla messa a nudo della testata, che potrebbe trovarsi al di sotto delle armature lente di frettaggio (nel caso di difficoltà operative, l'ESECUTORE può concordare con COMMITTENTE il taglio e il successivo ripristino);
- c) Sigla identificativa del punto di prova (§1.2.1) e documentazione fotografica;
- d) Ubicazione della testata (es. rispetto intradosso elemento) tale da poter eseguire il confronto con elaborati (se presenti);
- e) Pulizia della testata mediante aria compressa e descrizione dello stato di conservazione dei componenti della testata (piastre, bloccaggi, intasamento dei fori di iniezione, presenza di umidità...) e del calcestruzzo circostante;
- f) Misura delle sezioni (diametri) dei fili o dei fili di trefoli e conteggio del numero di fili/trefoli ancorati nella testata;
- g) Ripristino del tampone demolito e delle eventuali barre tagliate come da schema Tipologici Ripristini Indagini ALLEGATO 1, eventualmente anche della pittura impermeabilizzante con documentazione fotografica.

7.5.4.2 Saggi conoscitivi di approfondimento

Ricadono in questa categoria tutti i saggi conoscitivi derivanti dalla necessità di:

- conoscere la quantità di armatura di precompressione (e non è possibile ispezionare le testate degli elementi strutturali, sia nel caso di sistemi post-tesi di cui al §7.5.4.1, che pre-tesi);
- quantificare la corrosione dell'armatura di precompressione rilevata mediante foro e prova endoscopica o rilevare correttamente lo stato di conservazione che non è chiaro (§7.4);
- sostituire l'indagine tomografica per difetti superficiali di calcestruzzo (§7.2);
- eseguire la quantificazione degli ammaloramenti mediante rilievo del degrado e/o degradi manifesti (§3).

Operativamente, l'ESECUTORE dovrà seguire la seguente procedura:

1. Individuazione dell'armatura di precompressione:
 - a. La posizione è nota, ad esempio, se l'elemento strutturale è stato oggetto di rilievo del tracciato dell'armatura di precompressione (§7.1) o se sono state eseguite indagini tomografiche (§7.2) (e/o prova impact-echo §7.3) o se sono stati eseguiti fori con prove endoscopiche (§7.4) o sono presenti difetti manifesti (§3). In questi casi passare al punto successivo 2;
 - b. La posizione non è nota, quindi è necessario procedere al rilievo georadar secondo le modalità indicate al §7.1.4.1 (ricordando di prendere nota della posizione della stessa secondo le coordinate X, Y, Z). Quindi passare al punto successivo 2.
2. Tracciare sull'elemento strutturale con marcatore indelebile la posizione dell'armatura e del punto di prova nella sezione di appartenenza (georadar o tomografica o prova endoscopica) e prenderne nota, così da essere univocamente posizionato e correlato alle altre prove. Nel caso di difetti manifesti prendere nota dell'ID difetto e della posizione rispetto un punto noto (es. appoggio o come indicato al §3). Passare al punto 3.
3. Rimozione del calcestruzzo di copriferro mediante martello demolitore:
 - a. Qualora lungo il tracciato dell'armatura il calcestruzzo risulti in buone condizioni di conservazione, procedere alla demolizione locale su una superficie di dimensioni tipiche 10x10 cm fino a raggiungere l'armatura pre-tesa o in asse cavo su una superficie di dimensioni tipiche 20x20 cm fino a raggiungere la guaina (armatura post-tesa);

- b. Qualora lungo il tracciato dell'armatura il calcestruzzo risulti in cattive condizioni di conservazione, procedere alla demolizione controllata di tutta la parte risonante o in distacco che la ricopre fino a raggiungere l'armatura stessa (pre-tesa) o la guaina (post-tesa); se si riscontra al di sotto calcestruzzo in buono stato, procedere poi come al punto a).

Indicazioni specifiche sulle dimensioni del saggio possono essere riportate nel PIN.

4. Messa a nudo dell'armatura di precompressione:

- a. Nel caso di armatura pre-tesa, questa è direttamente visibile dopo che è stato rimosso il copriferro;
- b. Nel caso di armatura post-tesa (cavi di precompressione) è necessario distinguere le condizioni della guaina:
- Qualora risulti ancora integra al più ossidata, apertura manuale mediante mazzetta e scalpello di una finestratura rettangolare proporzionata al saggio praticando 2 tagli trasversali ed un taglio longitudinale. La parte tagliata viene ripiegata su di un lato. Prendere nota delle condizioni di conservazione esterne della guaina e prestare attenzione a non danneggiare la boiacca di iniezione alterandone lo stato (es. frammentarla eccessivamente), per evitare di non riuscire a descriverne le condizioni;
 - Qualora risulti corrosa pressoché assente, ma la boiacca di iniezione risulti ancora presente e integra/compatta, rimuoverla localmente mediante leggera scalpellatura manuale per mettere a nudo una porzione dell'armatura di precompressione;
 - Qualora sia la guaina sia l'iniezione siano assenti per avanzato ammaloramento (es. in presenza di cavi di precompressione danneggiati senza più la guaina direttamente visibili), procedere alla completa rimozione della boiacca degradata e di ogni traccia di ruggine dall'armatura di precompressione (mediante battitura e/o spazzolatura).

5. Pulitura del saggio e dell'armatura di precompressione con aria compressa;

6. Procedere al rilievo misurando/rilevando:

- a. Copriferro o copriferro residuo;
- b. Per armatura post-tesa (cavi):
- Condizioni della guaina (se presente) e della boiacca di iniezione (presente, assente, compatta, frammentata, decoesa...); se possibile stimare il grado di riempimento del cavo di precompressione (in % rispetto la parte visibile).

Particolare attenzione deve essere posta nei riguardi delle condizioni di conservazione della guaina e dello stato del riempimento di malta di iniezione. E' richiesto quindi di verificare le condizioni esterne ed interne della guaina, di verificare il grado di compattezza ed addensamento della malta, nonché l'uniformità della sua distribuzione tra la guaina e l'armatura.

- c. Conteggio di tutte le armature (fili o trefoli o fili di trefolo e/o cavi di precompressione) in vista in relazione alle dimensioni del saggio o dell'ammaloramento;
- d. Sezione (diametro) di tutti i fili o fili di trefolo misurabili in base alle condizioni del saggio o ammaloramento;
- e. Per le parti non rilevabili/non chiare/non misurabili indicarlo con espressa nota;
- f. Nel caso di armatura fortemente corrosa con deformazione della sezione (es. appiattimento), eseguire la misura della sezione del filo nel punto di minimo in base alle condizioni del saggio o ammaloramento, altrimenti misurare la prima dimensione utile e riportare le condizioni di misura della sezione;

7. Esecuzione di documentazione fotografica, scattando fotogrammi mediante macchina fotografica. Non sono ammesse riprese video dal quale estrapolare fotogrammi.
Le immagini devono essere nitide e ben illuminate e devono consentire di valutare oggettivamente le condizioni dell'armatura di precompressione con la descrizione fornita.
8. Esecuzione delle ulteriori ed eventuali prove richieste (es. prove durezza, prelievo fili acciaio armonico, detensionamento...);
9. Ripristino del punto di prova come indicato nello schema Tipologici Ripristini Indagini ALLEGATO 1, in particolare nel caso di armatura post-tesa. Esecuzione di documentazione fotografica del ripristino eseguito.

Si precisa che il rilievo dell'armatura di precompressione eseguito secondo le modalità al §7.1 rappresenta l'unico caso in cui viene richiesta la completa restituzione dei dati richiesti.

Quando il rilievo è svolto perché propedeutico ad altre prove (es. prove tomografiche, indagini endoscopiche, saggi...) non è richiesta la restituzione dell'intero sistema e dell'intero elemento strutturale, ma soltanto del punto di prova, atto a dimostrare la presenza di armatura.

7.5.5 Presentazione dei risultati

Per ogni elemento precompresso interessato da saggi conoscitivi dovrà essere prodotta una scheda contenente:

- sigla identificativa del punto di misura (§1.2.1);
- ubicazione in pianta e/o profili/sezioni del punto di misura con relativa sigla (§1.2.1);
- indicazione della finalità della prova:
 - a. ispezione delle testate di ancoraggio di cavi di precompressione;
 - b. per verifica consistenza sistema di precompressione;
 - c. in seguito a prova endoscopica;
 - d. in sostituzione all'indagine tomografica;
 - e. per quantificazione difetti;
- se la prova è stata eseguita in concomitanza a prove tomografiche/georadar/endoscopiche:
 - a. riportare il profilo longitudinale dell'elemento in c.a.p. investigato contenente l'ubicazione delle postazioni e delle sezioni tomografiche con sovrapposto il tracciato dei cavi rilevato, restituzione delle prove tomografiche secondo le indicazioni specifiche al §7.2, indicazione della prova endoscopica su anomalia potenziale come indicato al §7.4 (e/o impact echo §7.3) e del saggio conoscitivo;
- se la prova è stata eseguita singolarmente (non insieme ad altre prove):
 - a. riportare profilo longitudinale dell'elemento in c.a.p. investigato con il tracciato dei cavi rilevato o il singolo cavo rilevato con sovrapposto il saggio conoscitivo mediante coordinate in pianta e in sezione (es. Z=asse appoggio e Y=intradosso elemento);
 - b. eventuale descrizione dello stato di conservazione del calcestruzzo (es. lesioni sui cavi);
- nel caso di ispezione delle testate, ubicare il saggio conoscitivo mediante coordinate in pianta e in sezione (es. Z=asse appoggio e Y=intradosso elemento) e tracciarlo sul cavo di riferimento;
- descrizione circa lo stato di conservazione della testata di ancoraggio (per armatura post-tesa):
 - a. piastre;
 - b. bloccaggi e intasamento dei fori di iniezione;
 - c. presenza di umidità;
 - d. condizioni del calcestruzzo circostante;

- descrizione circa lo stato di conservazione dell'armatura di precompressione nei riguardi di:
 - a. copriferro;
 - b. per elementi post-tesi, stato di conservazione della guaina, internamente ed esternamente;
 - c. per elementi post-tesi, stato di conservazione della boiacca di iniezione e delle condizioni di riempimento;
 Particolare attenzione deve essere posta nei riguardi delle condizioni di conservazione della guaina e dello stato del riempimento della malta di iniezione. E' richiesto di verificare le condizioni esterne ed interne della guaina, di verificare il grado di compattezza ed addensamento della malta, nonché l'uniformità della sua distribuzione tra la guaina e l'armatura.
 - d. Stato di conservazione di dettaglio dei fili e/o fili di trefolo e/o trefoli;
 - Conteggio di tutte le armature (fili o trefoli o fili di trefolo e/o cavi di precompressione) in vista in relazione alle dimensioni del saggio o dell'ammaloramento;
 - Sezione (diametro) di tutti i fili o fili di trefolo misurabili in base alle condizioni del saggio o ammaloramento;
 - Per le parti non rilevabili/non chiare/non misurabili indicarlo con espressa nota e tentare anche una stima (es. per confronto) delle sezioni;
 - Nel caso di armatura fortemente corrosa con deformazione della sezione (es. appiattimento), eseguire la misura della sezione del filo nel punto di minimo in base alle condizioni del saggio o ammaloramento, altrimenti misurare la prima dimensione utile e riportare le condizioni di misura della sezione.

I parametri da adottare nella descrizione dello stato di conservazione dei singoli componenti sono:

Parametri di riferimento descrizione dello stato di conservazione dei singoli componenti				
Stato conservazione copriferro	Stato conservazione guaina	Stato Iniezione cavo	Stato conservazione armatura	Presenza di umidità interna
Integro	Non Ossidata (se lucida)	Completa	Non Ossidata (se lucida)	Si
Fessurato	Ossidazione (se l'ossido può essere rimosso facilmente riportando il metallo vivo)	Parziale > 75 %	Ossidazione (se l'ossido può essere rimosso facilmente riportando il metallo vivo)	No
Delaminato/Risonante	Corrosa (se la superficie è ruvida e non è possibile rimuovere facilmente l'ossido)	Parziale > 50-75 %	Corrosione superficiale (senza variazione di sezione, se la superficie è ruvida e non è possibile rimuovere facilmente l'ossido)	
Tracce di umidità/percolazioni	Disgregata	Parziale > 25-50 %	Molto corrosa (con variazione di sezione, misura del diametro di tutti i fili rilevabili, procedura §3.5.2.4.2 per trefoli)	
Tracce di ossidi		Assente	Fili/trefoli rotti (conteggio di tutti i fili/trefoli rotti)	

- descrizione e richiamo di ulteriori prove da eseguire nel saggio (es. prove durezza, prelievo fili acciaio armonico, detensionamento...)
- documentazione fotografica della prova (non sono ammesse riprese videografiche e/o foto ricavate da video). Documentazione fotografica del ripristino.

E' richiesta la compilazione di una tabella di sintesi che leghi il flusso delle prove eseguite e sinteticamente il loro esito.

L'ESECUTORE dovrà utilizzare la tabella apposita desunta dall'Allegato 3, della quale se ne richiede anche la restituzione editabile in formato Excel .xls.

I report delle prove potranno essere forniti in allegato alla relazione tecnica, nonché tutti gli altri dati relativi all'attività di ripristino.

Le informazioni sopra rilevate dovranno essere inserite all'interno di una tabella riepilogativa (facendo riferimento al modello allegato alla presente Istruzione indicato al §1). Il codice di identificazione del punto di prova (§1.2.1) dovrà corrispondere a quello riportato in pianta e/o sezioni. L'ubicazione di ogni prova eseguita, su piante/sezioni rappresentanti gli elementi strutturali indagati, dovrà essere univocamente indicata mediante il corrispondente codice di identificazione riportato sul campione e punto di prova (§1.2.1).

Tutti i dati rilevati mediante prove diverse eseguite in successione (es. tracciato dell'armatura, postazioni e sezioni tomografiche, prove endoscopiche e saggi conoscitivi) devono essere identificati con le coordinate necessarie per poter definire univocamente la posizione, la sezione tomografica e il cavo indagato, anche in vista un possibile PIN integrativo.

I dati in comune tra le varie prove devono essere richiamati in ciascuna di queste (es. la prova endoscopica e/saggio conoscitivo deve richiamare la sezione tomografica di riferimento e viceversa).

Si precisa che il rilievo dell'armatura di precompressione, tranne per gli elementi in cui è espressamente richiesto, è svolto perché propedeutico al saggio conoscitivo, di conseguenza non è richiesta la restituzione dell'intero sistema e dell'intero elemento strutturale, ma soltanto del punto di prova, atto a dimostrare la presenza di armatura.

Si riporta un esempio di dati da riportare sul report e della tabella di sintesi:

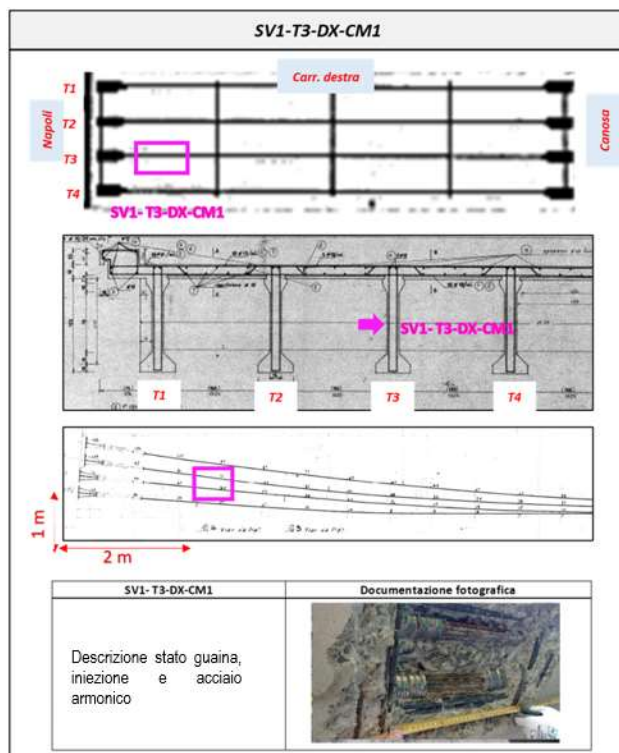
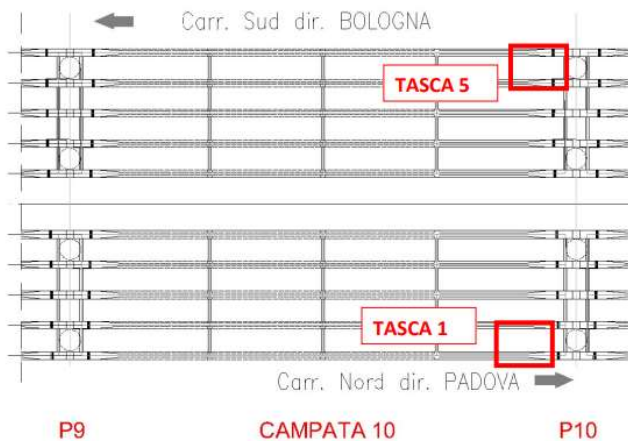


Figura 79 – Esempio scheda di restituzione – Saggio visivo eseguito singolarmente e georadar di riferimento



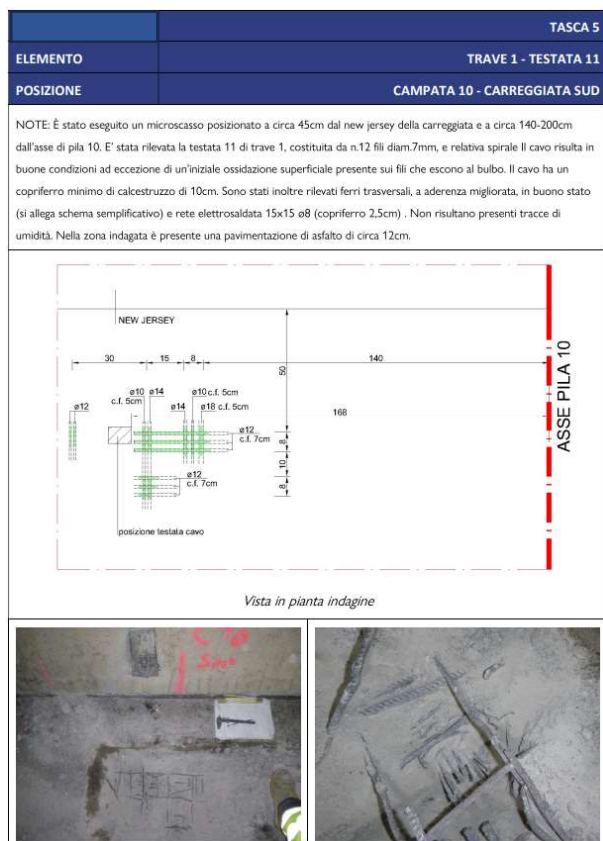
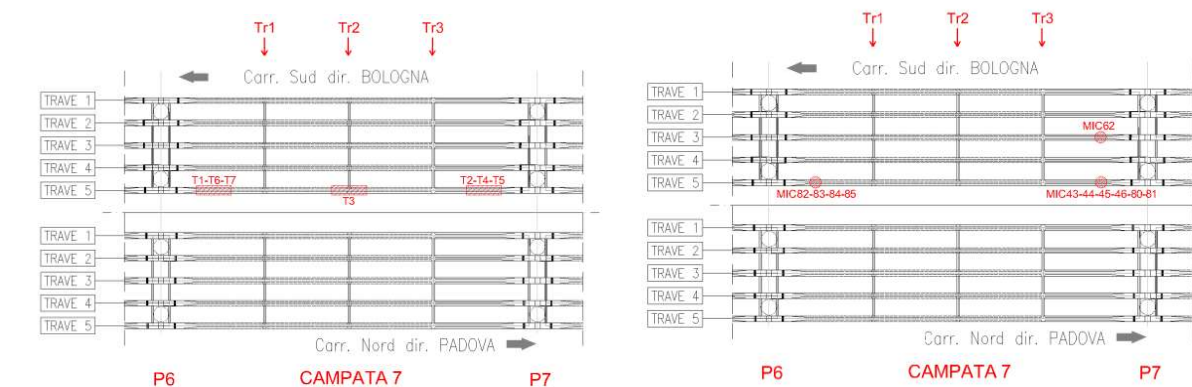
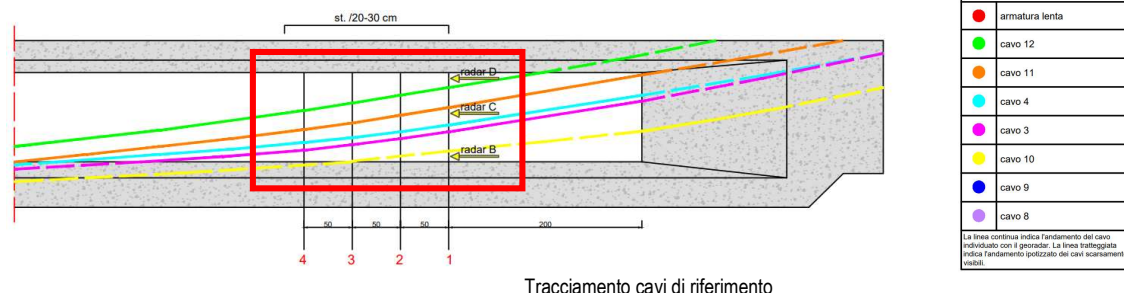


Figura 80 – Esempio scheda di restituzione – Saggio visivo eseguito su testata di precompressione in soletta



Planimetria di riferimento schema di prova



Tracciamento cavi di riferimento

Esito delle prove tomografiche ubicate es. TOM2-T5-SX-CM7:

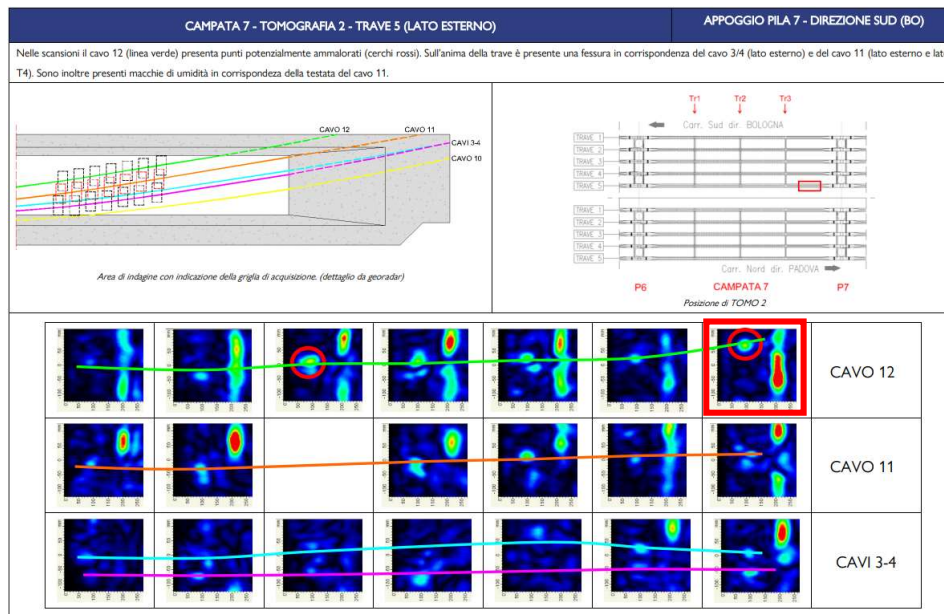




Figura 81 – Esempio scheda di restituzione – Saggio visivo eseguito su prova endoscopica e tomografica con georadar di riferimento

[illegible]

Figura 82 – Esempio scheda di restituzione – Compilazione tabella di sintesi (compilare progressivamente per ogni prova) All.3

7.6 Valutazione della tensione di precompressione residua di travi in c.a.p.

Il presente paragrafo fa riferimento alle indicazioni per le strutture in cemento armato precompresso presenti nelle *Linee Guida per l'esecuzione delle ispezioni approfondite di impalcati da ponte con travi in c.a.p. a cavi post-tesi*, ANAS - Centro Sperimentale Stradale di Cesano (04/2020) e nella IO22, indicati al §1.3 della presente Istruzione.

La valutazione della precompressione residua delle travi in c.a.p. (sia con sistemi pre-tesi che sistemi post-tesi) può essere eseguita mediante tre differenti metodologie:

- prove di detensionamento sui fili (nel caso di precompressione a fili paralleli) o fili di trefolo (nel caso di precompressione a trefoli/trecce);
- prove di detensionamento sul calcestruzzo - metodo Sectioning (metodologia 4 Emme);
- prove diffrattometriche ai raggi X tramite l'utilizzo del diffrattometro a raggi X che sfrutta il concetto di diffrazione in un materiale cristallino, da applicare sui fili di acciaio armonico (sia fili paralleli sia fili di trefoli).

Nei paragrafi successivi della presente Istruzione, verranno trattati soltanto i primi due metodi, essendo la diffrattometria a raggi X ancora di carattere sperimentale.

Le prove possono essere eseguite in concomitanza alla verifica della consistenza del sistema di precompressione, di cui al §7.1, e/o al rilievo del degrado quando ad es. sussistono difetti manifesti con importante riduzione di sezione di armatura di precompressione (§3).

7.6.1 Prove di detensionamento sui trefoli / fili

7.6.1.1 Oggetto

La prova di detensionamento sui fili o fili di trefolo ha come scopo la misura della tensione agente nell'armatura di precompressione.

7.6.1.2 Descrizione del metodo

La prova di detensionamento consiste nel tagliare un filo o un filo di trefolo, preventivamente strumentato con 2 estensimetri resistivi e nel rilevare le deformazioni prodotte dal ritiro del filo dopo il taglio; la tensione σ agente nel filo viene valutata moltiplicando la deformazione ϵ rilevata e cambiata di segno per il modulo elastico E dell'acciaio: $\sigma = E \epsilon$.

7.6.1.3 Strumentazione e attrezzatura

- estensimetri resistivi per acciaio:
 - lunghezza massima 5 mm e resistenza 120 Ω preferibilmente a 3 cavi; nel caso di precompressione a fili paralleli con diametro fili $\Phi > 6$ mm è possibile impiegare estensimetri di lunghezza massima 10 mm;
- centralina di acquisizione dati:
 - collegamento degli estensimetri a $\frac{1}{4}$ di ponte con terzo filo e bilanciamento del ponte estensimetrico, risoluzione 24 bit e frequenza minima di campionamento pari ad almeno 50 Hz;
- dremel elettrico con disco da taglio di diametro adeguato e testa angolare;

- accessori per l'incollaggio degli estensimetri:
 - garze e acetone puro;
 - collante cianoacrilico professionale per estensimetria (es. HBM); in alternativa e previa comunicazione al COMMITTENTE è possibile impiegare collante tipo Attack GEL;
- strumentazione e attrezzatura per esecuzione saggi indicati al §7.5.

7.6.1.4 Modalità di esecuzione

Operativamente le prove vengono eseguite con la seguente procedura:

1. Eseguire tutte le operazioni propedeutiche all'individuazione dell'armatura di precompressione, come nel caso dei saggi conoscitivi indicati al §7.5;
2. Esecuzione della demolizione locale del copriferro e messa a nudo dell'armatura di precompressione come indicato al §7.5 per i saggi conoscitivi; le dimensioni dello scasso dipendono dalle eventuali prove da eseguire nella demolizione:
 - a. Circa 25x25 cm nel caso non siano previste altre prove
 - b. Circa 25x50 cm nel caso in cui sia previsto il prelievo di armatura (modalità §7.8);
3. Individuazione del punto di taglio, solitamente ad una estremità della demolizione se è previsto il prelievo di armatura, ed installazione di n.2 estensimetri a ridosso del futuro taglio, che dovrà essere distante dagli estensimetri per circa 2 cm per lato;
4. Pulizia del filo nel punto previsto del taglio rimuovendo ogni traccia di ossido e spazzolando la superficie fino a portarla a lucido. Sgrassatura della parte lucidata del filo strofinandone la superficie con una garza imbevuta di acetone;
5. Incollaggio degli estensimetri con il collante indicato, nella parte apposita dove non sono presenti le saldature dei fili. Ad incollaggio avvenuto (2-5 minuti) controllare l'avvenuta presa verificando i lembi e i bordi dello strumento che siano perfettamente aderenti;
6. Collegamento degli estensimetri a $\frac{1}{4}$ di ponte alla centralina, bilanciamento del ponte, impostazione del gauge factor e test della strumentazione, con lettura a t_0 iniziale e avvio;
7. Dopo almeno 30 secondi da t_0 (avvio della sequenza di acquisizione), esecuzione del taglio con dremel, ponendo la massima attenzione a non intaccare i restanti fili;
N.B. nel caso di fili adeguatamente tesi, la rottura generalmente interviene quando il taglio ha raggiunto un'estensione compresa tra il 50% ed il 60% della sezione; seguire la seguente procedura di taglio:
 - a. Taglio 1 consente di tagliare il filo. Il taglio dovrà avvenire progressivamente e tra gli estensimetri, ovvero seguire "lo strappo" del filo evitando di esercitare eccessiva pressione sul disco che potrebbe intaccare i fili laterali.
8. Interrompere l'acquisizione e memorizzare i dati dopo circa 30 secondi dalla rottura;
9. Nel caso in cui sia previsto il prelievo di armatura, procedere come riportato al §7.8.
 - a. Sollevare l'estremità del filo tagliata al Taglio 1, poi all'estremità opposta dello scasso (alla distanza in funzione della lunghezza del campione concordata al §7.8) eseguire ulteriore Taglio 2, avendo cura di non intaccare i fili laterali (l'operazione di sollevamento del lembo libero dovrebbe limitare questo).
10. Prendere nota di:
 - a. Posizione saggio, secondo le modalità previste al §7.5 (in particolare ubicazione del punto di prova e cavo in oggetto);
 - b. Condizioni di traffico;
 - c. Modalità di prova: se eseguita mediante By Bridge, prendere nota del peso e della posizione longitudinale/trasversale del mezzo sull'impalcato (dei vari assi di carico rispetto giunto e filo cordolo esterno);

- d. Temperatura ambientale;
11. Documentazione fotografica della prova;
12. Esecuzione del ripristino come da schema Tipologici Ripristini Indagini ALLEGATO 1.

Al termine del primo rilascio tensionale eseguito sul campo, andranno rapidamente condivisi con il COMMITTENTE i risultati, prima di procedere con altre prove dello stesso tipo sull'opera, al fine di verificare l'attendibilità dei primi risultati e quindi decidere cosa possa essere cambiato a livello metodologico per risolvere eventuali anomalie.

I valori della tensione/deformazione attesi devono essere riportati nel PIN sulla base della condizione di carico presunta in sito, che dovrà essere verificata dall'ESECUTORE. In caso di importanti differenze, dovrà essere comunicato al COMMITTENTE.

Si noti inoltre:

- per l'esecuzione della prova è necessario sacrificare un filo di un trefolo, nel caso di precompressione a trefoli, o un filo, nel caso di precompressione a fili paralleli con cavi; pertanto, la prova va eseguita su non più di un filo per trefolo e su non più di un filo per cavo; nella medesima sezione trasversale, la sezione di armatura di precompressione recisa non deve essere superiore al 2% della sezione totale; ulteriori e più precise indicazioni possono essere indicate nel PIN (dove dovranno essere indicati i valori attesi di deformazione/tensione);
- per garantire l'attendibilità della prova è necessario porre la massima cura nella procedura di installazione, curando tutte le singole fasi (pulitura, lucidatura, sgrassaggio, incollaggio)
- il taglio del filo deve essere eseguito utilizzando un dremel e ponendo la massima cura nel non intaccare i fili adiacenti;
- la prova potrebbe risultare non attendibile per fili aventi diametro inferiore a 4 mm.

7.6.1.5 Elaborazione delle misure

Le misure di deformazione acquisite devono essere elaborate considerando la deformazione "netta" ossia la differenza, per ognuno dei due estensimetri, tra la deformazione eseguita a t_0 e la deformazione media misurata tra 10 e 30 secondi dopo il taglio e la stabilizzazione del diagramma ϵ - t in seguito alla rottura.

7.6.1.6 Presentazione dei risultati

Per ogni elemento precompresso interessato da prova di detensionamento su fili di acciaio armonico dovrà essere prodotta una scheda contenente:

- sigla identificativa del punto di misura (§1.2.1);
- ubicazione in pianta e/o profili/sezioni del punto di misura con relativa sigla (§1.2.1), ovvero schema geometrico di prova;
- indicazione del riferimento al saggio conoscitivo eseguito e dello stato di conservazione dell'armatura di precompressione (eventuale, come in §7.5);
- indicazione di:
 - a. Condizioni di traffico;
 - b. Modalità di prova: PLE/trabattello o By Bridge.
NB: se eseguita mediante By Bridge, prendere nota del peso e della posizione longitudinale/trasversale del mezzo sull'impalcato (dei vari assi di carico rispetto giunto e filo cordolo esterno);

- c. Temperatura ambientale (eventuale);
- diagramma ϵ -t misurato nel corso della prova di entrambi gli estensimetri;
- indicazione esplicita delle letture di entrambi gli estensimetri:
 - a. deformazione eseguita a t_0 ;
 - b. deformazione di picco a taglio avvenuto;
 - c. deformazione media misurata tra 10 e 30 secondi dopo il taglio e la stabilizzazione in seguito alla rottura;
- annotare eventuali danneggiamenti agli altri fili;
- documentazione fotografica della prova (non sono ammesse riprese videografiche e/o foto ricavate da video). Documentazione fotografica del ripristino.

E' richiesta la compilazione di una tabella di sintesi che leghi il flusso delle prove eseguite e sinteticamente il loro esito.

L'ESECUTORE dovrà utilizzare la tabella apposita desunta dall'Allegato 3, della quale se ne richiede anche la restituzione editabile in formato Excel .xls.

I report delle prove potranno essere forniti in allegato alla relazione tecnica, nonché tutti gli altri dati relativi all'attività di ripristino.

Le informazioni sopra rilevate dovranno essere inserite all'interno di una tabella riepilogativa (facendo riferimento al modello allegato alla presente Istruzione indicato al §1). Il codice di identificazione del punto di prova (§1.2.1) dovrà corrispondere a quello riportato in pianta e/o sezioni. L'ubicazione di ogni prova eseguita, su piante/sezioni rappresentanti gli elementi strutturali indagati, dovrà essere univocamente indicata mediante il corrispondente codice di identificazione riportato sul campione e punto di prova (§1.2.1).

Tutti i dati rilevati mediante prove diverse eseguite in successione (es. tracciato dell'armatura, postazioni e sezioni tomografiche, prove endoscopiche e saggi conoscitivi) devono essere identificati con le coordinate necessarie per poter definire univocamente la posizione, la sezione tomografica e il cavo indagato, anche in vista un possibile PIN integrativo.

I dati in comune tra le varie prove devono essere richiamati in ciascuna di queste (es. la prova endoscopica e/saggio conoscitivo deve richiamare la sezione tomografica di riferimento e viceversa).

Si precisa che il rilievo dell'armatura di precompressione, tranne per gli elementi in cui è espressamente richiesto, è svolto perché propedeutico al saggio conoscitivo, di conseguenza non è richiesta la restituzione dell'intero sistema e dell'intero elemento strutturale, ma soltanto del punto di prova, atto a dimostrare la presenza di armatura.

Si riporta un esempio di dati da riportare su report e della tabella di sintesi:

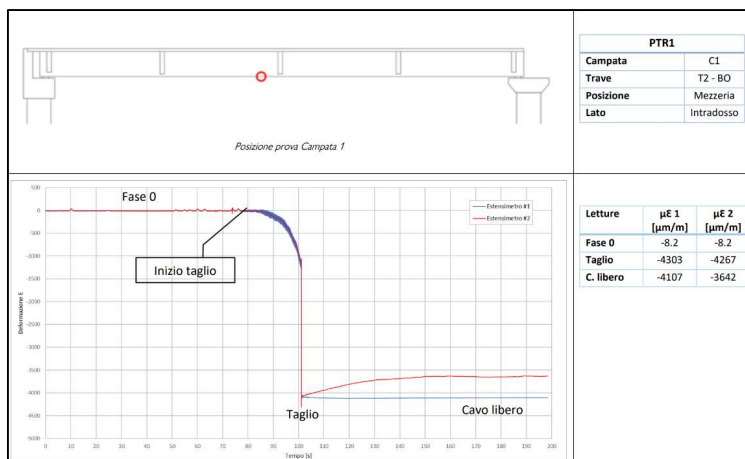


Figura 83 – Esempio scheda di restituzione – Prova di detensionamento su fili eseguita su PLE e traffico ordinario

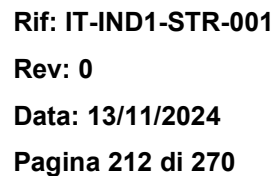


Figura 84 – Esempio scheda di restituzione – Compilazione tabella di sintesi All.3

7.6.2 Prove di detensionamento sul calcestruzzo – metodo sectioning a 4 tagli

La tecnica di prova descritta nel seguito è stata sviluppata, applicata e testata dal Laboratorio *4Emme Spa*. La tecnica di prova si basa sull'estrazione di un provino di cls di forma tronco-piramidale mediante l'esecuzione di quattro tagli inclinati e la lettura in continuo dei dati misurati mediante estensimetri resistivi incollati sulla superficie laterale della trave.

7.6.2.1 Oggetto

La prova di detensionamento sul calcestruzzo ha come scopo la misura della tensione agente nel punto strumentato della trave, sotto l'azione della precompressione e dei carichi permanenti.

La tecnica di seguito descritta utilizza quattro tagli per l'isolamento della porzione di cls.

7.6.2.2 Strumentazione e attrezzatura

- estensimetri resistivi a filo per cls.: lunghezza 30 mm, resistenza 120 Ω e spessore 5 μ m;
- smerigliatrice con disco diamantato di diametro ϕ 115 perforatore elettrico con punta ϕ 6 mm L 300 mm;
- accessori per l'incollaggio degli estensimetri: garze, acetone puro, collante cianoacrilico professionale per l'incollaggio degli estensimetri sul calcestruzzo, fogli protettivi in alluminio rivestiti di stucco plasmabile (tipo HBM ABM75). In accordo con il COMMITTENTE è possibile impiegare Attack tipo gel.
- unità di acquisizione dei dati in continuo (con frequenza di acquisizione di 0,2 Hz).

7.6.2.3 Modalità di esecuzione

La prova consiste nell'eseguire quattro tagli (due verticali e due orizzontali) a distanza 60 mm, tali da isolare un provino troncopiramidale di cls.

Il taglio deve essere eseguito con inclinazione 45° per una profondità di 30 mm per garantire il completo rilascio dell'elemento. Gli estensimetri sono due e sono posti entrambi in direzione orizzontale sulla superficie dell'elemento. L'acquisizione dei dati avviene in continuo.

Operativamente le prove vengono eseguite con la seguente procedura (nel seguito si fa riferimento alla sola configurazione a tre estensimetri):

1. rilievo magnetico delle armature con evidenziazione delle stesse sulla superficie del calcestruzzo e individuare un punto con un diametro di circa 100 mm libero dalle armature;
2. delimitazione della zona in cui eseguire la prova: indicazione sulla trave di un quadrato 60 x 60 mm,
3. preparare la superficie di incollaggio mediante smerigliatrice, sgrassare, apporre gel di aderenza, posizionare gli estensimetri;
4. applicare pellicola protettiva per scongiurare disturbi nel corso della prova;
5. collegare gli estensimetri con apposita centralina, in modalità di misura in continuo e frequenza di acquisizione di 0,2 Hz;
6. isolare la porzione dell'elemento strutturale mediante esecuzione di due tagli simmetrici verticali e successivamente orizzontali con disco diamantato. Il primo taglio inizia dopo 60 s dall'attivazione dell'acquisizione dei dati; i successivi tagli sono eseguiti a distanza di 90 s l'uno dall'altro;
7. misurazione delle temperature nel punto di prova.
8. Per la determinazione del modulo elastico del calcestruzzo nel punto di prova è possibile:
 - a. Eseguire prove di laboratorio su carote estratte per caratterizzazione meccanica (§4);
 - b. Prove ultrasoniche dirette nell'intorno del punto (§4);

- c. Prove di pull out nell'intorno del punto (§4);
Tale operazione è necessaria per derivare lo stato tensionale a partire dalle deformazioni misurate. Specifiche indicazioni sono riportate nel PIN.
9. Prendere nota di:
- a. Posizione punto di prova (coordinate in pianta X,Y e Z in sezione trasversale);
 - b. Condizioni di traffico;
 - c. Modalità di prova: se eseguita mediante By Bridge, prendere nota del peso e della posizione longitudinale/trasversale del mezzo sull'impalcato (dei vari assi di carico rispetto giunto e filo cordolo esterno);
10. Documentazione fotografica della prova;
11. Esecuzione del ripristino come da schema Tipologici Ripristini Indagini ALLEGATO 1.

Al termine del primo rilascio tensionale eseguito sul campo, andranno rapidamente condivisi con il COMMITTENTE i risultati, prima di procedere con altre prove dello stesso tipo sull'opera, al fine di verificare l'attendibilità dei primi risultati e quindi decidere cosa possa essere cambiato a livello metodologico per risolvere eventuali anomalie.

I valori della tensione/deformazione attesi devono essere riportati nel PIN sulla base della condizione di carico presunta in sito, che dovrà essere verificata dall'ESECUTORE. In caso di importanti differenze, dovrà essere comunicato al COMMITTENTE.

Si noti inoltre:

- Il punto di prova deve essere individuato in maniera scrupolosa, evitando zone con calcestruzzo ripristinato, fessurato, delaminato o degradato e verificando l'assenza di armature e cavi di precompressione con un accurato rilievo georadar (la prova può essere eseguita in concomitanza alla verifica della consistenza del sistema di precompressione §7.1 e al rilievo del degrado §3).
- l'installazione degli estensimetri deve essere eseguita con la massima cura in tutte le singole fasi: molatura, sgrassaggio, incollaggio e protezione nei confronti dell'acqua.
- Le prove eseguite nelle travi di bordo, tra lato esterno e lato interno possono fornire valori differenti, in particolare se la parte esterna della trave è esposta ai raggi solari. In questo caso, se non può essere spostato il punto di prova, è necessario far raffreddare il provino dopo i 4 tagli al fine di eseguire la lettura di deformazione finale (non staccare gli estensimetri lasciando la centralina in acquisizione).

7.6.2.4 Presentazione dei risultati

Per ogni elemento precompresso interessato da prova di detensionamento su calcestruzzo dovrà essere prodotta una scheda contenente:

- sigla identificativa del punto di misura (§1.2.1);
- ubicazione in pianta e/o profili/sezioni del punto di misura con relativa sigla (§1.2.1), ovvero schema geometrico di prova (coordinate in pianta X, Y e Z in sezione trasversale);
- **Andamento grafico della deformazione letta in continuo;**
- Indicazione esplicita dei valori di deformazione orizzontale subita dalla porzione isolata, per entrambi gli estensimetri, relative ai singoli step di taglio eseguiti, oltre alla lettura a tempo zero (L0 iniziale). In totale quattro misure per ogni estensimetro + L0;
- Indicazione di:
 - Condizioni di traffico;
 - Modalità di prova: PLE/trabattello o By Bridge.

NB: se eseguita mediante By Bridge, prendere nota del peso e della posizione longitudinale/trasversale del mezzo sull'impalcato (dei vari assi di carico rispetto giunto e filo cordolo esterno);

- Temperatura ambientale/punto di prova;
- Risultati di determinazione di modulo elastico E;
- documentazione fotografica.

E' richiesta la compilazione di una tabella di sintesi che leghi il flusso delle prove eseguite e sinteticamente il loro esito.

L'ESECUTORE dovrà utilizzare la tabella apposita desunta dall'Allegato 3, della quale se ne richiede anche la restituzione editabile in formato Excel .xls.

I report delle prove potranno essere forniti in allegato alla relazione tecnica, nonché tutti gli altri dati relativi all'attività di ripristino.

Le informazioni sopra rilevate dovranno essere inserite all'interno di una tabella riepilogativa (facendo riferimento al modello allegato alla presente Istruzione indicato al §1). Il codice di identificazione del punto di prova (§1.2.1) dovrà corrispondere a quello riportato in pianta e/o sezioni. L'ubicazione di ogni prova eseguita, su piante/sezioni rappresentanti gli elementi strutturali indagati, dovrà essere univocamente indicata mediante il corrispondente codice di identificazione riportato sul campione e punto di prova (§1.2.1).

Tutti i dati rilevati mediante prove diverse eseguite in successione (es. tracciato dell'armatura, postazioni e sezioni tomografiche, prove endoscopiche e saggi conoscitivi) devono essere identificati con le coordinate necessarie per poter definire univocamente la posizione, la sezione tomografica e il cavo indagato, anche in vista un possibile PIN integrativo.

I dati in comune tra le varie prove devono essere richiamati in ciascuna di queste (es. la prova endoscopica e/saggio conoscitivo deve richiamare la sezione tomografica di riferimento e viceversa).

Si precisa che il rilievo dell'armatura di precompressione, tranne per gli elementi in cui è espressamente richiesto, è svolto perché propedeutico alla prova di rilascio, di conseguenza non è richiesta la restituzione dell'intero sistema e dell'intero elemento strutturale, ma soltanto del punto di prova, atto a dimostrare la presenza di armatura.

Si riporta un esempio di dati da riportare su report e della tabella di sintesi:

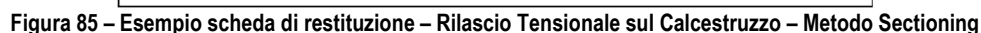


Figura 86 – Esempio scheda di restituzione – Compilazione tabella di sintesi All.3

7.7 Prove di durezza su acciaio armonico

7.7.1 Oggetto

La presente procedura ha come oggetto la definizione delle modalità di esecuzione delle misure di durezza superficiale (*Scala Brinell e Vickers*) su fili e fili di trefolo/trecce di acciaio armonico, con lo scopo di valutarne l'omogeneità e di stimarne la resistenza a trazione.

Le prove di durezza trattate sono relative a prove da eseguirsi in situ o a prove da eseguirsi in laboratorio.

7.7.2 Prove di durezza in situ – metodo RESISTIVO

Il metodo resistivo si basa sul principio Esatest, ovvero sulla misurazione della resistenza elettrica residua a seguito della penetrazione. Il metodo mette in relazione la penetrazione nel materiale della sonda con la variazione della resistenza elettrica residua della parte di penetratore non penetrato, che costituisce la grandezza fisica misurata. Dal valore di durezza, mediante le tabelle di conversione (norma ASTM A370 o UNI EN ISO 18265:2013), si stima la tensione di rottura dell'acciaio.

La misurazione della durezza, calcolata a partire dalla misura della variazione della resistenza elettrica residua, avviene già con carichi molto bassi e consente di generare impronte estremamente piccole.

Previo accordo e valutazione con il COMMITTENTE è possibile impiegare durometri portatili resistivi.

Tale applicazione sarà valutata per il caso specifico dove saranno concordate anche le modalità di prova (con riferimento al §4.6).

7.7.3 Prove di durezza in situ – metodo UCI

Nel presente paragrafo vengono indicate le modalità e la procedura di esecuzione delle prove di durezza svolte in situ, solitamente in punti cui è già stato o sarà eseguito uno scasso conoscitivo sull'armatura di precompressione (cui si rimanda per la procedura al §7.5).

La metodologia di prova ritenuta valida è la UCI (Ultrasonic Contact Impedance), ovvero quella che prevede l'impiego di durometri portatili con sonde ad ultrasuoni.

Il metodo UCI si basa sulla misurazione dello shift di frequenza generato dalla penetrazione di un diamante Vickers fissato alla punta di un'asta metallica che viene eccitata alla sua frequenza di risonanza di circa 78 kHz (oscillazioni longitudinali): appena il diamante penetra nella superficie di prova, la frequenza di risonanza dell'asta cambia subendo uno shift. La variazione di frequenza dipende dalla dimensione dell'impronta (A) sul materiale, a sua volta, funzione della sua durezza; l'altro parametro in gioco è il modulo elastico (E) del materiale. Tenuto conto di queste due grandezze (A, E), la centralina è in grado di misurare la variazione di frequenza e quindi calcolare la durezza del materiale.

Si precisa che l'esito della prova è fortemente connesso con la rugosità della superficie di prova: è quindi necessario prestare attenzione alle modalità di preparazione della stessa, come indicato di seguito. E' consigliata una rugosità superficiale Ra inferiore a 10 µm (per sonda da 50 N - ASTM 1038, §8.1), che si ritiene più facilmente ottenibile in sito. Eventualmente tale parametro può essere verificato con rugosimetro portatile.

7.7.3.1 Normativa di riferimento

- ASTM 1038 "Standard Test Method for Portable Hardness Testing by the Ultrasonic Contact Impedance Method"; UNI EN ISO 18265:2014 "Materiali metallici - Conversione dei valori di durezza";

- ASTM A370 "Standard Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products; La ASTM 1038 regola la prova secondo il metodo UCI, le norme UNI EN ISO 18625:2014 e ASTM A370 forniscono tabelle attraverso le quali è possibile convertire, stimandoli, i valori di durezza misurati in sito in valori di resistenza a rottura per trazione.

7.7.3.2 Strumentazione ed attrezzatura

- strumentazione e attrezzatura per esecuzione dei saggi indicati al §7.5;
- dremel elettrico con disco da taglio di diametro adeguato, dischi e frese per smerigliatura di diversa grana; si suggerisce l'impiego di teste angolari o orientabili;
- carta vetrata a grana 240 o superiore per finitura a lucido ($Ra \geq 2,5$);
- rugosimetro portatile (se richiesto);
- durometro portatile ad ultrasuoni (tipo Proceq Equotip, Novotest UCI T) avente:
 - o fondo scala di misura maggiore o uguale a 1000 HV o HB (distante dal valore medio di durezza atteso tipicamente di 450-500 HB o HV);
 - o sonda con carico su penetratore di almeno 50 N (o da impostare mediante software);
 - o il penetratore deve essere integro e pulito e la carica delle batterie della centralina deve essere maggiore o uguale al 25%;
 - o adattatori alla superficie di prova.

7.7.3.3 Modalità di prova

Operativamente la prova viene svolta secondo le seguenti modalità:

1. Esecuzione del saggio conoscitivo secondo la relativa procedura al §7.5, in base al tipo di sistema di precompressione. Solitamente le prove di durezza sono accorpate ai suddetti saggi, allo scopo di minimizzare il danno sull'elemento strutturale; nel caso in cui fosse richiesta la prova di durezza singolarmente, applicare solo i punti di tale procedura §7.5 indicanti le modalità di demolizione del copriferro e di ubicazione;
2. A saggio completato ed individuato il filo di prova, lavorazione della superficie del filo:
 - o smerigliare con grana grossa la superficie ricavando un tratto pianeggiante (di 5-6 cm);
 - o successivamente smerigliare la superficie ricavata con grana via via più piccola (lavorazioni successive da grana grossa a grana piccola). Eventuali lavorazioni finali di dettaglio con carta vetrata devono essere eseguite manualmente per non scaldare ulteriormente la superficie.

La superficie di prova dovrà essere quanto più lucida e liscia possibile, ovvero la rugosità deve essere minima e inferiore a $Ra\ 10\ \mu m$, come specificato dalla Norma di riferimento. In questa fase è consigliabile impiegare un dremel con testa angolare;
3. Verifica della funzionalità del durometro UCI eseguendo alcune letture di durezza sul blocchetto di riferimento per la durezza (tarati e aventi valori di durezza superiore a 500 HV o HB). La verifica va eseguita preliminarmente alla prima accensione dello strumento e nel caso subisse urti, fosse spento e riacceso, o dopo il trasporto, e qualora l'operatore nota elevata dispersione dei valori di durezza. Non procedere ad eseguire alcuna misura se la verifica non è superata.
 - o I durometri hanno una pre-calibrazione impostata in base al materiale e la scala di durezza scelta. L'utente può impostare una propria calibrazione durezza/tipo di materiale avendo a disposizione almeno 3 campioni di materiale la cui durezza è nota. Seguendo le impostazioni dello strumento è quindi possibile impostare una nuova correlazione tra la durezza misura e la durezza effettiva (nota);
4. Esecuzione delle misure: almeno 5 letture o, se si ha dispersione dei valori (è ritenuta accettabile una dispersione di ± 50 HB o HV), fino a 10 letture. Le letture devono essere eseguite su punti distanti,

sulla superficie lavorata, a più di 10 mm e NON vanno eseguite sullo stesso punto (presente già impronta):

- La sonda deve essere impugnata con entrambe le mani e pressata sul filo, fino al contatto e al completo rientro della punta del penetratore, in maniera lenta e impedendo le oscillazioni laterali ($\pm 5^\circ$ di inclinazione); raggiunto il punto di contatto, la sonda deve essere mantenuta con forza costante (circa 5 kg per sonda da 50N) ed ortogonale al punto per tutta la durata dell'acquisizione, la cui fine è solitamente annunciata da un bip dello strumento.

Per evitare lo svergolamento/scivolamento laterale della sonda impiegare adattatori di superficie e trovare una superficie di appoggio del dorso della mano;

5. Verifica dei risultati: calcolare il valore medio tra le 5 o le 10 letture (per acciaio armonico è atteso un valore tipico di durezza compreso tra 450 e 500 HV o HB) e verificarne la dispersione, sia tra le letture stesse sia rispetto il valore medio delle letture (è ritenuta accettabile una dispersione di ± 50 HB o HV). L'ESECUTORE deve registrare tutte le letture (quantità indicata al punto precedente), incluse quelle che risultano anomale.

I valori di durezza attesi per l'acciaio oggetto d'indagine, quando noti, possono essere indicati nel PIN. Nel caso in cui i valori di riferimento della durezza non siano in linea con quelli attesi o le letture dovessero essere eccessivamente dispersive occorre contattare il COMMITTENTE.

6. Conversione della durezza media in tensione di rottura (Mpa) impiegando la UNI 18265 oppure ASTM A370.

7. Ripristino del punto di prova secondo le modalità indicate nello schema Tipologici Ripristini Indagini ALLEGATO 1e documentazione fotografica.

Al termine della prima prova di durezza, andranno rapidamente condivisi con il COMMITTENTE i risultati prima di procedere con altre prove sulla stessa opera, al fine di verificarne l'attendibilità e, in caso negativo, decidere cosa possa essere cambiato a livello metodologico per risolvere le anomalie.



Figura 87 – Esempio lavorazione superficie del filo

7.7.4 Prove di durezza in laboratorio con durometro da banco

L'impiego di questa metodologia è preventivamente concordato con il COMMITTENTE, essendo richiesto il taglio di un filo di acciaio armonico. Per questo motivo, di solito, viene applicata in concomitanza alla prova di detensionamento del filo (§7.6.1.) e/o può essere seguita dal prelievo del filo (§7.8). Devono essere seguite preliminarmente tutte le modalità di prova specifiche per ogni tipologia e con rigore la modalità di prova del saggio conoscitivo (§7.5). Può essere richiesta quando le prove di durezza in sito danno esito negativo.

E' previsto il prelievo di un mini campione di filo di lunghezza di 2-3 cm, da sottoporre successivamente a prova di durezza con durometro da banco (in genere con penetratore da 98,07 N a diamante Vickers), in laboratorio e in condizioni stabili.

La prova in laboratorio è eseguita secondo la UNI EN ISO 6507-1:2018.

Per ricavare il mini campione è possibile procedere:

1. dalla testata dell'elemento strutturale, in particolare dagli ancoraggi dei cavi, nei sistemi post-tesi (nel caso di ancoraggio con fili/trefoli sporgenti oltre il bloccaggio, es. Freyssinet, Morandi...);
2. in occasione di saggi conoscitivi (es. in seguito a prova tomografica e durezza in sito) o degrading (su porzione di filo lucido), da un lato dell'elemento strutturale, seguita poi, in caso, dalla prova di detensionamento del filo (§7.6.1.) e/o dal prelievo del filo (§7.8).

Per l'esecuzione della prova devono essere seguite preliminarmente tutte le modalità di prova specifiche per l'esecuzione del saggio conoscitivo (§7.5) ed il taglio deve avvenire:

- Secondo le modalità indicate al (§7.6.1.4) se il filo di acciaio armonico è interessato da prova di detensionamento e/o prelievo per prova di trazione (§7.8). Sarà poi necessario ricavare dal campione principale, il mini campione di 2-3 cm (di cui dovrà tenersi conto nella lunghezza totale del campione da sottoporre a trazione);
- Se la prova è eseguita singolarmente: eseguire il taglio mediante l'utilizzo di dremel con testa angolare in due fasi:
 - Taglio estremità 1: consente di tagliare l'intero filo. Il taglio dovrà avvenire progressivamente, ovvero seguire "lo strappo" del filo evitando di esercitare eccessiva pressione sul disco che potrebbe intaccare i fili laterali.
 - Taglio estremità 2: si ricava il campione. Sollevare l'estremità del filo tagliata al Taglio 1, poi alla distanza di 2-3 cm dal lembo libero eseguire ulteriore taglio (Taglio 2) avendo cura di non intaccare i fili laterali (l'operazione di sollevamento del lembo libero dovrebbe limitare questo).

Il ripristino del punto di prova deve avvenire secondo le modalità indicate nello schema Tipologici Ripristini Indagini ALLEGATO 1.

Il provino ricavato deve essere catalogato (§1.2.1) a cura dell'ESECUTORE e trasportato in laboratorio.

7.7.5 Presentazione dei risultati

Per ogni elemento precompresso interessato da prova di durezza, in sito o da banco, dovrà essere prodotta una scheda contenente:

- sigla identificativa del punto di misura (§1.2.1);
- ubicazione in pianta e/o profili/sezioni del punto di misura con relativa sigla (§1.2.1), seguendo la modalità di ubicazione indicate per il saggio conoscitivo (§7.5);
- valori di durezza
 - riportare tutte le letture rilevate: minimo 5 letture o, per le durezza in sito UCI, 10 letture;
 - valore medio delle letture di durezza di cui sopra;
 - armatura di precompressione di prova (per elementi post-tesi, indicare il cavo di prova e distinguere i fili/trefoli testati);
- se la prova è eseguita contestualmente ad altre (es. saggio conoscitivo, durezza in sito UCI...), devono essere riportati i riferimenti di ognuna;
- documentazione fotografica della prova e del ripristino eseguito.

E' richiesta la compilazione di una tabella di sintesi che legghi il flusso delle prove eseguite e sinteticamente il loro esito.

L'ESECUTORE dovrà utilizzare la tabella apposita desunta dall'Allegato 3, della quale se ne richiede anche la restituzione editabile in formato Excel .xls.

I report delle prove potranno essere forniti in allegato alla relazione tecnica, nonché tutti gli altri dati relativi all'attività di ripristino.

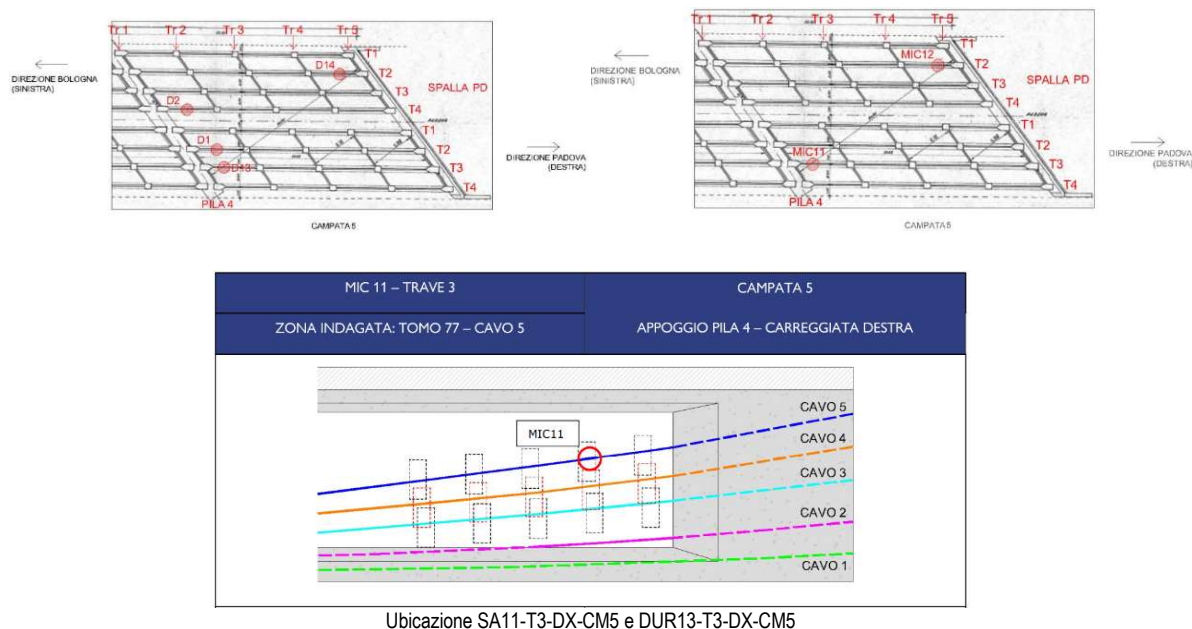
Le informazioni sopra rilevate dovranno essere inserite all'interno di una tabella riepilogativa (facendo riferimento al modello allegato alla presente Istruzione indicato al §1). Il codice di identificazione del punto di prova (§1.2.1) dovrà corrispondere a quello riportato in pianta e/o sezioni. L'ubicazione di ogni prova eseguita, su piante/sezioni rappresentanti gli elementi strutturali indagati, dovrà essere univocamente indicata mediante il corrispondente codice di identificazione riportato sul campione e punto di prova (§1.2.1).

Tutti i dati rilevati mediante prove diverse eseguite in successione (es. tracciato dell'armatura, postazioni e sezioni tomografiche, prove endoscopiche e saggi conoscitivi) devono essere identificati con le coordinate necessarie per poter definire univocamente la posizione, la sezione tomografica e il cavo indagato, anche in vista un possibile PIN integrativo.

I dati in comune tra le varie prove devono essere richiamati in ciascuna di queste (es. la prova endoscopica e/saggio conoscitivo deve richiamare la sezione tomografica di riferimento e viceversa).

Si precisa che il rilievo dell'armatura di precompressione, tranne per gli elementi in cui è espressamente richiesto, è svolto perché propedeutico alla prova di durezza, di conseguenza non è richiesta la restituzione dell'intero sistema e dell'intero elemento strutturale, ma soltanto del punto di prova, atto a dimostrare la presenza di armatura.

Si riporta un esempio di dati da riportare su report e della tabella di sintesi (da compilare per ogni prova svolta):



Esito prova di durezza in sito UCI DUR13-T3-DX-CM5

Figura 88 – Esempio scheda di restituzione – Prova di durezza in sito e riferimento al saggio

Carico applicato: 98,07 N (~10 kg)

Saggio	Posizione	Misure						Media	U(k=2)
GORZ. PTR. 1	nucleo	diagonale/mm	0,194	0,193	0,194	0,194	0,194	/	/
		HV10	494	500	493	492	495	495	12
GORZ. PTR. 2	nucleo	diagonale/mm	0,201	0,198	0,200	0,200	0,200	/	/
		HV10	460	471	465	462	463	464	11
GORZ. PTR. 3	nucleo	diagonale/mm	0,199	0,199	0,199	0,199	0,200	/	/
		HV10	468	470	466	469	465	468	11

Figura 89 – Esempio scheda di restituzione – Prova di durezza da banco

Figura 90 – Esempio scheda di restituzione – Tabella di sintesi (da compilare per ogni prova successiva se svolta) All.3

7.8 Prelievo e prova di trazione in laboratorio su acciaio armonico

7.8.1 Oggetto

Le indicazioni riportate nel presente paragrafo riguardano il prelievo in sito e la successiva prova di laboratorio di fili di acciaio armonico.

La prova viene solitamente accorpata a prove di detensionamento di fili e/o a prove di durezza in sito e/o prove di durezza da banco, per le cui modalità specifiche si rimanda ai relativi paragrafi.

Essendo una prova altamente impattante, questa deve essere concordata e autorizzata con il COMMITTENTE.

Si precisa che prima delle operazioni di campo, l'ESECUTORE è tenuto a comunicare al COMMITTENTE le dimensioni del campione necessarie e minime per poter eseguire le prove di trazione, sulla base delle caratteristiche della propria strumentazione. Non sono ammessi prelievi di campioni aventi lunghezza superiore a 50 cm, in particolar modo nel caso di armatura post-tesa.

7.8.2 Normativa di riferimento

- UNI EN ISO 6892-1:2020 “Materiali metallici – Prova di trazione – Parte 1: Metodo di prova a temperatura ambiente”;
- UNI EN ISO 15630-1:2019 “Acciaio per calcestruzzo armato e calcestruzzo armato precompresso – Metodi di prova – Parte 1: Barre, rotoli e fili per calcestruzzo armato”;
- UNI EN 10002-1:2004 “Materiali metallici. Prova di trazione. Metodo di prova (a temperatura ambiente);
- UNI 7676:2016 “Trecce a 2-3 fili e trefoli a 7 fili per calcestruzzo armato precompresso”
- NTC2018 §Cap.11.3.

7.8.3 Strumentazione ed attrezzatura

- strumentazione e attrezzatura per esecuzione dei saggi indicati al §7.5;
- dremel elettrico con disco da taglio di diametro adeguato, dischi e frese per smerigliatura di diversa grana; si suggerisce l'impiego di teste angolari o orientabili;

7.8.4 Modalità di prova

La prova di trazione è eseguita in laboratorio secondo le normative sopra indicate, sotto la cura e la responsabilità dell'ESECUTORE, il quale dovrà, inoltre, verificare ed accettare il campione, possibilmente ancora prima del prelievo. Non sono ammessi campioni corrosi e/o danneggiati ad esempio dalle operazioni di prelievo; quindi, l'ESECUTORE dovrà prestare massima cura nelle operazioni di prelievo.

La finalità della prova di trazione è quella di caratterizzare la resistenza dell'acciaio armonico, in particolare verificare che sia in linea con quella dichiarata ed impiegata nei calcoli di resistenza dell'elemento.

Per ogni campione è richiesto il **certificato di prova ai sensi della circolare 7617/STC**, determinando almeno:

- f_{pt} , tensione di rottura al carico massimo;
- $f_p (0,1\%)$, tensione allo 0,1% di deformazione residua (scostamento dalla proporzionalità);
- $f_p (1\%)$, tensione all'1% di deformazione totale;
- A_{gt} , allungamento totale sotto carico massimo;

Oltre ad indicare il diametro (nominale ed equivalente), nel certificato di prova dovranno essere riportati anche la sezione (nominale ed equivalente), la massa e la lunghezza del campione.

Nel caso di armatura di precompressione a fili paralleli è previsto il prelievo dei singoli fili, nelle modalità e nei punti indicati nel PIN. La lunghezza del campione è di massimo 50 cm, in particolar modo nel caso di armatura post-tesa.

Nel caso di armatura di precompressione a trefoli/trecce è previsto il prelievo dell'intera armatura, nelle modalità e nei punti indicati nel PIN, ma la prova verrà eseguita sui singoli fili, scegliendoli in buono stato e in numero pari a: n.1 filo esterno e n.1 interno centrale, per un totale di minimo n.2 per trefolo/treccia. La lunghezza del campione è di massimo 50 cm, in particolar modo nel caso di armatura post-tesa.

Indicazioni più specifiche potrebbero essere riportate nel PIN e/o in accordo con il COMMITTENTE.

Per eseguire il prelievo del campione è necessario demolire il calcestruzzo di copriferro ed effettuare un saggio, per cui si rimanda al §7.5 per le modalità specifiche di prova; successivamente:

- l'ESECUTORE verifica che il campione da prelevare non sia corrosivo e/o danneggiato ad esempio dalle operazioni di prelievo, in caso contrario non è possibile fare il prelievo;
- se il filo di acciaio armonico è interessato anche da prova di detensionamento, procedere alla suddetta prova ed eseguire i tagli secondo le modalità indicate al §7.6.1.4.
NB: se è prevista anche una prova di durezza da banco, sarà poi necessario ricavare dal campione principale il mini campione di 2-3 cm (di cui dovrà tenersi conto nella lunghezza totale del campione da sottoporre a trazione);
- se il filo di acciaio armonico non è interessato da altre prove, eseguire il taglio mediante l'utilizzo di dremel con testa angolare in due fasi:
 - Taglio estremità 1: consente di tagliare l'intero filo. Il taglio dovrà avvenire progressivamente, ovvero seguire "lo strappo" del filo evitando di esercitare eccessiva pressione sul disco che potrebbe intaccare i fili laterali.
 - Taglio estremità 2: si ricava il campione. Sollevare l'estremità del filo tagliata al Taglio 1, poi alla distanza di 50 cm dal lembo libero eseguire ulteriore taglio (Taglio 2) avendo cura di non intaccare i fili laterali (l'operazione di sollevamento del lembo libero dovrebbe limitare questo).

Il ripristino del punto di prova deve avvenire secondo le modalità indicate nello schema Tipologici Ripristini Indagini ALLEGATO 1.

Il provino ricavato deve essere catalogato (§1.2.1) a cura dell'ESECUTORE e trasportato in laboratorio.

7.8.5 Presentazione dei risultati

Per ogni elemento precompresso interessato dal prelievo e prova di trazione di fili di acciaio armonico, dovranno essere forniti i seguenti dati:

- sigla identificativa del punto di misura (§1.2.1);
- ubicazione in pianta e/o profili/sezioni del punto di misura con relativa sigla (§1.2.1), seguendo la modalità di ubicazione indicate per il saggio conoscitivo (§7.5);
- indicazioni e riferimenti relativi alle altre eventuali prove eseguite (es. detensionamento e/o prove di durezza), ognuna secondo le modalità specifiche;
- per ogni campione è richiesta la determinazione e **certificazione ai sensi della circolare 7617/STC** di:
 - f_{pt} , tensione di rottura al carico massimo;
 - $f_p (0,1\%)$, tensione allo 0,1% di deformazione residua (scostamento dalla proporzionalità);
 - $f_p (1\%)$, tensione all'1% di deformazione totale;

- A_{gt} , allungamento totale sotto carico massimo;
- note a corredo della prova (tipo filo, difetti del campione, anomalie di prova...);
- diametro, sezione, massa e lunghezza del campione;
- documentazione fotografica della prova e del ripristino eseguito.

E' richiesta la compilazione di una tabella di sintesi che leghi il flusso delle prove eseguite e sinteticamente il loro esito.

L'ESECUTORE dovrà utilizzare la tabella apposita desunta dall'Allegato 3, della quale se ne richiede anche la restituzione editabile in formato Excel .xls.

Le prove di trazione su acciaio armonico dovranno essere certificate ai sensi della Circolare 7617/STC e i certificati delle prove dovranno essere forniti in allegato alla relazione tecnica, nonché tutti gli altri dati relativi all'attività di ripristino.

Le informazioni sopra rilevate dovranno essere inserite all'interno di una tabella riepilogativa (facendo riferimento al modello allegato alla presente Istruzione indicato al §1). Il codice di identificazione del punto di prova (§1.2.1) dovrà corrispondere a quello riportato in pianta e/o sezioni. L'ubicazione di ogni prova eseguita, su piante/sezioni rappresentanti gli elementi strutturali indagati, dovrà essere univocamente indicata mediante il corrispondente codice di identificazione riportato sul campione e punto di prova (§1.2.1).

Tutti i dati rilevati mediante prove diverse eseguite in successione (es. tracciato dell'armatura, postazioni e sezioni tomografiche, prove endoscopiche e saggi conoscitivi) devono essere identificati con le coordinate necessarie per poter definire univocamente la posizione, la sezione tomografica e il cavo indagato, anche in vista un possibile PIN integrativo.

I dati in comune tra le varie prove devono essere richiamati in ciascuna di queste (es. la prova endoscopica e/saggio conoscitivo deve richiamare la sezione tomografica di riferimento e viceversa).

Si precisa che il rilievo dell'armatura di precompressione, tranne per gli elementi in cui è espressamente richiesto, è svolto perché propedeutico alla prova di durezza, di conseguenza non è richiesta la restituzione dell'intero sistema e dell'intero elemento strutturale, ma soltanto del punto di prova, atto a dimostrare la presenza di armatura.

Si riporta un esempio di dati da riportare su certificato e della tabella di sintesi:

Identificativo		Prova a trazione						
N°	\varnothing_{nom} (t) / Sigla	Peso (g/ml)	\varnothing effettivo ⁽²⁾ (mm)	Area effettiva (mm ²)	Allunga.to a Fm Agt (%)	Tensione all' 0,1% (3) $f_{p0.1}$ (N/mm ²)	Tensione di rottura f_{pt} (N/mm ²)	Posizione
Sigla Campione : PTR-1_S_C01_Tv01_ApB; Ubicazione dei campioni : IMPALCATI - Travi;								
Posizione in opera : TV01 - Sinistra; Prelievo del 31/05/2023; "Trefolo"								
19	4 / 12403 - 19 H	110,38	4,23	14,06	3,93	1606,97	2006,37	Filo Centrale
	4 / 12403 - 20 H	104,49	4,12	13,31	4,80	1488,46	1814,66	Filo Perimetrale
	4 / 12403 - 21 H	105,06	4,13	13,39	4,25	1469,26	1804,88	Filo Perimetrale
	4 / 12403 - 22 H	105,68	4,14	13,47	4,17	1582,66	1911,99	Filo Perimetrale
	4 / 12403 - 23 H	104,55	4,12	13,32	4,80	1534,36	1838,47	Filo Perimetrale
	4 / 12403 - 24 H	105,22	4,13	13,41	4,19	1501,97	1895,26	Filo Perimetrale
	4 / 12403 - 25 H	106,00	4,15	13,51	3,58	1662,38	2041,74	Filo Perimetrale
Sigla Campione : PTR-2_D_C02_Tv04_ApB; Ubicazione dei campioni : IMPALCATI - Travi;								
Posizione in opera : TV04 - Destra; Prelievo del 09/06/2023; "Trefolo"								
21	4 / 12403 - 27 H	110,80	4,24	14,12	4,15	1613,94	1813,94	Filo Centrale
	4 / 12403 - 28 H	105,45	4,14	13,44	4,07	1456,34	1827,00	Filo Perimetrale
	4 / 12403 - 29 H	105,74	4,14	13,47	4,10	1500,13	1913,73	Filo Perimetrale
	4 / 12403 - 30 H	105,56	4,14	13,45	3,59	1469,43	1887,00	Filo Perimetrale
	4 / 12403 - 31 H	105,85	4,14	13,49	3,56	1511,24	1950,75	Filo Perimetrale
	4 / 12403 - 32 H	105,28	4,13	13,41	3,66	1638,80	1955,03	Filo Perimetrale
	4 / 12403 - 33 H	106,01	4,15	13,51	3,54	1595,91	2006,36	Filo Perimetrale

Osservazioni: il filo 2 presenta sogni di scalfitura

[illegible]

Figura 92 – Esempio scheda di restituzione – Tabella di sintesi (da compilare per ogni prova successiva se svolta) All.3

7.9 Prove su malte di iniezione cavi

7.9.1 Oggetto

La valutazione della composizione della malta di iniezione e dell'eventuale contenuto di inquinanti è di primaria importanza per la corretta stima della probabilità di corrosione dell'armatura di precompressione, secondo quanto indicato da **CS 465 - Management of Post-Tensioned Concrete Bridges (2020)** e da **IO22** (§1.3 della presente Istruzione).

A fronte di situazioni particolari di corrosione dell'armatura di precompressione post-tesa, se non previste nella prima fase della campagna d'indagine, il COMMITTENTE potrà richiedere un'integrazione delle indagini già pianificate con altrettante finalizzate alla stima della probabilità di corrosione dell'armatura di precompressione.

La probabilità di corrosione, dunque, può essere stimata tramite la misura delle seguenti caratteristiche della malta di iniezione:

- 1 Contenuto di cemento.
- 2 Concentrazione di ioni cloruro.
- 3 Concentrazione di ioni solfato.
- 4 Alcalinità.
- 5 Contenuto di umidità.

7.9.2 Modalità di prova

In accordo con il COMMITTENTE ed indicato nel PIN, l'esecutore dovrà prelevare un numero di campioni di malta di iniezione di dimensione adeguata a poter eseguire le prove richieste (tutte o parte di quelle sopra indicate), garantendo la sua corretta conservazione fino all'esecuzione della prova.

Il prelievo dei campioni di malta deve essere preceduto dall'esecuzione di un saggio, per le cui modalità si rimanda al §7.5 e a cui l'ESECUTORE dovrà attenersi.

Le prove di laboratorio devono avvenire secondo le normative e modalità già richiamate per il calcestruzzo (§4.7-4.8-4.9-4.10) e:

- Per quanto riguarda la determinazione del contenuto di cemento, parametro che contribuisce in misura importante alla determinazione dell'alcalinità della miscela, questa può essere fatta con le modalità descritte dallo standard americano "ASTM C1084 - 19 Standard Test Method for Portland-Cement Content of Hardened Hydraulic-Cement Concrete" o dalla "BS 1881-124:2015+A1:2021 Testing Concrete - Methods for analysis of hardened concrete".
- Per quanto riguarda l'alcalinità, si procederà alla determinazione del pH, in quanto più semplice da gestire e di più rapida valutazione.
- Per quanto riguarda la determinazione del contenuto di umidità, questa può essere svolta anche in maniera indiretta in sito, mediante igrometro portatile per materiali.

Tutte le prove di laboratorio e/o in situ e le modalità di esecuzione/campionamento per determinare le suddette caratteristiche della malta di iniezione, devono essere preventivamente concordate con il COMMITTENTE.

8 Indagini per strutture in muratura

Di seguito si riportano le indagini che potranno essere richieste sulle strutture in murature nell'ambito delle infrastrutture autostradali in gestione ASPI. Verranno trattate le indagini per la caratterizzazione dei dettagli costruttivi, le indagini per la caratterizzazione meccanica, le indagini per la caratterizzazione chimico-fisica, in coerenza con il processo conoscitivo della normativa vigente (§8 NTC2018 e §C8 della Circolare).

8.1 Indagini per la caratterizzazione dei dettagli costruttivi

Gli elementi resistenti in muratura sono composti dalla giustapposizione di blocchi naturali o artificiali e malta, generalmente di calce o cementizia. La sezione resistente può essere realizzata con uno o più paramenti accostati e, nel caso peggiore, con un sacco interno di riempimento, di materiale scadente interposto tra i paramenti.

I paramenti possono non essere collegati tra di loro.

I dettagli costruttivi di interesse ai fini della valutazione di sicurezza dell'opera possono essere:

- Classificazione della tipologia di muratura impiegata (blocchi e malta)
- Tessitura muraria ed eventuale presenza di ricorsi/listature
- Numero di paramenti, presenza di sacco di riempimento, collegamento tra i paramenti
- Presenza di interventi di consolidamento
- Ammorsamento degli incroci murari
- Dissesti, deformazioni e fenomeni di degrado in genere

Il rilievo dei dettagli costruttivi viene tipicamente eseguito mediante le seguenti tecniche di indagine:

- Esecuzione di saggi conoscitivi
- Esecuzione di videoendoscopie
- Esecuzione di termografia ad infrarossi
- Esecuzione di rilievo georadar

8.1.1 Saggi conoscitivi e video-endoscopie

Il saggio conoscitivo viene svolto su strutture murarie in cui è presente intonaco o rivestimento e consente di raggiungere la muratura sottostante; si identifica quindi come una tecnica semi-distruttiva.

Nei punti indicati nel PIN, è richiesta la scarifica dell'intonaco o del rivestimento rendendo faccia vista la muratura: per le modalità di svolgimento e per le attrezzature richieste è possibile fare riferimento al §4.4. La porzione di muratura da indagare è tipicamente di 1x1 m².

Il caso di saggio su muratura, ovvero quando è necessario coinvolgere anche la sezione resistente muraria per raggiungere profondità maggiori, va concordato preventivamente con il COMMITTENTE.

Mediante il saggio conoscitivo dovrebbero essere individuati:

- La tipologia di muratura impiegata (blocchi e malta)
- La tessitura muraria e l'eventuale presenza di ricorsi/listature
- La presenza di interventi di consolidamento
- L'ammorsamento degli incroci murari
- L'eventuale presenza di dissesti, deformazioni e fenomeni di degrado in genere (lesioni, vuoti sui letti di malta, mancanze di materiali, erosioni e decalcificazioni...)

L'ESECUTORE fornirà i dettagli ricavati in apposita tavola avendo cura di indicarne la posizione (in pianta ed in sezione) rispetto ad un punto noto, il tutto corredato da rilievo fotografico di dettaglio.

Il saggio conoscitivo è un'indagine di tipo superficiale, qualora fosse necessario investigare l'interno della sezione muraria è possibile impiegare l'indagine video-endoscopica.

Nei punti indicati nel PIN e fino alla profondità qui indicata, è richiesta l'esecuzione di un foro attraverso il quale deve essere inserito un endoscopio dotato di fotocamera HD: per le modalità di svolgimento e per le attrezzature richieste è possibile fare riferimento al §4.4.

In sostituzione del foro solitamente eseguito con trapano a percussione e punta dal diametro di 30 mm, è possibile eseguire un carotaggio continuo al fine di raggiungere un diametro del foro superiore al primo (es. 50 mm): questi casi particolari dovranno essere preventivamente concordati con il COMMITTENTE.

Mediante l'indagine video-endoscopica svolta in profondità dovrebbero essere individuati:

- Numero di paramenti, presenza di sacco di riempimento, collegamento tra i paramenti
- Presenza di interventi di consolidamento profondi (es. iniezioni)
- Ammorsamento tra gli elementi murari
- Dissesti, deformazioni e fenomeni di degrado in genere

L'ESECUTORE fornirà i dettagli ricavati in apposita tavola avendo cura di indicarne la posizione (in pianta ed in sezione) rispetto ad un punto noto, il tutto corredato da rilievo fotografico di dettaglio.

8.1.2 Termografia ad infrarossi

Normativa di riferimento

- UNI EN 16714-1:2016 Prove non distruttive - Prove termografiche - Parte 1: Principi generali
- UNI EN 16714-2:2016 Prove non distruttive - Prove termografiche - Parte 2: Strumentazione
- UNI EN 16714-3:2016 Prove non distruttive - Prove termografiche - Parte 3: Termini e definizioni

E' richiesta la qualifica di 2° livello degli operatori secondo la norma UNI EN ISO 9712 "Prove non distruttive – Qualificazione e certificazione del personale addetto alle prove non distruttive" aggiornamento del 2022.

Modalità di svolgimento e finalità.

La termografia IR misura la radiazione infrarossa emessa da un corpo determinandone la temperatura superficiale. Ad ogni zona indagata, vengono associate delle mappe di colore rappresentative delle zone indagate: ad ogni colore corrisponde una temperatura superficiale. I singoli elementi (pietra, malta e mattone) si portano ad una diversa temperatura in funzione delle loro proprietà termiche (calore specifico e conducibilità termica), emettendo un flusso di energia in accordo con la legge di Stefan-Boltzmann in funzione della temperatura raggiunta ed emissività.

I vari materiali possono avere differenti temperature superficiali così come, eventualmente, i degradi: quindi la mappatura della temperatura superficiale è fondamentale per poter valutare i materiali e lo stato di conservazione degli stessi.

La termografia IR verrà svolta su più ampie porzioni della struttura, indicate nel PIN, al fine di eseguire una mappatura complessiva e di individuare dei punti di attenzione.

Dalla mappatura complessiva sarà possibile valutare la tessitura muraria ed i dettagli costruttivi, mentre i punti di attenzione potrebbero essere ricondotti a difetti e fenomeni di degrado in genere, in cui è necessario un approfondimento ad esempio mediante saggi.

L'ESECUTORE in possesso della qualifica di 2° livello sopra indicata fornirà l'interpretazione dei termogrammi avendo cura, possibilmente, di associare le varie anomalie termiche alla tipologia di muratura impiegata, alla tessitura muraria, alla presenza di interventi di consolidamento, all'ammorsamento tra le murature ed ai fenomeni di degrado in genere.

I dettagli ricavati dovranno essere riportati in apposita tavola avendo cura di indicarne la posizione (in pianta ed in sezione) rispetto ad un punto noto, il tutto corredato da rilievo fotografico di dettaglio e relativi termogrammi.

8.1.3 Rilievo georadar

Le indagini mediante georadar trovano applicazione anche nell'esecuzione di rilievi sulle strutture in muratura. I principi e le tecniche su cui si basano sono gli stessi descritti ai §2.3 - §4.4 - §7.1, a cui si deve fare riferimento. L'impiego della tecnica georadar, come per la termografia IR, costituisce un modo per definire zone di attenzione (disomogeneità, difetti...) sulle quali svolgere approfondimenti, ad esempio mediante l'applicazione di saggi conoscitivi.

Possono essere impiegate onde ad alta e bassa frequenza oppure segnali multifrequenza, permettendo di individuare materiali di qualsiasi natura, di rilevare fratture, cavità, discontinuità, disomogeneità, presenza di umidità..., presenti all'interno delle murature esaminate.

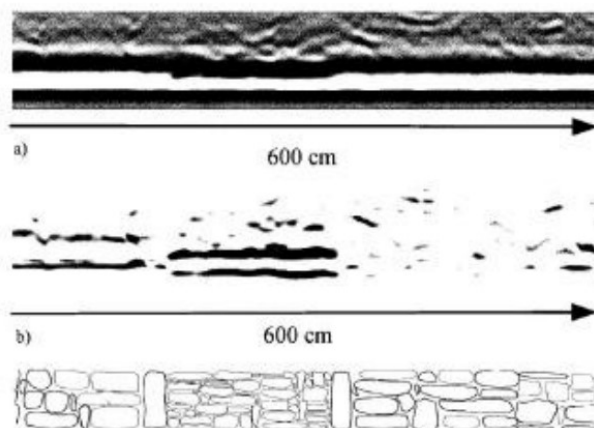


Figura 93 – Indagine Georadar su paramento murario

E' richiesto all'ESECUTORE di riportare tutte le sezioni radar rilevate, alla stessa maniera di quanto indicato ai §2.3 - §4.4 - §7.1. In particolare, in queste dovranno essere evidenziate chiaramente tutti i segnali che potrebbero essere ricondotti a difetti e discontinuità, nonché alla tessitura muraria.

8.2 Indagini per la caratterizzazione delle proprietà meccaniche complessive della muratura

8.2.1 Prove in situ con martinetto piatto singolo e doppio

Normativa di riferimento

- ASTM C1196-14a Standard Test Method for In Situ Compressive Stress Within Solid Unit Masonry Estimated Using Flatjack Measurements.
- ASTM C1197-14a Standard Test Method for In Situ Measurement of Masonry Deformability Properties Using the Flatjack Method.
- Raccomandazioni RILEM

Attrezzature

- Sega circolare (moto-troncatrice con motore a scoppio) per l'esecuzione dei tagli nella muratura;
- Set di basette piatte circolari o spinotti forati da incollare alla muratura e costituire le basi di lettura;
- Attack gel o resina per l'incollaggio delle basette;
- Set di martinetti piatti semi-ovali calibrati completi di certificato di taratura;
- Pompa elettrica o manuale;
- Manometri di alta e bassa pressione, collegati alla pompa idraulica ed ai martinetti;
- Deformometro millesimale in acciaio con meccanica lineare di alta precisione munito di barra di taratura e dima per la misura degli spostamenti;
- Minute di prova;
- Endoscopio.

Modalità di svolgimento e finalità

E' raccomandata l'analisi del punto di prova con particolare riferimento al contrasto nella sua porzione superiore (carico), il quale deve essere sufficiente a non consentire il sollevamento della porzione di struttura.

Per tale motivo devono essere evitate zone di sommità o di spigolo degli elementi strutturali da indagare.

Nel PIN verrà indicato se la prova dovrà essere svolta impiegando il singolo martinetto piatto seguito dal doppio martinetto oppure impiegando il singolo martinetto piatto o il doppio martinetto piatto.

L'ESECUTORE della prova dovrà attenersi alle specifiche modalità di prova definite nelle norme di riferimento, avendo cura di scegliere dei punti di prova adeguati alle geometrie richieste nelle specifiche di prova (distanza tra i martinetti, posizione delle basi di misura...).

L'impiego del martinetto piatto singolo permette di misurare in situ la tensione di compressione di esercizio presente in una determinata zona della muratura, a partire dal principio che il taglio provoca una variazione dello stato tensionale con un rilascio delle tensioni: si ha quindi una parziale chiusura del taglio rilevata tramite misure di distanza relativa fra coppie di punti (realizzate con le basette e misurate con deformometro).

Successivamente applicando una pressione graduale con il martinetto si provoca l'allargamento del taglio riportandolo fino alla configurazione pre-taglio (ottenuta verificando la coincidenza delle misure di distanza prima del taglio e dopo il taglio).

La prova può essere svolta singolarmente con un unico martinetto quando la finalità è la misura della tensione di compressione di esercizio in situ; qualora la finalità fosse anche quella di valutare le caratteristiche meccaniche ed elastiche della muratura si procederà impiegando un ulteriore martinetto piatto (si passa quindi alla prova con martinetto piatto doppio).

L'impiego del martinetto piatto doppio può avvenire in successione all'impiego del singolo martinetto piatto, come spiegato sopra, oppure direttamente, quando si ha la sola finalità di valutare le caratteristiche meccaniche ed elastiche della muratura. La valutazione delle caratteristiche di resistenza dipende dal sistema di carico (pressione) che deve permettere, in caso di muratura di ottime caratteristiche, di raggiungere pressioni elevate maggiori di 60 bar.

La prova, quindi, consiste nell'effettuare due tagli nella muratura paralleli tra loro (a distanza compresa tra L e $1,5L$, dove L è la lunghezza del martinetto) ed inseriti i due martinetti piatti, che messi in pressione con il sistema idraulico applicano alla porzione di muratura interposta uno stato di sollecitazione monoassiale; è possibile quindi determinare la curva carico - deformazione (con deformometro sulle almeno 4 coppie di basette). La prova prosegue fino ad una pressione uguale o prossima alla tensione di rottura della muratura.

E' suggerito all'ESECUTORE di eseguire almeno 2 cicli di carico e scarico per assestare il martinetto senza superare i 5-10 bar e dal terzo ciclo eseguire la prova vera e propria.

E' richiesto all'ESECUTORE di riportare nel report:

- Planimetria del punto di prova (in pianta ed in sezione), ubicato rispetto ad un punto noto
- Curve carico-deformazione con tutte le letture relative rilevate in formato tabellare (esplicitando i tempi da cui evincere la durata degli step di carico), con evidenza della lettura prima del taglio e dopo il taglio (piatto singolo) e con indicazione esplicita se il carico raggiunto è stato prossimo a quello di rottura della muratura (piatto doppio)
- Esaustivo report fotografico della prova

8.2.2 Prove di compressione in laboratorio su carote di muratura prelevate in situ

Normativa di riferimento

Oltre alle norme richiamate al §4.1 in merito al prelievo di carote, si può assumere come utile riferimento la norma Fiche UIC 778-3E, che regola la prova di compressione su carota di muratura.

Modalità di svolgimento e finalità

La prova di compressione su un campione cilindrico di muratura viene svolta in laboratorio, previa estrazione in situ della carota con direzione di sondaggio perpendicolare alle linee di forza presenti.

Si raccomanda all'ESECUTORE la massima cura nell'estrazione del campione evitando di scompattarlo danneggiando i letti di malta. Qualora il prelievo non garantisca l'estrazione di un campione integro, l'ESECUTORE dovrà avvisare tempestivamente il COMMITTENTE.

La carota deve avere diametro (d) almeno 150 mm e la lunghezza (L) almeno pari al diametro; il carotaggio deve avvenire su punti tali che la ripartizione in pietre/blocchi e malta dei giunti sia più rappresentativa possibile della muratura in opera.

La prova si svolge esercitando una compressione laterale (simile ad una prova di trazione indiretta su calcestruzzo) previa regolarizzazione delle zone di appoggio delle piastre in modo che il provino appoggi su tutta superficie. In questo modo si applica il carico nella stessa direzione di sollecitazione della muratura in opera.

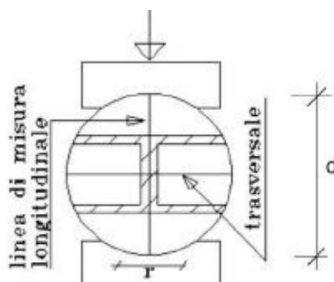


Figura 94 – Prova di compressione su carota

La resistenza alla compressione viene determinata applicando al campione un carico di crescente fino alla rottura e che produce una tensione crescente nell'unità di tempo di circa 1/120 del valore della tensione di rottura prevedibile.

La resistenza a compressione del campione di muratura viene espressa come rapporto tra la forza F di rottura e l'area della sezione orizzontale $d \times L$.

Le norme forniscono successive indicazioni per valutazione più precisa delle resistenze ed eventualmente dei parametri di deformabilità.

E' richiesto all'ESECUTORE la produzione di un report di prova che dovrà contenere almeno:

- Sigla del provino, ubicazione del prelievo in pianta ed in sezione rispetto punti noti
- Descrizione della muratura estratta e di eventuali difetti
- Misure di Diametro (mm) e Lunghezza (mm) e sezione di carico (mm²)
- Massa (kg)
- Carico di rottura (kN) e tensione di rottura (N/mm²)
- Anomalie di prova
- Esaustivo report fotografico

Quanto riportato al §4.1.8 relativamente alla prova di compressione per calcestruzzi può essere assunto come utile riferimento.

8.2.3 Prove shove-test o di taglio-scorrimento in situ

Normativa di riferimento

- RILEM TC 177- MDT
- RILEM 127 D.6 - "Shove test"

Modalità di svolgimento e finalità

La prova di taglio diretto è finalizzata alla determinazione del valore medio di resistenza a taglio scorrimento in situ.

La prova consiste nel far slittare orizzontalmente il blocco (naturale o artificiale), opportunamente isolato ai lati dalla muratura circostante, applicando una forza orizzontale con uno o due martinetti opportunamente inseriti nella muratura e misurando gli spostamenti orizzontali con un deformometro su basi di misura. La prova prosegue fino a raggiungere la rottura per evidente scorrimento a livello di giunto.

La resistenza a taglio viene quindi calcolata sulla base dell'area lorda della giuntura (letto di malta, superiore e inferiore), presupponendo che questa sia pienamente riempita, e nota la forza di scorrimento orizzontale.

La prova può essere eseguita secondo due metodi, A e B:

- Il metodo A si avvale dell'utilizzo di due martinetti piatti, posti sopra e sotto la zona interessata dalla prova, per il controllo dello stato di compressione del campione durante lo svolgimento della prova.
- Il metodo B la compressione del provino non viene controllata ma ne viene stimata l'entità, anche mediante la prova con martinetto piatto singolo.

Se non diversamente indicato nel PIN, è prescritta la prova mediante il metodo B.

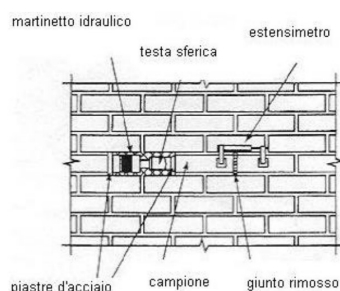


Figura 95 – Prova di taglio scorrimento

E' richiesto all'ESECUTORE la produzione di un report di prova che dovrà contenere almeno:

- Planimetria del punto di prova (in pianta ed in sezione), ubicato rispetto ad un punto noto
- Curva carico orizzontale-spostamento orizzontale con tutte le letture relative rilevate in formato tabellare (esplicitando i tempi da cui evincere la durata degli step di carico), con:
 - evidenza della prima lettura a carico nullo, forza,0 (kN) e spostamento,0 (mm)
 - evidenza della lettura finale di rottura, forza,max (kN) e spostamento,max (mm)
- Qualora eseguita, indicazione della tensione di esercizio misurata (es. tramite martinetto piatto singolo)
- Misura dell'area di scorrimento, ovvero delle dimensioni BxL del letto di malta (mm²)
- Esaustivo report fotografico della prova

8.3 Indagini per la caratterizzazione delle proprietà meccaniche dei singoli componenti della muratura

Lo scopo di tali prove è quello di determinare le singole resistenze a compressione degli elementi costituenti la muratura (blocchi, malta) allo scopo di stimarne le proprietà meccaniche complessive d'insieme mediante, di solito, metodi analitici di combinazione. A differenza del paragrafo precedente, in cui le prove fornivano direttamente la stima complessiva delle proprietà. Le indicazioni in merito alla scelta del tipo di prova sono fornite nel PIN.

La sezione di muratura nel suo comportamento d'insieme ha caratteristiche meccaniche intermedie tra quelle dei blocchi e quelle della malta e sarà cura del PRG impiegare il metodo più opportuno per la loro combinazione.

Le prove sui singoli componenti costituenti la muratura possono essere:

- Per i blocchi (artificiali o naturali):
 - Prove per la caratterizzazione della resistenza meccanica, mediante prove di laboratorio o prove in sito
- Malta:
 - Prove per la caratterizzazione della resistenza meccanica, mediante prove di laboratorio o prove in sito
 - Prove per la caratterizzazione chimico-fisica

Nei paragrafi successivi verranno trattate singolarmente le varie indagini.

Si raccomanda all'ESECUTORE la massima cura nell'estrazione e nel maneggio dei campioni estratti, preservando la loro integrità, ma anche quella del punto di prova. Particolare cura deve essere esercitata durante i tagli o demolizioni per assicurare che non disturbino il comportamento strutturale dell'elemento. Se lo stato di tensione/deformazione del provino è rilevante, prima e dopo l'asportazione del campione, devono essere misurati gli spostamenti nelle immediate vicinanze della zona interessata. Questo rende possibile valutare lo stato di tensione nella muratura e, se necessario, ricrearlo in laboratorio.

Il ripristino dei punti di prova dovrà essere concordato prima dell'avvio delle indagini con il COMMITTENTE, nelle modalità e nei materiali da impiegare a cura dell'ESECUTORE.

8.3.1 Indagini per la caratterizzazione delle proprietà meccaniche dei blocchi (artificiali o naturali)

8.3.1.1 Prove di laboratorio di resistenza a compressione

Normativa di riferimento

- UNI EN 772-1:2015 "Metodi di prova per elementi per muratura – Parte 1: Determinazione della resistenza a compressione"
- UNI EN 771-1:2015 "Specifica per elementi per muratura - Parte 1: Elementi di laterizio per muratura"

Modalità di svolgimento e finalità

L'estrazione del blocco, sia esso naturale sia esso artificiale, dal complessivo pannello di muratura prevede che venga prelevato integro e con le sue dimensioni originali, quando possibile in base alle condizioni del sito, per produrre il minor disturbo possibile. Successivamente il campione viene lavorato in laboratorio per ottenere il

provino in base alla specifica normativa di prova (es. taglio delle facce laterali, regolarizzate, rette e perpendicolari tra di loro).

L'ESECUTORE dovrà fornire un **certificato di prova** (ai sensi della circolare 7617/STC) che dovrà contenere almeno:

- Sigla del provino, ubicazione del prelievo in pianta ed in sezione rispetto punti noti
- Descrizione del campione estratto e di eventuali difetti
- Descrizione del provino ricavato: dimensioni principali (mm) e sezione di carico (mm²)
- Massa (kg)
- Carico di rottura (kN) e tensione di rottura (N/mm²)
- Anomalie di prova
- Esaustivo report fotografico

Quanto riportato al §4.1.8 relativamente alla prova di compressione per calcestruzzi può essere assunto come utile riferimento.

8.3.1.2 Prove sclerometriche in sito

Le prove sclerometriche in sito sono svolte su elementi lapidei di origine naturale e determinano la loro durezza superficiale.

Normativa di riferimento

- ASTM D 5873-05 "Standard Test Method for Determination of Rock Hardness by Rebound Hammer Method"

Modalità di svolgimento e finalità

L'attrezzatura impiegata è lo sclerometro meccanico per roccia, uno strumento in grado di restituire, alla stessa maniera dello sclerometro per calcestruzzi (§4.5.8), il valore dell'indice di rimbalzo (che dipende dalla durezza superficiale del materiale testato) da associare, attraverso la curva di correlazione, alla resistenza a compressione del blocco lapideo.

Per gli scopi previsti nella presente Istruzione, l'applicazione della prova sclerometrica in sito è finalizzata alla valutazione dell'omogeneità e, in caso di curva di correlazione opportunamente calibrata, alla stima della resistenza a compressione del materiale lapideo. Nel caso di curva di correlazione non calibrata, ovvero in assenza di prove di resistenza a compressione svolte in laboratorio su campioni per i quali è nota la durezza superficiale ovvero l'indice di rimbalzo, il valore della resistenza a compressione assume un valore puramente indicativo.

Per lo svolgimento della prova, la preparazione della superficie e la procedura di prova, l'ESECUTORE deve attenersi alla specifica normativa di prova, avendo cura, nell'esecuzione delle 10 battute, di valutare la dispersione dei valori; se la dispersione è elevata, verificare la superficie di prova, la quale potrebbe non essere rappresentativa.

Qualora la superficie di prova fosse intonacata o rivestita, questi devono essere rimossi mettendo a vista il blocco lapideo da provare. Evitare superfici ammalorate o friabili o lesionate.

L'ESECUTORE dovrà fornire un report di prova che dovrà contenere almeno:

- Sigla del punto di prova, ubicazione in pianta ed in sezione rispetto punti noti
- Descrizione del punto di prova e di eventuali difetti

- Tutte le letture dell'indice di rimbalzo eseguite (min.10)
- Eventuale stima della resistenza a compressione, allegando la curva di correlazione dello strumento o la calibrata con prove di compressione in laboratorio
- Anomalie di prova
- Esaustivo report fotografico

Quanto riportato al §4.5.8 relativamente alla prova di compressione per calcestruzzi può essere assunto come utile riferimento.

8.3.2 Indagini per la caratterizzazione delle proprietà meccaniche della malta

8.3.2.1 Prove di laboratorio di punzonamento

Normativa di riferimento

- DIN 18555-9 - Prüfung von Mörtel mit mineralischen Bindermitteln, 1999-09

Modalità di svolgimento e finalità

La prova di punzonamento (DPT, double punch test) su campioni di malta consiste nel determinare la resistenza a compressione della malta.

E' previsto il prelievo di campioni di malta, mediante carotaggio (sul giunto) o mediante taglio e scalpellatura del giunto, in un numero almeno pari a 3 ed aventi dimensioni di almeno 5x5 cm². Il prelievo deve esser eseguito con la massima cura al fine di non danneggiare il campione. Lo spessore consigliato del campione di malta è di almeno 3 cm; quindi, l'ESECUTORE dovrà scegliere un giunto di dimensioni adeguate. I campioni in laboratorio sono sottoposti ad una forza di compressione mediante una pressa idraulica, disponendoli tra due punzoni di acciaio di diametro 20 mm (area 314 mm²), in relazione alle dimensioni indicate del campione; la forza viene applicata in maniera crescente fino a rottura del campione. Prima della prova, il campione di malta viene pesato e misurato e a prova avvenuta si registra il carico massimo P (N). La prova di compressione deve essere eseguita lentamente raggiungendo il carico di rottura (massimo) P da 1 a 1,5 minuti (es. 10 N/s), posizionando i punzoni al centro del campione.

La resistenza a compressione della malta è calcolata come rapporto tra P e la sezione di 314 mm².

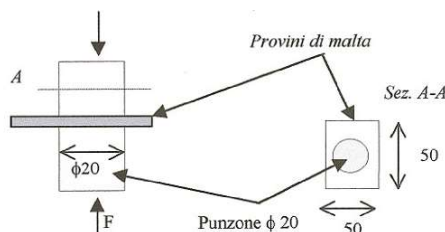


Figura 96 – Prova di punzonamento su campione di malta

L'ESECUTORE dovrà fornire un report che dovrà contenere almeno:

- Sigla del provino, ubicazione del prelievo in pianta ed in sezione rispetto punti noti
- Descrizione del campione estratto e di eventuali difetti
- Descrizione del provino ricavato: dimensioni principali (mm) e sezione di carico (mm²)
- Massa (kg)
- Carico di rottura (kN) e tensione di rottura (N/mm²)
- Anomalie di prova

- Esaustivo report fotografico

Quanto riportato al §4.1.8 relativamente alla prova di compressione per calcestruzzi può essere assunto come utile riferimento.

8.3.2.2 Prove penetrometriche in sito

Le prove penetrometriche sui letti di malta devono essere realizzate sul giunto a vista, di conseguenza è necessario rimuovere l'intonaco o qualsiasi rivestimento a protezione. È inoltre opportuno asportare lo strato superficiale di malta del giunto con un apposito attrezzo scarificatore, per evitare di effettuare la prova su un materiale alterato.

La prova penetrometrica in sito su malta fornisce una stima qualitativa e quantitativa delle sue proprietà meccaniche.

Una prima metodologia di prova consiste nel misurare la profondità d'infissione di una punta in acciaio sottoposta ad un certo numero di colpi generati da una massa nota battente ad energia costante: la profondità di infissione fornisce informazioni sulla qualità (consistenza) della malta, mentre il numero di colpi fornisce informazioni sulla resistenza alla compressione della malta.

Solitamente si individua un letto di malta di estensione sufficiente ad eseguire almeno 5 punti di misura, in ognuno dei quali viene effettuata una doppia lettura:

- Partendo dalla superficie a vista del giunto, misura della profondità d'infissione della punta sottoposta a dieci colpi
- Esecuzione di un foro mediante trapano con punta da 12 mm lungo lo stesso allineamento, misura della profondità d'infissione della punta sottoposta a dieci colpi

Alla fine, per ogni punto si valutano le due misure di profondità di infissione eseguite per apprezzarne l'omogeneità in profondità della malta e se ne può assumere il valore medio

E' necessario realizzare curve di correlazione reali e tarate (profondità d'infissione e resistenza meccanica a compressione) sulla malta oggetto di indagine al fine di avere una stima indicativa dei parametri meccanici.

Un'altra metodologia di prova consiste nella misurazione dell'energia spesa per praticare un foro in un giunto di malta con un normale processo di foratura realizzato però mediante trapano strumentato, che mantiene una forza costante durante la foratura e ne misura la resistenza alla penetrazione. Solitamente si individuano almeno 5 o 10 punti di misura, eseguendo una doppia misura sia in superficie sia in profondità.

Mediante curve di correlazione tarate su valori di resistenza a compressione reali, è possibile legare la resistenza alla perforazione della malta con le sue caratteristiche meccaniche di compressione.

In assenza di una curva di correlazione, il metodo di indagine può essere impiegato soltanto per verificare l'omogeneità della malta lungo il proprio spessore e lungo la zona di indagine.

Maggiori dettagli possono essere forniti dal produttore dello specifico strumento, al quale l'ESECUTORE deve attenersi e darne evidenza al COMMITTENTE.

8.3.3 Indagini per la caratterizzazione delle proprietà chimico-fisica della malta

La malta impiegata nelle sezioni murarie può essere caratterizzata anche dal punto di vista chimico-fisico, oltre che meccanico, in particolare per murature aventi rilevanza storica o stati di degrado importanti.

La tipologia di prove per la caratterizzazione chimico-fisica della malta verrà indicata nel PIN e potrebbe riguardare:

- Determinazione della concentrazione di ione cloruro
- Determinazione della concentrazione di solfati
- alcalinità
- contenuto di umidità

Per le specifiche di prova, fare riferimento a §4.8-4.10 e al §7.9.

9 Indagini speciali sui sistemi di precompressione esterna

9.1 Premessa

Il presente capitolo ha lo scopo di definire una metodologia di esecuzione delle Indagini Speciali dei Sistemi di Precompressione Esterna per determinarne lo stato di conservazione e verificarne l'efficacia, quale integrazione delle procedure per il progetto della conoscenza e della valutazione della sicurezza dei ponti esistenti.

Le Ispezioni Speciali dei Sistemi di Precompressione Esterna, applicate per le parti di interesse o nella loro interezza in funzione del livello di analisi che ci si trova a dover affrontare, possono essere utilizzate per:

- acquisire informazioni utili ad approfondire la conoscenza dei fenomeni di degrado e della condizione strutturale dell'opera nell'ambito delle Ispezioni Straordinarie (di cui al §7.4.2 delle LG22) di Livello 1;
- accertare la presenza, l'estensione e l'intensità di fenomenologie di degrado particolarmente significativi per la stabilità dei ponti e dei viadotti integrando i "*casi che richiedono particolare attenzione*" (di cui al §7.4.3 delle LG22) nell'ambito delle Ispezioni Speciali (di cui al §3.6 delle LG22) di Livello 1;
- integrare il progetto della conoscenza nell'ambito delle Ispezioni Speciali propedeutiche alla Valutazione Accurata di Livello 4.

La metodologia di esecuzione delle Indagini Speciali dei Sistemi di Precompressione Esterna riportata nel presente capitolo, in accordo alla filosofia delle LG22, è basata su livelli successivi di approfondimento ed è sviluppata seguendo l'impostazione del documento "Ispezioni speciali su ponti esistenti in c.a.p. a cavi scorrevoli ai sensi delle Linee Guida: la classificazione e la valutazione accurata" redatto dal Consorzio FABRE.

Risulta indispensabile ai fini dell'applicabilità di alcune tipologie di indagini descritte nel presente capitolo, che preliminarmente all'avvio dell'attività venga eseguito un sopralluogo conoscitivo sull'opera in oggetto.

Il dettaglio delle indagini da eseguire, intese come tipologia da impiegare e come sequenza di applicazione, sono riportate nel Piano delle Indagini (PIN) redatto dal PRG incaricato.

9.2 Generalità sui sistemi di rinforzo

Nel presente capitolo si identifica con sistema di precompressione esterna (nel seguito **Sistema**) l'insieme costituito dal:

- Sistema di Rinforzo (nel seguito **Rinforzo**), quale sistema costituito da uno o più cavi e dagli elementi di vincolo (ad esempio: testate e deviatori). Fanno parte integrante del Rinforzo anche tutti gli elementi protettivi.
- Supporto (nel seguito **Supporto**), quale elemento strutturale su cui il Sistema di Rinforzo è installato (ad esempio: trave di bordo).

Per completezza espositiva nel seguito viene riportata un'immagine, esemplificativa di un sistema con l'identificazione del rinforzo e del supporto.



Figura 97: Identificazione delle componenti del Sistema di Precompressione Esterna

Il Rinforzo è costituito da elementi tipici, dei quali si riporta la definizione per garantire la completa leggibilità del capitolo:

- *Rinforzo*: sistema costituito da più elementi (*Tirante*, *Guaina*, *Iniezione*, *Ancoraggi*) con il quale si applica la post-tensione al Supporto
- *Tirante* (nel seguito anche *Cavo*): elemento metallico (generalmente in acciaio armonico o ad alte prestazioni) sottoposto a trazione mediante martinetti idraulici. Il tirante può essere costituito da cavi mono-trefolo, cavi multi-trefolo o barre
- *Guaina*: elemento di protezione del tirante
- *Iniezione*: elemento di protezione interposto tra il tirante e la guaina
- *Ancoraggi*: elementi di vincolo del tirante al supporto con funzione di trasferimento a quest'ultimo dello sforzo di precompressione (ancoraggio di testata fissa ove avviene la tesatura, ancoraggio di testata fissa, deviatori).

Una disamina delle principali tipologie di sistemi di precompressione esterna è riportata al §9.7, che può essere assunto dall'esecutore come valido riferimento nel riconoscimento dei vari componenti, in particolar modo nella fase del rilievo geometrico e dello stato di conservazione.

9.3 Indagini per la conoscenza dei sistemi rinforzo

Il punto di partenza fondamentale nel processo di indagine sui sistemi di rinforzo è la conoscenza dello stesso, ovvero la sua caratterizzazione tipologica, geometrica e, se richiesto, l'approfondimento dei difetti (stato di conservazione).

Le informazioni necessarie alla successiva fase di analisi e valutazione possono essere reperite mediante un set di indicazioni operative, indicate in apposito PIN, come di seguito elencate.

RILIEVO DELLA TIPOLOGIA E DELLA GEOMETRIA DEL SISTEMA.

- individuazione della tipologia di armatura impiegata per la realizzazione del cavo del sistema di precompressione, tramite ispezione visiva e raffronto con bibliografia o capitoli storici; al § 9.7 sono riportati esempi, non esaustivi, delle principali tipologie di armature utilizzate per il sistema di precompressione: barre (tipo Dywidag o Macalloy), trefoli (0,6", 0,6" Super o 0,6" Compatto) o fili (7mm o rifollati);
- individuazione di numero, posizione e geometria degli ancoraggi (accessibili/non accessibili, protetti/non protetti, extra lunghezze elementi per tesatura disponibili/non disponibili) al Supporto e del loro stato di conservazione;
- rilievo di etichette e marcature sugli elementi di rinforzo, riportanti fornitore del Rinforzo ed eventuali caratteristiche prestazionali dello stesso;



Figura 98: Esempio dettaglio marcatura da cui ricavare caratteristica della barra (tirante in generale)

Diametro nominale barre	Diametro interno/esterno guaina standard per	Diametro interno/esterno guaina standard per
18	25/30	45/50
26,5	38/43	62/67
32	45/50	72/77
36	51/56	80/85
40	57/62	80/85
47	lini	95/104

Figura 99: Esempio di raffronto con bibliografia o capitoli storici - Catalogo Dywidag

- rilievo manuale e/o mediante tecniche di rilevamento specialistiche (ad esempio: laser scanner, fotogrammetria, ecc...) delle principali caratteristiche geometriche del sistema (tracciato e numero di cavi lungo lo sviluppo del Supporto, posizione e dimensioni principali degli ancoraggi, caratteristiche delle testate di ancoraggio, dimensioni e caratteristiche del Tirante);



Figura 100: Esempio di rilievo del Sistema di Precompressione Esterna (Rinforzo e Supporto)

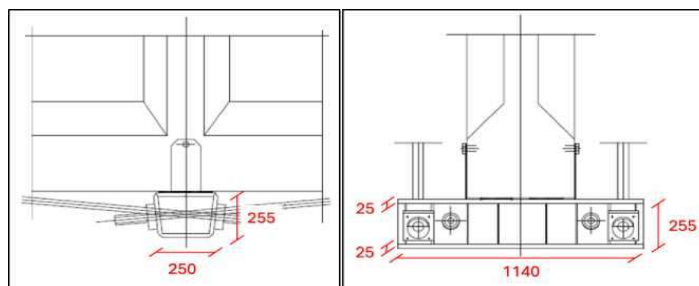


Figura 101: Esempio di rilievo geometrico sella di deviazione con dettaglio fotografico corrispondente

- individuazione della tipologia di guaina mediante rilievo visivo con verifica del diametro esterno e dello spessore mediante utilizzo di adeguata strumentazione (ad esempio: metro, calibro, ecc...);



Figura 102: Esempio di Rilievo spessore guaina

- individuazione, ove presente, della tipologia di riempimento protettivo interno alla guaina (grasso, boiacca/malta, cera) ed indicazione dell'eventuale presenza di nastro-catramato, guaina termoretraibile, fascia paraffinosa o simili mediante ispezione visiva dalle testate o mediante apertura della guaina di rivestimento del cavo (da concordare preventivamente);



Figura 103: Esempio di rimozione protezione di testata e dettaglio Barra Dywidag con grasso protettivo

- indicazione di eventuali sistemi di monitoraggio installati (ad esempio: celle di carico per la misura della tensione nel Cavo o estensimetri per la misura della variazione di tensione nel calcestruzzo del Supporto);
- rilievo di tipologie di precompressioni esistenti sul medesimo supporto;
- rimozione di eventuale cap a protezione della testata di ancoraggio per ottenimento di precise informazioni in merito a diametri dei singoli elementi, quali trefoli, barre o fili/trefoli e loro numero, dimensione dadi di ancoraggio delle barre per individuazione presunta classe di resistenza delle stesse, verifica protezione degli ancoraggi.

RILIEVO DELLO STATO DI CONSERVAZIONE DEL RINFORZO.

Nel PIN, il PRG elencherà eventuali difettologie sul Sistema a partire dall'analisi di eventuali ammaloramenti (difetti) riscontrabili all'interno di Schede di Ispezione (ante e post LG Ponti), di Relazioni di Ispezione per Evoluzione del Degrado (RIED), Report di Indagine CND o altra documentazione prodotta nell'ambito di approfondimenti pregressi.

In ogni caso, l'esecutore, prima di procedere ad eventuali approfondimenti strumentali sui difetti indicati in PIN, dovrà sempre eseguire un'adeguata ispezione visiva del Rinforzo, in particolare nei punti esposti agli agenti atmosferici e in prossimità di sistemi di smaltimento delle acque (pluviali, canaline, scossaline e giunti, etc...). In questo modo è possibile eventualmente individuare dei punti spia dove potrebbero essere celati difetti ulteriori. Eventuali difetti che dovessero, quindi, emergere, dovranno essere segnalati al PRG, il quale dovrà valutare l'aggiornamento del PIN.

Si precisa che l'attività di rilievo dello stato di conservazione potrebbe essere eseguita in più fasi, in particolare se dall'ispezione visiva dovessero emergere ulteriori difetti o se i difetti segnalati nel PIN necessitano di essere ulteriormente approfonditi.

Per le modalità di rilievo dei difetti è possibile fare riferimento al §3 del presente documento.

Nel caso in cui fosse necessario eseguire saggi diretti e misurazioni manuali, previo concordamento con il COMMITTENTE, fare riferimento al § 9.4.2 per le modalità operative.

9.4 Indagini per la caratterizzazione dell'area e del tiro residuo

Nel seguito è riportato il set di indagini non distruttive e distruttive, selezionate tra le più diffuse nel mercato e con prospettive di maggiore sviluppo a breve termine, finalizzate all'acquisizione del tiro residuo e dell'area residua.

Per facilità di lettura, nei paragrafi successivi le tecniche diagnostiche sono organizzate in base al dato che permettono di acquisire (Tiro residuo ed Area residua), anche se solitamente l'applicazione avviene secondo il seguente ordine di priorità, in ogni caso specificato nel PIN:

- 1) Analisi Vibrazionale
- 2) MRT - Metodo Magnetoinduttivo
- 3) Saggio Visivo
- 4) Prova diretta di stacco con martinetto.

Si precisa che prima dell'esecuzione delle prove suddette, in particolar modo la prova di stacco con martinetto, dovrà essere valutata la completa applicabilità in relazione alle condizioni in sito.

9.4.1 Indagini per la stima del tiro residuo

Le metodologie di prova da applicare, nonché la sequenza di applicazione, sono specificate nel PIN tenuto conto anche dell'esito del sopralluogo preliminare e delle finalità dei controlli.

Il Tiro residuo può essere determinato mediante l'utilizzo delle seguenti tecniche di indagine:

1. Prova di stacco con martinetti
2. Analisi vibrazionale

Ai fini dell'individuazione dello stato di coazione residuo nel Tirante, si prediligerà la prova diretta con martinetti, ogni qualvolta i limiti di applicabilità ne permettano la messa in opera. Parallelamente a tale prova diretta, si affianca la prova indiretta di analisi vibrazionale, finalizzata all'individuazione del tiro residuo tramite la stima della risposta in frequenza del sistema; l'esecuzione di quest'ultima contestualmente alla prova diretta con martinetti, permette la definizione del punto zero dello stato tensionale del sistema, utile per la taratura delle analisi vibrazionali eseguite su altri rinforzi simili o per controlli periodici per valutare l'evolvere dello stato di salute del Sistema nel tempo.

Nel caso in cui i limiti di applicabilità della prova con martinetti non ne consentano l'esecuzione (ad esempio: condizioni di conservazione del Sistema), il tiro residuo sarà ricavato dall'esecuzione di analisi vibrazionali.



Figura 104: Esempio di condizioni di conservazione favorevole all'applicabilità della prova diretta (prima foto da sinistra) e di conservazione sfavorevole (seconda foto da sinistra)

PROVA DI STACCO CON MARTINETTO

La prova di stacco è una prova diretta che consente di determinare il tiro residuo nel Tirante del Sistema di Precompressione Esterna, mediante l'utilizzo di un complesso di martinetti e selle direttamente ubicati sulle testate di ancoraggio. Ogni campo prova sarà organizzato in funzione degli spazi disponibili e della tipologia di sistema di cui deve misurare il tiro.

E' onere dell'esecutore fornire, e comunque allegare alle relazioni di prova, i certificati di taratura del sistema oleodinamico di carico (martinetto, pompa e manometro) impiegato.

Nel seguito si mostrano due esempi di strutture realizzate *ad hoc* per l'esecuzione della prova di stacco con martinetti.



Figura 105: Esempio di prova di stacco con martinetti

Applicabilità della prova

Preliminarmente all'esecuzione della prova di stacco con martinetto è necessario valutare l'applicabilità in relazione ai seguenti aspetti:

1. il sistema di precompressione esterna deve essere per definizione scorrevole, (ad esempio: la protezione interna deve essere realizzata mediante grasso, cera o materiali simili che non rendano solidare il Tirante con la protezione interna); in questo caso, il sistema di precompressione è ritesabile e, pertanto, l'esecuzione della prova di stacco è possibile. Nel caso in cui il sistema di precompressione esterna sia aderente, non consentirebbe ritesature successive del carico e pertanto la prova di stacco non è eseguibile.
2. lo stato di conservazione del sistema non deve presentare stati di sofferenza, evidenti condizioni di degrado o perdite di tiro significative. Pertanto, è richiesta un'accurata analisi del Sistema di Protezione, esterno (Guaina) ed interno (Iniezione) se presente. Se il Tirante è ben protetto, visivamente intatto ed il Sistema nel suo complesso è realizzato a regola d'arte, è possibile eseguire la prova in sicurezza. Inoltre, si richiede particolare perizia nell'analisi delle zone di discontinuità del Tirante e degli elementi di bloccaggio in corrispondenza delle testate. Ad esempio, nel caso di un Tirante costituito da una barra, è necessario analizzare i punti di giunzione (manicotti) lungo il suo sviluppo nonché i punti di ancoraggio (testate, deviatori, antivibrazionali, ecc...) in quanto zone sensibili e possibili punti di innesco di fenomeni corrosivi. Nel seguito si mostrano, a titolo di esempio relativamente alla tipologia di Tirante a barre, possibili punti da attenzionare, non opportunamente protetti, ove la barra presenta principi di degrado.



Figura 106: Esempi di punti da attenzionare

In alto a sinistra giunzione tra manicotti e a destra punto di raccordo tra cavo e testata, in basso giunzione guaina

Un ulteriore esempio, nel caso di Tirante della tipologia a multi-trefolo, è l'ispezione visiva degli elementi di bloccaggio che si può concentrare sulle condizioni in cui versano i cunei di bloccaggio alla testata:

- se il cuneo è ben assestato nel suo foro, verosimilmente il Tirante presenta ancora uno stato di coazione significativo;
- nella medesima testata, se la sporgenza di ciascun cuneo è confrontabile, verosimilmente gli stati tensionali dei trefoli sono comparabili.



Figura 107: Esempi di punti da attenzionare - cunei di bloccaggio alla testata per multi-trefolo

Per valutare l'eseguità della prova legata allo stato di conservazione del Tirante, sono utili inoltre i risultati dell'indagine Magnetoinduttiva MRT.

In generale, ai fini della corretta esecuzione della prova diretta con martinetti, è opportuno definire apprestamenti di sicurezza nei confronti dell'operatore e/o di persone e veicoli nell'intorno del campo

prova, ai fini di scongiurare il verificarsi di un possibile ritorno di frusta o proiezione di elementi, causato dalla rottura del cavo o di componenti del Sistema (ad esempio: ancoraggi, ecc...).

3. la lunghezza del Tirante in corrispondenza dell'ancoraggio mobile (testata) sia compatibile con la lunghezza minima necessaria per la tesatura con martinetto. Tale informazione è desumibile, una volta identificato il tipo di Tirante, mediante le informazioni contenute nella documentazione tecnica del produttore.

Indicazioni operative

Preventivamente all'esecuzione della prova, è richiesta l'analisi dello stato di conservazione in riferimento alle indicazioni riportate nella sezione "Applicabilità della prova".

La prova di stacco con martinetti deve essere eseguita su tutti gli elementi soggetti a tiro del sistema ed indicati nel PIN.

Il tiro residuo è registrato nel momento in cui si verifica l'allontanamento del dado o cuneo dalla sede di testata. Il distacco può essere facilmente monitorato, oltre che da un rilievo visivo, anche dall'installazione di un estensimetro o barrette estensimetriche o comparatori/trasduttori di spostamento opportunamente posizionati (ad esempio: in corrispondenza degli elementi costituenti la testata o in alternativa sull'armatura da precompressione, sfruttando zone ove la stessa risulti già accessibile, come punti di discontinuità del sistema protettivo o in corrispondenza di aperture opportunamente predisposte per l'esecuzione di prove correlate ed ottimizzate per preservare l'integrità del sistema protettivo stesso oppure in corrispondenza dei saggi ispettivi di seguito descritti). L'installazione della strumentazione citata verrà espressamente indicata nel PIN.

La misurazione in continuo permetterà di riconoscere le prime deformazioni significative, a cui dovrà corrispondere l'arresto della prova con martinetto e la conseguente determinazione del tiro residuo.

Nel caso in cui il tirante sia multi-trefolo o multi-filo, si potrebbe verificare un *falso positivo* nella determinazione del tiro residuo per effetto di condizioni di vincolo inattese lungo lo sviluppo longitudinale. Infatti, all'atto della tesatura originaria del sistema di precompressione, per errori legati alla fase di esecuzione, alcuni elementi di acciaio armonico potrebbero essere rimasti bloccati in corrispondenza dei punti di ancoraggio e deviazione. Ciò determina che, il tiro residuo desunto mediante prova con martinetti eseguito nella zona di testata con sistema di ancoraggio mobile, risulterebbe veritiero solo per il primo tratto del rinforzo, mentre nei restanti tratti (rappresentati a titolo esemplificativo appartenenti alla zona gialla nella figura seguente) potrebbero presentare una tensione residua significativamente diversa da quella rilevata durante la prova.

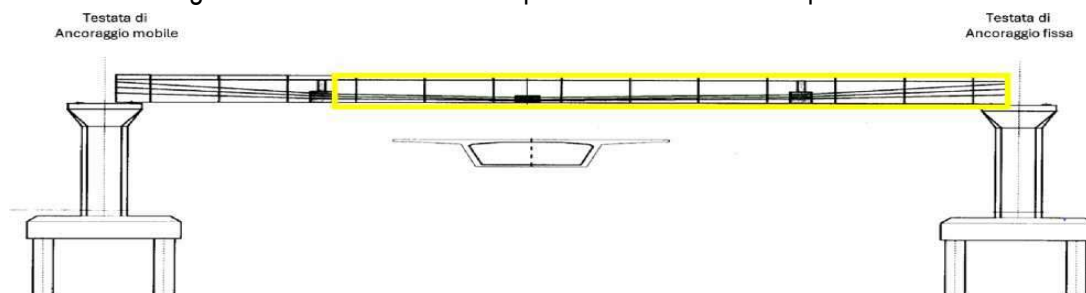


Figura 108: Esempio di tratti di Tirante che possono essere affetti da errori di lettura

Contestualmente alla prova diretta con martinetti potrebbe essere richiesto di eseguire l'analisi vibrazionale per la definizione del punto zero dello stato tensionale del sistema e calibrare le prove vibrazionali successive, sullo stesso rinforzo o su altri tipologicamente simili.

PROVE ED ANALISI VIBRAZIONALE

La prova di analisi vibrazionale è una prova indiretta che consente di stimare il tiro residuo nel Tirante del Sistema di Precompressione Esterna, mediante un approccio sperimentale: partendo da un input dinamico sul Tirante (solitamente impulsivo) e rilevandone la risposta in accelerazione di quest'ultimo nel dominio del tempo, si passa al dominio delle frequenze ottenendo gli spettri di risposta/potenza mediante trasformata di Fourier, stimandone i parametri modali come la frequenza (o periodi) di vibrazione in corrispondenza dei vari modi di vibrazione rilevati.

Nel seguito si mostrano a titolo esemplificativo il posizionamento di un accelerometro e l'applicazione della forzante.



Figura 109: Esempio di prova vibrazionale

Applicabilità della prova

Preliminarmente all'esecuzione della prova di analisi vibrazionale è necessario valutare l'applicabilità in relazione alla piena conoscenza dei punti di vincolo del Tirante lungo il suo sviluppo, per le seguenti motivazioni:

- determinare la lunghezza della porzione di cavo libera di vibrare, intercettando eventuali falsi punti liberi. Ad esempio, nei lati interni delle travi di impalcato, il cavo corre dentro fori ubicati nei traversi e le pareti della guaina possono essere a contatto con questi ultimi o andare a contatto durante la prova. Ciò determina la limitazione della lunghezza della massa vibrante e pertanto, la lunghezza del cavo non coincide con la lunghezza libera di vibrazione. Ne consegue che l'esecutore della prova dovrà valutare opportunamente tale condizione. Nel seguito, si mostrano i due esempi di lunghezza del cavo coincidente con la lunghezza libera di vibrazione (indicato in verde) e la lunghezza libera di vibrazione ridotta per la presenza del traverso (indicato in giallo).



Figura 110: Esempio di possibili interferenze con la lunghezza libera vibrazionale

- posizionare correttamente la strumentazione di acquisizione dei dati (*accelerometri*), ricordando che è possibile che si generino diversi gradi di vincolo nelle diverse direzioni del sistema ("y" o "z") e quindi, differenti frequenze di oscillazione nelle due direzioni. Quindi è necessario disporre di almeno una coppia di accelerometri nelle due direzioni ortogonali.

I precedenti ragionamenti, eseguiti dall'ESECUTORE, devono essere esplicitamente dichiarati nel report di restituzione contenente gli esiti della campagna di indagini svolta.

Indicazioni operative

La prova di analisi vibrazionale deve essere eseguita su tutti gli elementi soggetti a tiro del sistema ed ogni sua parte deve essere identificata da una ben precisa lunghezza libera vibrazionale, seguendo preventivamente all'esecuzione della prova le indicazioni riportate nella sezione "Applicabilità della prova". Successivamente è richiesto all'esecutore di:

1. Riconoscere e rilevare la lunghezza libera di vibrare di ciascun tirante, in funzione dello schema di vincolo e di eventuali punto di contatto che possono modificarla. La valutazione deve essere condotta nelle due direzioni ortogonali in cui verranno disposti gli accelerometri. Generalmente, nel lato esterno della trave di bordo, non essendo presente il traverso o altri sistemi di fissaggio, il cavo può vibrare per l'intera sua luce; pertanto, la lunghezza del cavo coincide con la lunghezza libera di vibrazione e la postazione ove registrare il segnale può essere la mezzeria del cavo; viceversa, nei lati interni della trave, il cavo corre dentro fori ubicati nei traversi e le pareti della guaina possono essere a contatto con questi ultimi o andare a contatto durante la prova.
2. Riconoscere e rilevare le condizioni di vincolo dovute agli ancoraggi, deviatori etc... (riconducibile ad un incastro, semi-incastro, appoggio etc...).
3. Rilievo dei componenti del tirante (tipo di riempimento e di protezione, spessore della protezione e tipo e diametro del tirante) necessari alla stima della massa lineare in vibrazione. Tipicamente tali misure sono rilevate nelle fasi esposte ai paragrafi precedenti.
4. Individuare e posizionare le postazioni di acquisizione lungo il tirante. Tipicamente, salvo diverse indicazioni nel PIN, la postazione sarà nella mezzeria della lunghezza libera di vibrare del tirante. Tali indicazioni differenti potrebbero consistere nella richiesta di una seconda postazione (o una terza o una combinazione di queste) ai quarti della lunghezza libera di vibrare. Il tutto allo scopo di rilevare modi di vibrare successivi al primo oppure di fare considerazioni sulla fase del segnale.

Nel caso di tiranti continui, ovvero ancorati in testata e deviati in mezzeria, potrebbe essere richiesta una postazione di misura ulteriore nella porzione non oggetto di indagine (sull'altra metà trave), al fine di valutare l'eventuale trasmissione dell'oscillazione tra le due parti e l'eventuale differenza di tiro (dovuta ad esempio ad attriti).

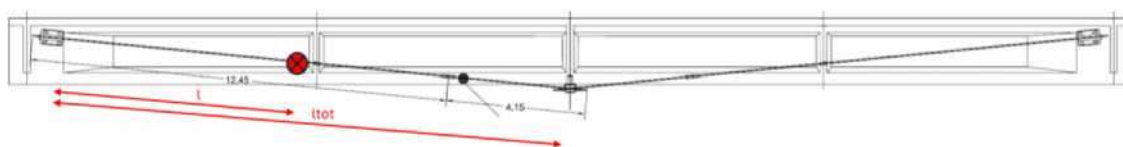


Figura 111: Esempio di postazione di acquisizione sul bordo esterno della trave di bordo

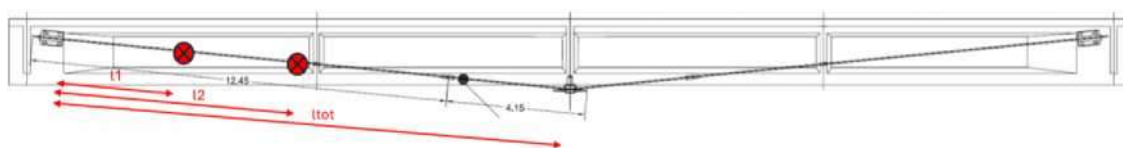


Figura 112: Esempio di postazione di acquisizione sul bordo interno della trave di bordo



Figura 113: Esempio di postazione di acquisizione sul bordo interno della trave di bordo

5. Sulle postazioni di misura individuate, salvo diverse indicazioni nel PIN, dovranno essere posti due accelerometri (solitamente di tipo sismico) entrambi in direzione perpendicolare al tirante, di cui uno in direzione orizzontale e l'altro in direzione verticale. Le postazioni di acquisizione sono individuate al punto 4).



Figura 114: Esempio di posizionamento accelerometri sul cavo

6. Le coppie di accelerometri dovranno essere fissate su ciascuna postazione mediante il più opportuno sistema di fissaggio, che non dovrà consentire oscillazioni relative tra la protezione del tirante (es. guaina in PVC) e il tirante stesso; è indispensabile che la vibrazione sia unica. Particolare attenzione, quindi, deve essere posta nel caso in cui non sia presente un riempimento protettivo rigido (es. boiacca), ovvero grasso o cera o aria, che lasciano appunto spazio tra acciaio e protezione. E' preferibile l'impiego di collarini metallici che afferrano e avvolgono tutto il sistema. Nelle figure seguenti si mostrano due esempi applicativi di quanto precedentemente esposto.

L'eventuale necessità di aprire il rivestimento in PVC per fissare gli accelerometri (es. con calamite) dovrà essere concordato e valutato preventivamente con il COMMITENTE.



Figura 115: Esempio di posizionamento accelerometri sulla guaina



Figura 116: Esempio di posizionamento accelerometri sull'armatura previa apertura della guaina

7. Misurazione della temperatura ed indicazione della data (correlata alla stagionalità) di esecuzione della prova;
8. Esecuzione della prova mediante l'induzione di vibrazioni sul tirante. La forzante può essere generata da:
 - a. Forzanti ambientali (vento o microsismi) o attività antropiche (traffico, folla).
 - b. Azione impulsiva applicata (Hammer test).

Solitamente è preferibile scegliere l'azione impulsiva, essendo questa gestita dall'esecutore in termini, ad esempio, di energia, di finestra temporale di acquisizione...

Durante lo svolgimento della prova, l'azione impulsiva potrebbe essere influenzata dalle forzanti ambientali o antropiche: qualora impossibili da escludere (es. con filtri) l'esecutore dovrà dare tempestiva comunicazione al COMMITENTE per decidere eventualmente di eseguire la prova in momenti differenti (es. orario notturno).

La figura seguente mostra l'induzione della vibrazione con un'azione impulsiva (Hammer Test).



Figura 117: Esempio di applicazione della forzante impulsiva - Hammer Test

L'esecutore dovrà fornire un output di prova contenente almeno:

- Ubicazione del supporto (es. trave) sull'impalcato e posizione del rinforzo testato sul supporto (es. lato della trave), al fine di posizionarlo univocamente, oltre a tutte le indicazioni di prova (campata, nome opera, data di prova...);
- Rilievo geometrico complessivo del sistema (supporto e rinforzo) con evidenza degli spessori e dei materiali componenti, al fine di stimare le masse in vibrazione;
- Ubicazione delle postazioni di misura individuate lungo il rinforzo, con planimetria complessiva raffigurante anche l'ID di ogni strumento posizionato per ogni punto (schema di prova);
- Misurazione della lunghezza libera di vibrazione ed evidenza delle tipologie di vincolo;
- Documentazione fotografica attestante la posizione di misura ed il sistema di fissaggio;
- Tipo di forzante impiegata e direzione/verso, eventuali filtri applicati, temperatura di prova;

- Spettro delle accelerazioni e di potenza (e/o densità spettrale di potenza) per ogni accelerometro con ID associato, evidenziando i picchi di risonanza;
- Certificati di calibrazione della strumentazione impiegata.

9.4.2 Indagini per la stima dell'area residua

Le metodologie di prova da applicare, nonché la sequenza di applicazione, sono specificate nel PIN tenuto conto anche dell'esito del sopralluogo preliminare e delle finalità dei controlli.

L'Area residua può essere determinata mediante l'utilizzo delle seguenti tecniche di indagine:

1. Metodo Magnetoaduttivo MRT
2. Saggi diretto e misurazione manuale.

Ai fini dell'individuazione dell'area residua del Tirante, si prediligerà la prova diretta con saggi, ogni qualvolta gli esiti della prova MRT segnalino possibili anomalie.

L'eventuale necessità di aprire il rivestimento per mettere a nudo l'armatura del tirante, se non esplicitamente indicato nel PIN, dovrà essere concordato e valutato preventivamente con il COMMITTENTE.

METODO MAGNETOINDUTTIVO (MRT)

Il metodo magnetoaduttivo MRT è un tipo di controllo non distruttivo che si basa sulla misura di un flusso magnetico principale tramite la magnetizzazione del rinforzo. La strumentazione avvolge il rinforzo e viene fatta scorrere su di esso per tutta la sua estensione: in ogni punto può rilevare interruzioni della continuità di fili/trefoli/barre, riduzioni di sezione, deformazioni e variazioni di tensione. In assenza di difetti, la maggior parte del flusso magnetico rimane confinato all'interno del cavo. Viceversa, in corrispondenza di una sezione con degrado la porzione flusso magnetico subisce una deviazione che viene rilevata da un sistema di sensori.



Figura 118: Esempio di Prova magnetoaduttiva

L'ispezione magnetoaduttiva deve essere eseguita su tutti gli elementi indicati nel PIN.

Si precisa che, nel caso in cui ci fossero impedimenti fisici o logistici all'acquisizione di alcune zone di cavo, non rilevate preliminarmente, dovranno essere segnalate al PRG concordando le modalità di restituzione al fine di valutare l'eventuale adeguamento del PIN.

L'output della prova potrebbe segnalare la presenza di anomalie, ovvero di zone da attenzionare, che è possibile localizzare univocamente lungo il tirante: questo punto costituirà una zona di attenzione su cui posizionare, in accordo con il COMMITTENTE e/o come indicato nel PIN, il saggio diretto, volto a verificare la tipologia di anomalia, in particolare se è conseguente ad una riduzione di sezione e, quindi, di conseguenza procedere alla

quantificazione dell'area residua.

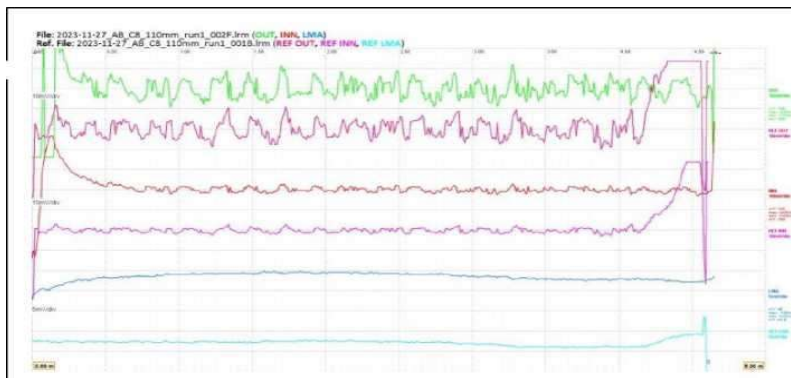


Figura 119: Esempio di Output in fase di prova magnetoinduttiva MRT

SAGGI DIRETTI E MISURAZIONE MANUALE

La pratica distruttiva dei saggi visivi è introdotta all'interno delle campagne di indagine al fine di valutare direttamente lo stato di conservazione dell'armatura soggetta a tiro:

- nei punti di attenzione individuati dal metodo magnetoadдукtivo MRT
- nei punti rilevati dall'eventuale ispezione visiva del rinforzo (es. in prossimità di sistemi di smaltimento delle acque quali pluviali, canaline, scossaline e giunti, etc...)
- in occasione di approfondimenti connessi al rilievo dello stato conservazione (§3).

Si precisa che l'eventuale necessità di aprire il rivestimento per mettere a nudo l'armatura del tirante, se non esplicitamente indicato nel PIN, dovrà essere concordato e valutato preventivamente con il COMMITTENTE.

I saggi visivi costituiscono l'indagine maggiormente affidabile ai fini della conoscenza del grado di difettosità del Tirante.

Indicazioni operative

L'esecuzione dei saggi visivi e misurazione manuale dell'eventuale area residua (in presenza di riduzioni per effetto di corrosione) deve essere eseguita seguendo le seguenti indicazioni:

- 1.attenzionare il punto di saggio se in corrispondenza di zone esposte o potenzialmente esposte (es. percolazioni); tale circostanza va indicata dall'esecutore;
- 2.realizzazione di apertura di ispezione (nel caso in cui si stia investigando un punto in cui la guaina risulti ancora intatta) mediante finestratura rettangolare di lunghezza (lungo lo sviluppo del cavo) pari ad almeno 10 cm, praticando 2 tagli trasversali ed 1 taglio longitudinale e ripiegando la parte tagliata sul lato lungo non tagliato; nel praticare i tagli è necessario porre la massima attenzione tesa a non intaccare l'armatura di precompressione ed altre sezioni del rinforzo. Non è ammesso l'impiego di mezzi meccanici per l'apertura dei rivestimenti (es. flessibili, seghetti...);
- 3.documentazione fotografica dell'eventuale iniezione protettiva, per evidenziarne la tipologia, e successiva eventuale rimozione della stessa per mettere a nudo la porzione dell'armatura di precompressione senza intaccarla;
- 4.documentazione fotografica dell'armatura di precompressione con il maggior dettaglio possibile soprattutto in presenza di condizioni di degrado;
- 5.pulizia mediante carta abrasiva o spazzola metallica dall'ossido/corrosione che eventualmente interessa l'acciaio armonico, cercando di portare l'acciaio a metallo vivo;
- 6.misurazione mediante calibro della riduzione di sezione di armatura (della singola barra o dei singoli trefoli) interessata da ammaloramento. Avere cura di verificare se il difetto è localizzato o si estende anche oltre all'interno del rivestimento;
- 7.nel caso in cui fosse necessario, per motivi operativi, ingrandire l'apertura al fine di posizionare meglio il calibro, questa operazione va preliminarmente concordata con il COMMITTENTE. In particolare, in tutti quei casi in cui il saggio è eseguito in zone esposte o potenzialmente esposte (es. percolazioni).
- 8.ripristino del saggio secondo le modalità riportate al §9.6.

9.5 Monitoraggio

Le indagini elencate nei paragrafi precedenti consentono di fissare un tempo t_0 al quale riferire i parametri misurati e/o stimati.

In seguito, potrebbe essere richiesto all'esecutore una seconda, ed eventualmente successive, campagna d'indagine avente lo scopo di misurare in tempi differenti t_1 , t_2 ... i parametri di cui al tempo t_0 . Tali richieste verranno espressamente indicate nel PIN e, in ogni caso, concordate.

Ad esempio, nel caso delle frequenze stimate con l'analisi vibrazionale al tempo t_0 , è possibile proseguire con rilievi successivi al fine di monitorarne i valori, ovvero la variazione eventuale del tiro residuo.

9.6 Ripristini

In tutti i casi in cui viene eseguita un'indagine che prevede il danneggiamento della protezione del tirante (es. saggio con apertura guaina), è obbligo ed onere dell'esecutore il ripristino del punto.

La protezione dell'acciaio, ovvero l'intercapedine tra rivestimento e tirante in acciaio, può essere eseguita mediante l'apposizione di grasso a litio (con pennello), nel caso di sistemi con questo tipo di protezione (§9.7), oppure con resina epossidica, nel caso di sistemi con boiacca cementizia aderente (§9.7).

Per il ripristino del rivestimento, nei casi più comuni in PVC, è possibile impiegare il nastro autovulcanizzante (per giunzioni in gomma), formando uno spessore pari ad almeno quello del rivestimento. In altri casi, ad esempio lamierini metallici o PVC rigidi, il ripristino del punto può essere realizzato sovrapponendo alla porzione intagliata, per almeno 2 cm per lato, un tallone dello stesso materiale del rivestimento, incollandolo al supporto mediante resina; poi dovrà essere protetto con nastro autovulcanizzante. Nel caso in cui venisse eseguito il taglio della guaina sui tre lati, avendo ripiegato la parte tagliata sul lato lungo non tagliato, è possibile richiudere la stessa e sigillarla direttamente con nastro autovulcanizzante se in PVC oppure con resina e poi nastro se di altro materiale.

Il ripristino di eventuali rivestimenti costituiti da materiali non usuali sarà concordato con il COMMITENTE.

Particolare attenzione deve essere posta nell'esecuzione di ripristini di punti in corrispondenza di zone esposte o potenzialmente esposte (es. percolazioni).

Ulteriori indicazioni sono riportate nel Tipologici Ripristini Indagini ALLEGATO 1 al presente documento.

9.7 Componenti dei sistemi di precompressione esterna

Nel seguito sono riportate le principali e più diffuse componenti dei sistemi di precompressione esterna al fine di facilitarne l'identificazione e caratterizzazione, soprattutto in assenza di documentazione di archivio,

Verranno quindi esaminati le tipologie di: Tirante, Guaina, Iniezione, Ancoraggi.

TIPOLOGIE DI TIRANTE.

Il Tirante, nel seguito anche Cavo, è l'elemento metallico (generalmente in acciaio armonico o ad alte prestazioni) sottoposto a trazione mediante martinetti idraulici. Il tirante può essere costituito da barre, cavi mono-trefolo o cavi multi-trefolo.

BARRE DYWIDAG.

Le barre Dywidag sono barre di post tensione riconducibili a due tipologie, in relazione alla tipologia di filettatura funzione del processo produzione:

- tipologia WR: barra a filettatura continua con filetto laminato a caldo. Sono facilmente identificabili per il filetto laminato a caldo con una geometria specifica legata al processo di produzione;
- tipologia WS: barra liscia con filettatura alle estremità realizzata per rullatura a freddo. Questa tipologia potrebbe essere confusa con le barre Macalloy, per i cui dettagli si rimanda al paragrafo successivo, ma un'analisi del filetto ne consente l'individuazione e distinzione dalle barre di produzione britannica.

Le figure seguenti sono rappresentative delle due tipologie di barre:

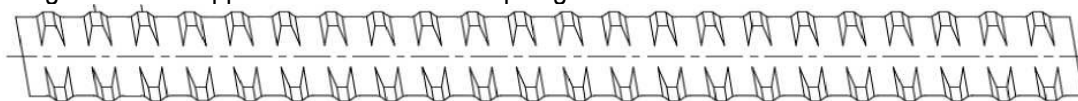


Figura 120: Dywidag WR - Barra a filettatura continua con filetto realizzato a caldo durante la laminazione



Figura 121: Dywidag WR - Dettagli identificativi (Barra Dywidag Classe 950/1050)



Figura 122: Dywidag WS - Barre lisce con filetto speciale rullato a freddo



Figura 123: Dywidag WS - Dettagli identificativi

Le più vetuste classi di resistenza delle barre Dywidag prevedevano:

- tensioni di snervamento σ_1 = 835 Mpa e tensioni di rottura = 1030 Mpa;
- tensioni di snervamento σ_1 = 1080 Mpa e tensioni di rottura = 1230 Mpa;

Ad oggi queste barre non sono più in produzione, in favore di un'unica linea utilizzata nei progetti più recenti:

- tensioni di snervamento σ_1 = 950 Mpa e tensioni di rottura = 1050 Mpa;

Le barre Dywidag "moderne" riportano impressa la marcatura SAS950/1050 come illustrato in Figura 2.

In tutti e tre i casi è possibile riconoscere l'appartenenza alla famiglia "Dywidag" sia dall'estensione del filetto per l'intera lunghezza della barra sia dal passo della filettatura.

L'indicazione della classe di resistenza si può desumere sul corpo della barra, come riportato a titolo di esempio sempre in Figura 121.

Un'altra indicazione utile per orientare l'individuazione della classe di appartenenza è la dimensione degli accessori (ad esempio: dadi, manicotti, ecc...): le barre di Classe 835/1030 hanno abbinati accessori di più ridotte dimensioni rispetto le classi 1080/1230 e le 950/1050, che presentano invece gli stessi accessori. È possibile riferirsi all'attuale omologazione europea ETA-05/0123 per verificare le misure geometriche degli accessori. I dadi delle barre Dywidag sono esagonali semisferici ed il loro contatto con la piastra di testata avviene generalmente tramite una superficie semisferica anch'essa. La figura seguente è esemplificativa dei dadi utilizzati per le barre Dywidag.

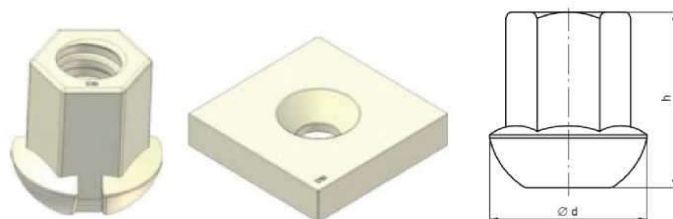


Figura 124: Dywidag - Dettagli dado esagonale e piastra di testata

BARRE MACALLOY.

Le barre Macalloy sono barre di post tensione caratterizzati da un'unica tipologia di filettatura, che può essere confusa con la barra Dywidag WS per i cui dettagli si rimanda al paragrafo precedente, ma un'analisi del filetto ne consente l'individuazione e distinzione dalle barre di produzione tedesca.

Le figure seguenti sono rappresentative della tipologia di barra:



Figura 125: Macalloy - Dettagli identificativi

A titolo esemplificativo e non esaustivo, si riportano alcune classi di resistenza delle barre Macalloy:

- tensioni di snervamento σ_1 = 835 Mpa e tensioni di rottura = 1030 Mpa;

Nel seguito si riporta la tabella riepilogativa di tipiche barre Macalloy 1030 Bar, con esplicitati diametri e peso al metro lineare, estratte dal catalogo "Macalloy Post Tensioning System":

Table 1: Range of Macalloy 1030 Bar					
Nominal Diameter	Cross sectional area	Mass		Major diameter of threads	Minimum hole diameter in Steelwork
		Macalloy 1030	Macalloy S1030 Stainless		
mm	mm ²	kg/m	kg/m	mm	mm
20	322	-	2.57	22.0	24
25	530	4.17	4.2	28.9	31
26.5	572	4.49	-	30.4	33
32	847	6.65	6.65	36.2	40
36	1075	8.44	-	40.2	44
40	1320	10.36	10.36	45.3	49
50	1963	15.66	15.66	54.8	59
75	4185	32.86	32.86	77.2	82

Figura 126: Macalloy - Tabella caratteristiche barre 1030 Bar

È possibile riconoscere l'appartenenza alla famiglia "Macalloy" dalla filettatura metrica sul corpo della barra, come riportato a titolo di esempio in Figura 125.

Un'altra indicazione utile per orientare l'individuazione della classe di appartenenza è la dimensione degli accessori (ad esempio: dadi, manicotti, ecc...). È possibile riferirsi all'attuale omologazione europea ETA-05/0123 per verificare le misure geometriche degli accessori. I dadi delle barre Macalloy sono esagonali piani ed il loro contatto con la piastra di testata avviene generalmente tramite una superficie piana anch'essa. La figura seguente è esemplificativa dei dadi utilizzati per le barre Macalloy.

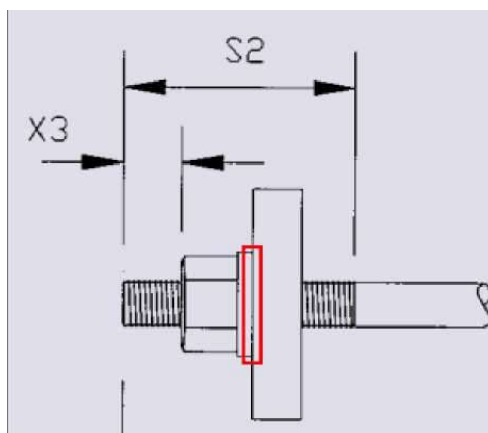


Figura 127: Macalloy - Dettagli dado esagonale e piastra di testata

TREFOLI.

I trefoli sono prodotti costituiti da 6 fili esterni di acciaio armonico, avvolti in forma elicoidale intorno ad un filo centrale rettilineo; il passo ed il senso di avvolgimento all'elica sono uguale per tutti i fili.

I trefoli storicamente impiegati sono elencati nel seguito ed abitualmente identificati con la misura in pollici:

- 0.5": di scarso impiego storico ed attualmente impiegati sono nei paesi del Far East per sistemi postesi aderenti interni;
- 0.6": declinato in 0.6", 0.6"S e 0.6"C (rispettivamente le sottoclassi standard, super o compatto). È il diametro storicamente più impiegato;
- 0.7": usati saltuariamente in passato, senza un uso estensivo.

I diversi trefoli sono facilmente distinguibili verificando il diametro del cavo stesso:

Tabella 1: Caratteristiche trefoli

Sigla	Dimetro effettivo	Area
<i>[Diametro nominale]</i>	<i>[mm]</i>	<i>[mm²]</i>
0.5"	12.50	93
0.5" S (Super)	12.90	99
0.6"	15.20	139
0.6" S (Super)	15.70	150
0.6" C (Compatto)	15.20	165
0.7"	17.80	190

Il trefolo compatto è caratterizzato dalla cordatura di 6 fili esterni aventi sezione simil-trapezia che consente, a parità di diametro esterno (uguale al trefolo 0.6" normale) di aumentare il riempimento della sezione con un'area di acciaio maggiore (da 139 a 165 mm²). Questa tipologia è facilmente identificabile ad un primo controllo visivo.

Nel seguito si mostrano sezioni (Debernardi, 2013) e fotografie di trefoli standard (a) e trefoli compatti (b).

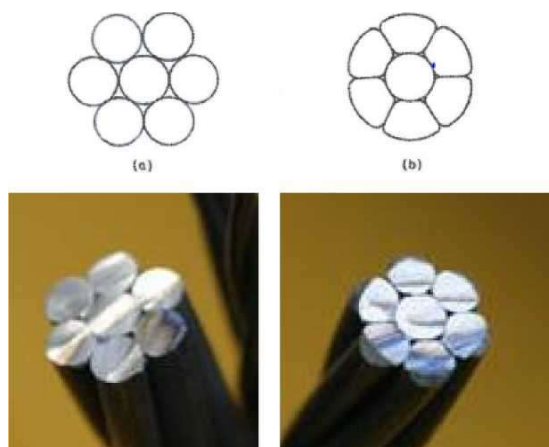


Figura 128: Sezione di un trefolo normale (a) e compattato (b)

FILI

In generale, l'impiego di cavi realizzati con fili è ormai in disuso dall'inizio degli anni '80, poiché soppiantato dai più economici trefoli. Per completezza, si riporta comunque la tabella riepilogativa, contenente le più comuni tipologie di acciaio da precompressione mediante fili:

Tabella 2: Caratteristiche fili

Sigla	Resistenza a trazione f_{pk}	Diametro - (Area della sezione)					
[Acciaio]	[Mpa]	[mm] - [mm ²]					
Y1860C	1860	3.0- (7.07)	4.0- (12.57)	5.0- (19.63)			
Y1770C	1770	3.0- (7.07)	3.2- (8.04)	4.0- (12.57)	4.5- (15.9)	5.0- (19.63)	5.5- (23.76)
		6.0- (28.27)	7.0- (38.48)				
Y1670C	1670	4.0- (7.07)	5.0- (19.63)	5.5- (23.76)	6.0- (28.27)	6.5- (33.18)	6.9- (37.39)
		7.0- (38.48)	7.5- (44.18)	8.0- (50.27)			
Y1620C	1620	4.5- (15.9)	7.11- (39.7)				
Y1570C	1570	5.0- (19.63)	6.0- (28.27)	7.0- (38.48)	8.0- (50.27)	8.5- (56.75)	9.4- (69.4)
		9.5- (70.88)	10.0- (78.54)	10.5- (86.59)	11- (95.0)		

In epoca moderna, i sistemi di post-tensione esterna scorrevole a fili sono stati realizzati unicamente con il sistema Wire-X distribuito dalla Dywydag. Il sistema prevede l'uso di fili di diametro 7 mm inseriti in tubi in polietilene riempiti con cera petrolifera.



Figura 129: Dettaglio Sistema di precompressione Fili

TIPOLOGIE DI GUAINA.

Generalmente, il Sistema di Precompressione Esterna è caratterizzato dalla presenza di una doppia protezione (protezione esterna e protezione interna) del Tirante, costituita abitualmente da un *tubo esterno* (Guaina) e da uno *strato protettivo* (Iniezione), che può configurarsi con diverse soluzioni in virtù dei materiali utilizzati.

La Guaina (protezione esterna) è generalmente realizzata mediante un tubo in plastica, in acciaio o in guaina.

Le tipologie più diffuse sono sicuramente la guaina di polietilene ad alta densità (HDPE) o in polipropilene (PP) (Debernardi, 2013), materiali ideali per gli ambienti esterni tipicamente aggressivi. Le immagini seguenti mostrano rispettivamente una guaina in polietilene ed una guaina in lamierino di acciaio o plastica.



Figura 130: Tubo esterno di rivestimento protettivo con guaina in polietilene



Figura 131: Tubo esterno di rivestimento protettivo in plastica

A titolo esemplificativo, inoltre, si mostra il sistema a doppia protezione per un cavo monotrefolo non aderente, costituito dalla combinazione di una guaina in polietilene esterna e da grasso protettivo interposto tra la guaina esterna ed il tirante costituito da trefoli.

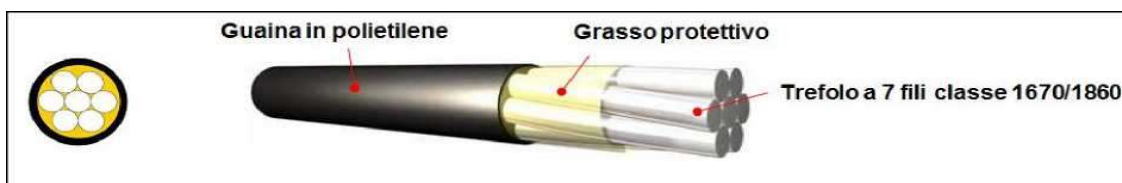


Figura 132: Esempio di doppia protezione (guaina e iniezione) per un monotrefolo

TIPOLOGIE DI INIEZIONE.

Generalmente, il Sistema di Precompressione Esterna è caratterizzato dalla presenza di una doppia protezione (protezione esterna e protezione interna) del Tirante, costituita abitualmente da un *tubo esterno* (Guaina) e da uno *strato protettivo* (Iniezione), che può configurarsi con diverse soluzioni in virtù dei materiali utilizzati.

L'Iniezione (protezione interna), se presente, può essere realizzata in differenti modi (boiaccia di cemento, resina, grasso o cera petrolifera, ecc...) in virtù della tipologia di tirante, delle fasi realizzative ed in virtù delle eventuali necessità manutentive.

Di seguito si analizza la configurazione dello strato protettivo interno del tirante nelle diverse soluzioni di seguito elencate:

- a. iniezione con boiaccia di cemento o resina, eseguita in opera dopo la tesatura;
- b. iniezione con boiaccia di cemento, eseguita prima della messa in opera;
- c. iniezione con grasso o cera petrolifera, eseguita in opera dopo la tesatura;
- d. rivestimenti per barre;
- e. rivestimenti per trefoli (Trefolo Viplato).

INIEZIONE CON BOIACCA DI CEMENTO O RESINA, ESEGUITA IN OPERA DOPO LA TESATURA

La configurazione è possibile applicarla e quindi riscontrarla con tutte le tipologie di tiranti (barre, fili, trefoli), determinando una condizione di precompressione aderente, che impedisce possibili regolazioni successive. Nel seguito si mostra un esempio schematico della configurazione.



Figura 133: Cavo e Sezione con iniezione con boiaccia di cemento eseguita dopo la tesatura

INIEZIONE CON BOIACCA DI CEMENTO, ESEGUITA PRIMA DELLA MESSA IN OPERA

La configurazione è possibile applicarla e quindi riscontrarla in presenza di tiranti a barre determinando una condizione di precompressione aderente, che non consente possibili regolazioni successive. Nel seguito si mostra un esempio schematico della configurazione.



Figura 134: Barra con guaina preiniettata con boiaccia di cemento

INIEZIONE CON GRASSO O CERA PETROLIFERA, ESEGUITA IN OPERA DOPO LA TESATURA

La configurazione è possibile applicarla e quindi riscontrarla con tutte le tipologie di tiranti (barre, fili, trefoli), determinando una condizione di precompressione non aderente o scorrevole, che consente possibili regolazioni successive.

Nel seguito si mostra un esempio schematico della configurazione.



Figura 135: Sezione con iniezione con cera eseguita dopo la tesatura

RIVESTIMENTI PER BARRE

La configurazione è possibile applicarla e quindi riscontrarla in presenza di tiranti a barre determinando una condizione di precompressione non aderente o scorrevole, che consente possibili regolazioni successive.

I rivestimenti delle barre possono essere realizzati con differenti soluzioni:

- Applicazione di termoretraibile: prevede l'applicazione di un rivestimento costituito da guaina termoretraibile, con riporto interno di materiale protettivo;
- Applicazione di nastro catramato: soluzione adottata negli anni '80, che prevede l'applicazione sulla barra di un nastro protettivo a base di catrame;
- Applicazione di nastro paraffinoso: applicazione di nastro preimpregnato con paraffina, che realizza uno strato protettivo aderente alla barra flessibile e stabile.

Le figure seguenti mostrano, a titolo esemplificativo, alcune applicazioni delle differenti soluzioni di rivestimento per barre.



Figura 136: Riempimento protettivo catramato e con fascia paraffinosa

RIVESTIMENTI PER TREFOLI (VIPLATURA)

La configurazione è possibile applicarla e quindi riscontrarla in presenza di tiranti a trefoli determinando una condizione di precompressione non aderente o scorrevole, che consente possibili regolazioni successive.

Con l'espressione "*trefolo viplato*" si intende un trefolo rivestito singolarmente con guaina in polietilene, riempita di grasso protettivo. È una soluzione adottata in modo estensivo sulle opere autostradali, con soluzioni che tipicamente non prevedono iniezioni della guaina che contiene il fascio di trefoli.

Nel seguito si mostra un esempio schematico della configurazione.



Figura 137: Sezione di cavo costituito da trefoli viplati



Figura 138: Cavo con trefolo viplato ed iniezione della guaina con boiaccia di cemento

TIPOLOGIE DI ANCORAGGI.

Gli Ancoraggi sono gli elementi di vincolo del tirante al supporto con funzione di trasferimento a quest'ultimo dello sforzo di precompressione (ancoraggio di testata fissa ove avviene la tesatura, ancoraggio di testata fissa, deviatori).

Gli ancoraggi possono essere realizzati mediante l'impiego di soluzioni in carpenteria metallica o in calcestruzzo armato, vincolati al supporto mediante appositi inghisaggi con l'eventuale integrazione mediante barre di post-tensione agenti trasversalmente alla direzione efficace del Tirante.

Nel presente paragrafo, data la notevole variabilità delle tipologie impiegate essendo di fatto progettati ad-hoc nell'ambito dell'installazione del Sistema di Precompressione Esterna allo scopo di tenere in conto delle condizioni al contorno (geometria supporto, percorso del cavo, ecc), ci si limita a riportare alcuni esempi mediante documentazione fotografica.



Dettaglio testata precompressione esterna realizzata con barra Macalloy protetta con calotta in acciaio riempita con grasso



Dettaglio ancoraggio barra Dywidag con calotta in polietilene



Dettaglio testata precompressione esterna realizzata con ancoraggio monotrefolo



Dettaglio "cap" testata precompressione esterna
con calotta in polietilene



Dettaglio "cap" testata precompressione esterna



Dettaglio "cap" in acciaio per testata di
precompressione esterna su barre Dywidag



Dettaglio "cella di carico" installata su testata di
precompressione esterna



Dettaglio "cella di carico" installata su testata di precompressione esterna



Dettaglio ancoraggio a 9 trefoli con "cap" lungo in acciaio



Dettaglio ancoraggio a 7 trefoli con "cap" in polietilene su cavo a trefoli iniettati in opera con boiacca di cemento (dopo tesatura)

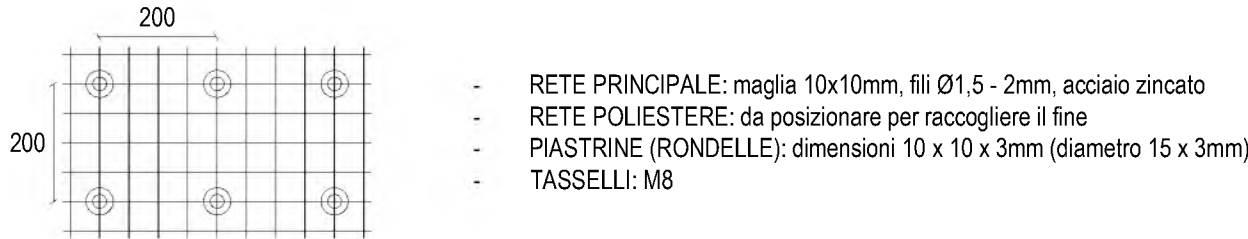


Dettaglio ancoraggio barre Dywidag diametro 40 mm con cella di carico

RIPRISTINO SAGGIO VISIVO SU ARMATURA

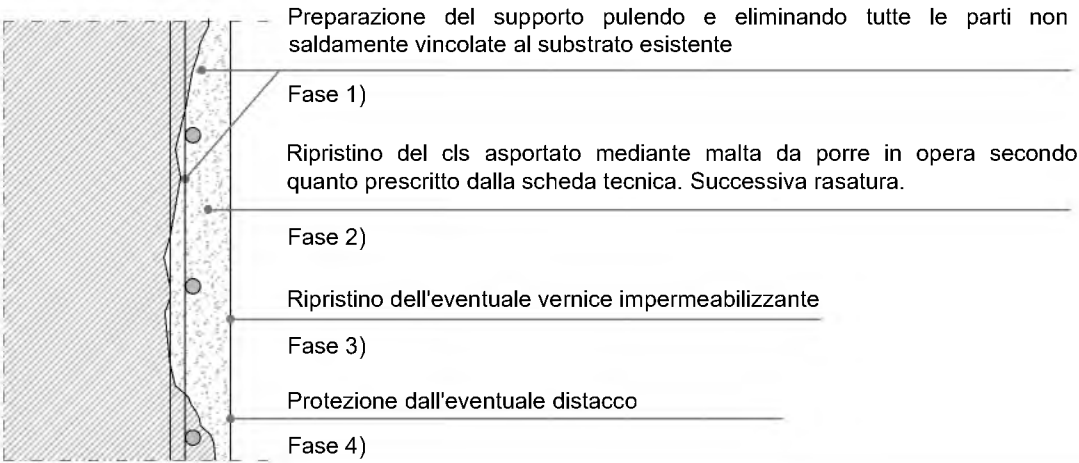
MODALITA' DI ESECUZIONE DEL RIPRISTINO A SEGUITO DELLE INDAGINI

- 1) **PREPARAZIONE DEL SUPPORTO.** Pulizia e eliminazione di tutte le parti non saldamente vincolate al substrato esistente.
La superficie di cls dovrà risultare macroscopicamente ruvida allo scopo di ottenere la massima aderenza tra il nuovo e il vecchio materiale. Le barre di armatura messe a nudo dovranno essere pulite e rimosse dal cls originario per tutta la superficie in vista.
Si raccomanda l'eliminazione di polveri bagnando a saturazione la superficie.
- 2) **RIPRISTINO CLS.** Utilizzare una malta che abbia le seguenti caratteristiche minime:
 - Il campo di applicazione della malta deve essere relativo al ripristino localizzato e generalizzato del calcestruzzo armato ovvero alla rasatura e protezione monolitica di strutture in calcestruzzo armato (tipicamente sono impiegate malte Tixotropiche MT);
 - Il prodotto essere marcato CE con dichiarazione di prestazione ed essere conforme ai requisiti prestazionali indicati nella UNI EN 1504-3 con classe di resistenza R4;
 - Lo spessore e le modalità di applicazione devono rispettare quanto riportato sulla scheda tecnica;
 - La malta cementizia deve essere a ritiro compensato e contenere preferibilmente fibre sintetiche o fibre inorganiche;
 - L'applicazione della malta deve essere effettuata seguendo le istruzioni presenti sulla scheda tecnica facendo particolare attenzione alle modalità di posa, alla temperatura e alla quantità d'acqua utilizzata;
 - Non è consentito in alcun modo l'inserimento all'interno del saggio di materiali diversi alla malta di riempimento (per esempio inerti o scarti di copriferro);
 - La stagionatura della malta deve avvenire in umido e in accordo con quanto prescritto da scheda tecnica (in particolare nei periodi estivi);
 - Alcuni prodotti, a titolo di esempio, sono riportati di seguito:
 - KERAKOLL - GEOLITE 40 ▪ MAPEI - MAPEGROUT TISSOTROPICO ▪ FASSA BORTOLO - GEOACTIVE TOP B 525
 - KERAKOLL - GEOLITE 10 (basse temperature) ▪ SIKA MONO TOP - 410 AGILE (basse temperature)
- 3) **RIPRISTINO DELL'EVENTUALE VERNICE IMPERMEABILIZZANTE.** Le vernici impermeabilizzanti vanno ripristinate solo ove presenti ed in buono stato di adesione. I materiali da impiegare devono essere concordati con il COMMITTENTE.
- 4) **PROTEZIONE DALL'EVENTUALE DISTACCO.** Nel caso di ripristini effettuati al di sopra della viabilità sottopassante e/o supporti scadenti e/o ripristini all'intradosso dell'elemento occorre posizionare reti a protezione dell'eventuale distacco. La tipologia e il posizionamento delle reti dovrà avvenire secondo il seguente schema:



- NB:**
- **ARMATURA IN CORROSIONE.** Nel caso in cui l'esecutore riscontrasse nell'esecuzione del saggio armatura in cattivo stato di conservazione deve avvisare il COMMITTENTE per concordare le modalità di rilievo.
 - **INCAMICIATURE / RISANAMENTI CORTICALI.** Nel caso siano presenti in opera incamiciature/risanamenti corticali le modalità di ripristino dovranno essere concordate con il COMMITTENTE.

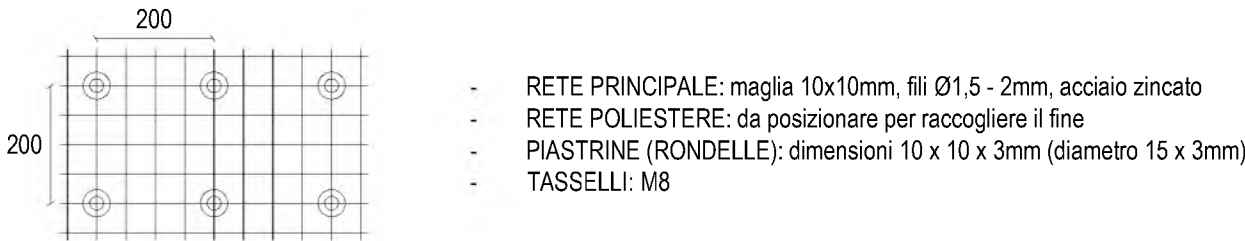
SCHEMA RIPRISTINO SAGGIO VISIVO SU ARMATURA



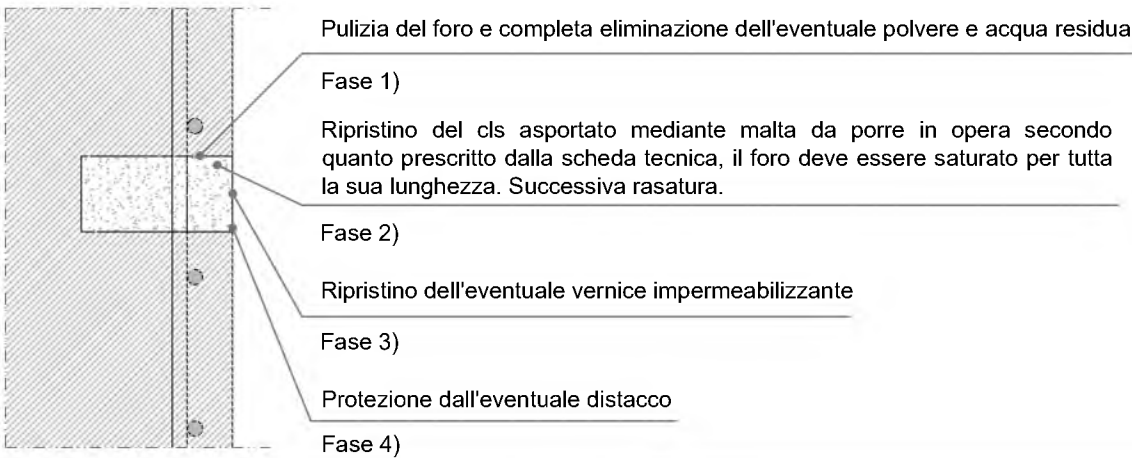
RIPRISTINO PRELIEVO CAROTA DI CALCESTRUZZO

MODALITA' DI ESECUZIONE DEL RIPRISTINO A SEGUITO DELLE INDAGINI

- 1) **PREPARAZIONE DEL SUPPORTO.** Pulizia del foro e completa eliminazione dell'eventuale polvere e residui da eseguirsi immediatamente prima dell'applicazione della malta di ripristino, bagnando a saturazione la superficie;
- 2) **RIPRISTINO CLS.** Utilizzare una malta che abbia le seguenti caratteristiche minime:
 - Il campo di applicazione della malta deve essere relativo al ripristino localizzato e generalizzato del calcestruzzo armato ovvero alla rasatura e protezione monolitica di strutture in calcestruzzo armato (tipicamente sono impiegate malte Tixotropiche MT);
 - Il prodotto essere marcato CE con dichiarazione di prestazione ed essere conforme ai requisiti prestazionali indicati nella UNI EN 1504-3 con classe di resistenza R4;
 - Lo spessore e le modalità di applicazione devono rispettare quanto riportato sulla scheda tecnica;
 - La malta cementizia deve essere a ritiro compensato e contenere preferibilmente fibre sintetiche o fibre inorganiche;
 - L'applicazione della malta deve essere effettuata seguendo le istruzioni presenti sulla scheda tecnica facendo particolare attenzione alle modalità di posa, alla temperatura e alla quantità d'acqua utilizzata;
 - Non è consentito in alcun modo l'inserimento all'interno del saggio di materiali diversi alla malta di riempimento (per esempio inerti o scarti di copriferro);
 - La stagionatura della malta deve avvenire in umido e in accordo con quanto prescritto da scheda tecnica (in particolare nei periodi estivi);
 - Il foro deve essere saturato per tutta la sua lunghezza;
 - Alcuni prodotti, a titolo di esempio, sono riportati di seguito:
 - KERAKOLL - GEOLITE 40 ▪ MAPEI - MAPEGROUT TISSOTROPICO ▪ FASSA BORTOLO - GEOACTIVE TOP B 525
 - KERAKOLL - GEOLITE 10 (basse temperature) ▪ SIKA MONO TOP - 410 AGILE (basse temperature)
- 3) **RIPRISTINO DELL'EVENTUALE VERNICE IMPERMEABILIZZANTE.** Le vernici impermeabilizzanti vanno ripristinate solo ove presenti ed in buono stato di adesione. I materiali da impiegare devono essere concordati con il COMMITTENTE.
- 4) **PROTEZIONE DALL'EVENTUALE DISTACCO.** Nel caso di ripristini effettuati al di sopra della viabilità sottopassante e/o supporti scadenti e/o ripristini all'intradosso dell'elemento occorre posizionare reti a protezione dell'eventuale distacco. La tipologia e il posizionamento delle reti dovrà avvenire secondo il seguente schema:



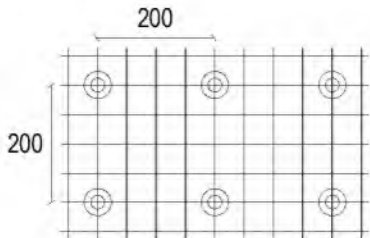
SCHEMA RIPRISTINO PRELIEVO CAROTA DI CLS



RIPRISTINO PRELIEVO BARRA DI ARMATURA LENTA

MODALITA' DI ESECUZIONE DEL RIPRISTINO A SEGUITO DELLE INDAGINI

- 1) **PREPARAZIONE DELLE BARRE DI ARMATURA.** Dopo il prelievo della barra devono essere preparate le porzioni sulle quali andranno a saldarsi le barre o la barra di ripristino mediante smerigliatura a metallo vivo;
- 2) **TIPOLOGIA DI COLLEGAMENTO TRA LE BARRE.** I nuovi spezzoni di armatura devono essere del tipo B450C, senza tracce di ossidazione, opportunamente sovrapposte a quella in opera mediante saldatura secondo una delle seguenti modalità:
Tipo 1 (Giunzione saldata utilizzando due barre) - la sezione complessiva (in cm²) delle due nuove barre deve essere almeno uguale alla sezione della barra da ripristinare;
Tipo 2 (Giunzione saldata utilizzando una barra) - la sezione della nuova barra (in cm²) è uguale alla sezione della barra da ripristinare;
- 3) **GIUNZIONE SALDATA.** Si richiede saldatura ad arco utilizzando un elettrodo con rivestimento basico, tipo **E7018-1** (secondo AWS A5.1) oppure almeno **E50** (secondo UNI 2560-A). I procedimenti e i saldatori impiegati dovranno essere qualificati secondo la UNI EN ISO 9606-1:2017 "Prove di qualificazione dei saldatori - Saldatura per fusione - Parte 1: Acciai" e secondo la UNI EN ISO 17660-1:2007 "Saldatura - Saldatura degli acciai d'armatura - Parte 1: Giunti saldati destinati alla trasmissione del carico".
- 4) **PREPARAZIONE DEL SUPPORTO DI CLS.** Pulizia e eliminazione di tutte le parti non saldamente vincolate al substrato esistente. La superficie di cls dovrà risultare macroscopicamente ruvida allo scopo di ottenere la massima aderenza tra il nuovo e il vecchio materiale. Si raccomanda l'eliminazione di polveri bagnando a saturazione la superficie;
- 5) **RIPRISTINO CLS.** Utilizzare una malta che abbia le seguenti caratteristiche minime:
- Il campo di applicazione della malta deve essere relativo al ripristino localizzato e generalizzato del calcestruzzo armato ovvero alla rasatura e protezione monolitica di strutture in calcestruzzo armato (tipicamente sono impiegate malte Tixotropiche MT);
 - Il prodotto essere marcato CE con dichiarazione di prestazione ed essere conforme ai requisiti prestazionali indicati nella UNI EN 1504-3 con classe di resistenza R4;
 - Lo spessore e le modalità di applicazione devono rispettare quanto riportato sulla scheda tecnica;
 - La malta cementizia deve essere preferibilmente anti ritiro e contenente fibre sintetiche o fibre inorganiche;
 - L'applicazione della malta deve essere effettuata seguendo le istruzioni di posa presenti sulla scheda tecnica facendo particolare attenzione alle modalità, alla temperatura e alla quantità d'acqua utilizzata;
 - Non è consentito in alcun modo l'inserimento all'interno del saggio di materiali diversi alla malta di riempimento (per esempio inerti o scarti di copriferro);
 - La stagionatura della malta deve avvenire in umido e in accordo con quanto prescritto da scheda tecnica (in particolare nei periodi estivi);
 - Alcuni prodotti, a titolo di esempio, sono riportati di seguito:
 - KERAKOLL - GEOLITE 40
 - MAPEI - MAPEGROUT TISSOTROPICO
 - FASSA BORTOLO - GEOACTIVE TOP B 525
 - KERAKOLL - GEOLITE 10 (basse temperature)
 - SIKA MONO TOP - 410 AGILE (basse temperature)
- 6) **RIPRISTINO DELL'EVENTUALE VERNICE IMPERMEABILIZZANTE.** Le vernici impermeabilizzanti vanno ripristinate solo ove presenti ed in buono stato di adesione. I materiali da impiegare devono essere concordati con il COMMITTENTE;
- 7) **PROTEZIONE DALL'EVENTUALE DISTACCO.** Nel caso di ripristini effettuati al di sopra della viabilità sottopassante e/o supporti scadenti e/o ripristini all'intradosso dell'elemento occorre posizionare reti a protezione dell'eventuale distacco. La tipologia e il posizionamento delle reti dovrà avvenire secondo il seguente schema:

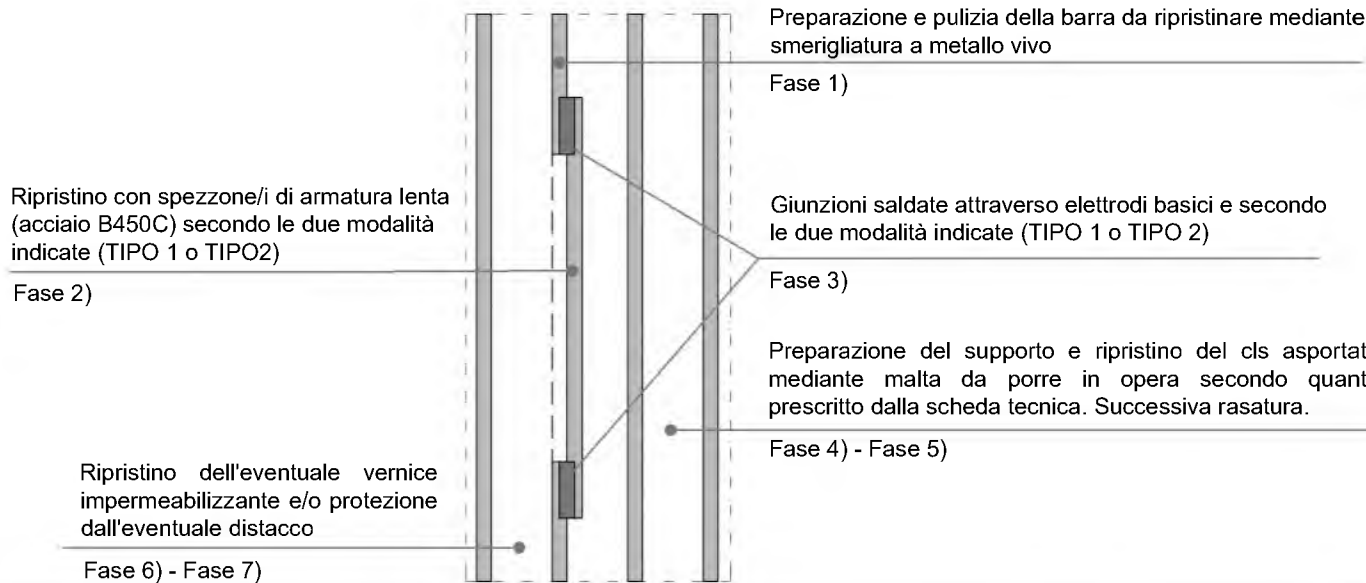


- RETE PRINCIPALE: maglia 10x10mm, fili Ø1,5 - 2mm, acciaio zincato
- RETE POLIESTERE: da posizionare per raccogliere il fine
- PIASTRINE (RONDELLE): dimensioni 10 x 10 x 3mm (diametro 15 x 3mm)
- TASSELLI: M8

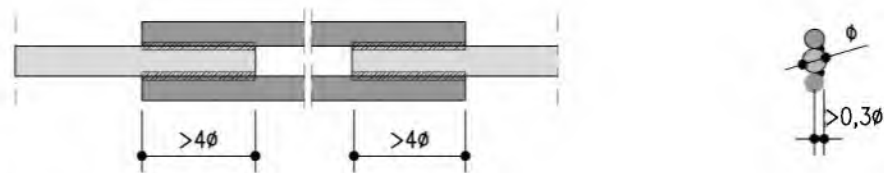
NB:

- **ARMATURA IN CORROSIONE.** Nel caso in cui l'esecutore riscontrasse nell'esecuzione del saggio armatura in cattivo stato di conservazione deve avvisare il COMMITTENTE per concordare lo spostamento del prelievo.
- **INCAMICIATURE / RISANAMENTI CORTICALI.** Nel caso siano presenti in opera incamiciature/risanamenti corticali le modalità di ripristino dovranno essere concordate con il COMMITTENTE.

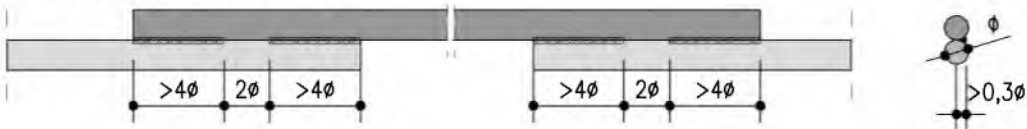
SCHEMA RIPRISTINO PRELIEVO BARRA DI ARMATURA



GIUNZIONE SALDATA TIPO 1



GIUNZIONE SALDATA TIPO 2



RIPRISTINO SAGGIO SU CAVO POST TESO

MODALITA' DI ESECUZIONE DEL RIPRISTINO A SEGUITO DELLE INDAGINI

- 1) **PULIZIA DEL SAGGIO.** Pulizia dell'armatura di precompressione da polvere e residui di demolizione mediante aria compressa. E' possibile lavare il saggio con acqua, ma dovrà essere successivamente asciugato mediante aria compressa.

2) **RIPRISTINO INIEZIONE ASPORTATA.** Ripristino della porzione di iniezione asportata mediante l'applicazione di grasso (litio o rame). Il grasso dovrà essere spalmato con pennello e non a spray. Alternativamente è consentito l'impiego di resina epossidica bicomponente (per esempio tipo Wurth). Lo scopo è proteggere l'armatura di precompressione per evitare che possa essere soggetta a degrado.

3) **RICHIUSURA DEI LEMBI DELLA GUAINA.**

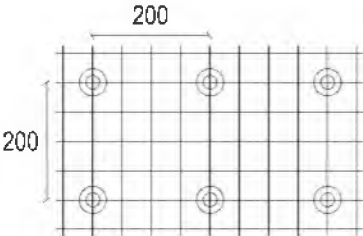
4) **PREPARAZIONE DEL SUPPORTO.** Pulizia e eliminazione di tutte le parti non saldamente vincolate al substrato esistente.
La superficie di cls dovrà risultare macroscopicamente ruvida allo scopo di ottenere la massima aderenza tra il nuovo e il vecchio materiale. Le barre di armatura messe a nudo dovranno essere pulite e rimosse dal cls originario per tutta la superficie in vista. Si raccomanda l'eliminazione di polveri bagnando a saturazione la superficie.

5) **RIPRISTINO CLS.** Utilizzare una malta che abbia le seguenti caratteristiche minime:

 - Il campo di applicazione della malta deve essere relativo al ripristino localizzato e generalizzato del calcestruzzo armato ovvero alla rasatura e protezione monolitica di strutture in calcestruzzo armato (tipicamente sono impiegate malte Tixotropiche MT);
 - Il prodotto essere marcato CE con dichiarazione di prestazione ed essere conforme ai requisiti prestazionali indicati nella UNI EN 1504-3 con classe di resistenza R4;
 - Lo spessore e le modalità di applicazione devono rispettare quanto riportato sulla scheda tecnica;
 - La malta cementizia deve essere a ritiro compensato e contenere preferibilmente fibre sintetiche o fibre inorganiche;
 - L'applicazione della malta deve essere effettuata seguendo le istruzioni presenti sulla scheda tecnica facendo particolare attenzione alle modalità di posa, alla temperatura e alla quantità d'acqua utilizzata;
 - Non è consentito in alcun modo l'inserimento all'interno del saggio di materiali diversi alla malta di riempimento (per esempio inerti o scarti di copriferro);
 - La stagionatura della malta deve avvenire in umido e in accordo con quanto prescritto da scheda tecnica (in particolare nei periodi estivi);
 - Alcuni prodotti, a titolo di esempio, sono riportati di seguito:
 - KERAKOLL - GEOLITE 40 ▪ MAPEI - MAPEGROUT TISSOTROPICO ▪ FASSA BORTOLO - GEOACTIVE TOP B 525
 - KERAKOLL - GEOLITE 10 (basse temperature) ▪ SIKA MONO TOP - 410 AGILE (basse temperature)

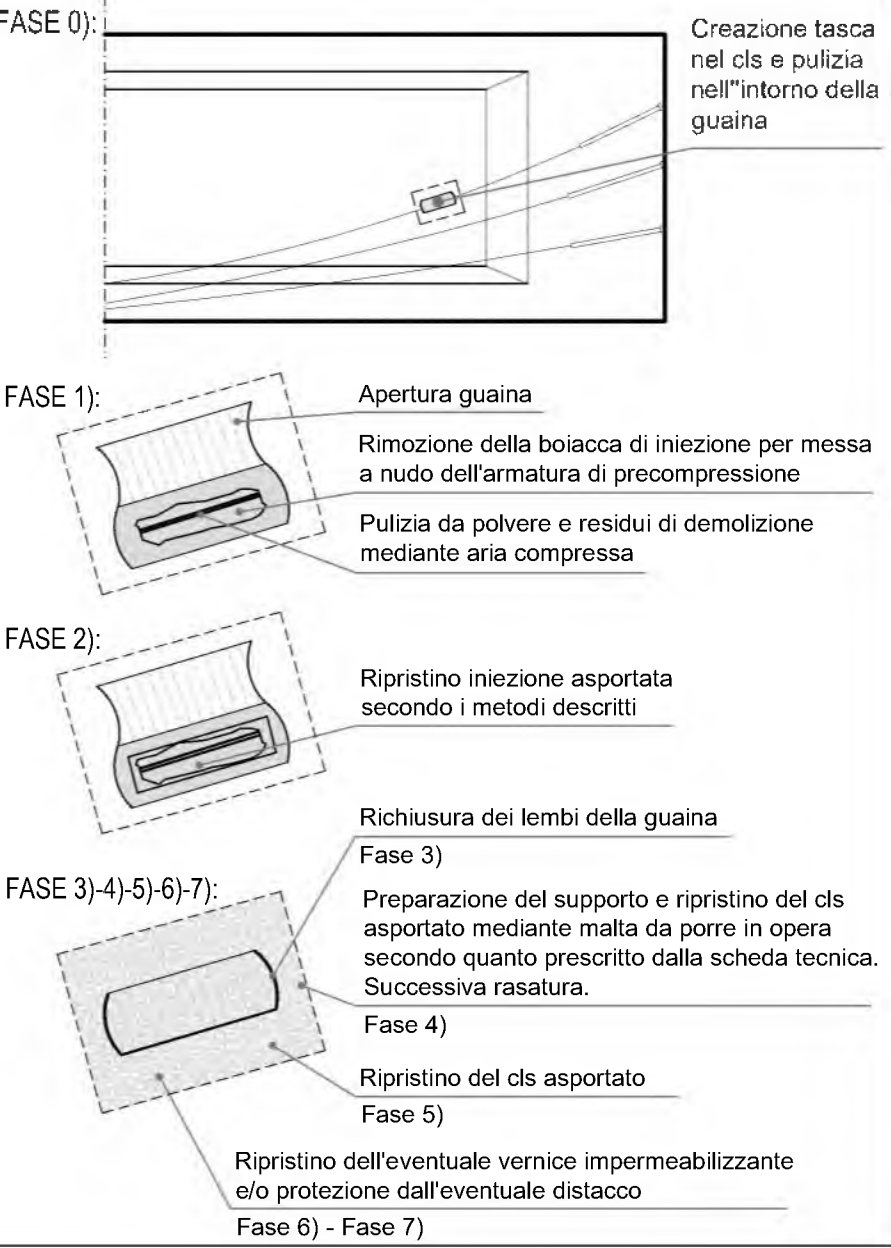
6) **RIPRISTINO DELL'EVENTUALE VERNICE IMPERMEABILIZZANTE.** Le vernici impermeabilizzanti vanno ripristinate solo ove presenti ed in buono stato di adesione.
I materiali da impiegare devono essere concordati con il COMMITTENTE.

7) **PROTEZIONE DALL'EVENTUALE DISTACCO.** Nel caso di ripristini effettuati al di sopra della viabilità sottopassante e/o supporti scadenti e/o ripristini all'intradosso dell'elemento occorre posizionare reti a protezione dell'eventuale distacco.
La tipologia e il posizionamento delle reti dovrà avvenire secondo il seguente schema:



-RETE PRINCIPALE: maglia 10x10mm, fili Ø1,5 - 2mm, acciaio zincato
-RETE POLIESTERE: da posizionare per raccogliere il fine
-PIASTRINE (RONDELLE): dimensioni 10 x 10 x 3mm (diametro 15 x 3mm)
-TASSELLI: M8

NB:

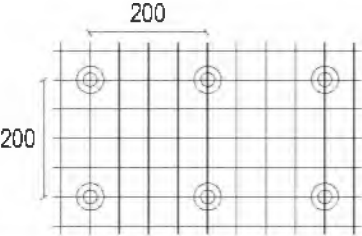
 - ARMATURA IN CORROSIONE. Nel caso in cui l'esecutore riscontrasse nell'esecuzione del saggio armatura in cattivo stato di conservazione deve avvisare il COMMITTENTE per concordare le modalità di rilievo.
 - INCAMICIATURE / RISANAMENTI CORTICALI. Nel caso siano presenti in opera incamiciature/risanamenti corticali le modalità di ripristino dovranno essere concordate con il COMMITTENTE.
- SCHEMA RIPRISTINO SAGGI SU CAVI
- 
- RIPRISTINO ENDOSCOPIA SU CAVO POST TESO
- MODALITA' DI ESECUZIONE DEL RIPRISTINO A SEGUITO DELLE INDAGINI
- 1) **PULIZIA DEL FORO.** Pulizia da polvere e residui di demolizione tramite aria compressa. E' possibile lavare il foro con acqua, ma dovrà essere successivamente asciugato mediante aria compressa.

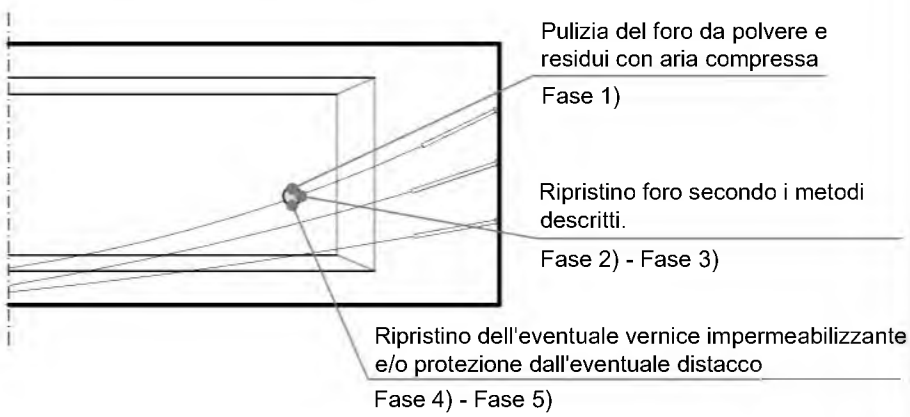
2) **RIPRISTINO FORO.** Ripristino eseguito mediante l'applicazione di grasso (litio o rame) da iniettare mediante opportuna pistola. Alternativamente al grasso è consentito l'utilizzo di resina epossidica bicomponente (per esempio tipo Wurth) saturando il foro eseguito. In questa fase è importante proteggere l'armatura di precompressione per evitare che possa essere soggetta a degrado.

3) **RIPRISTINO CLS.** Sigillare il foro con tappo di malta indicata per i saggi visivi. Il foro deve essere saturato per tutta la sua lunghezza.

4) **RIPRISTINO DELL'EVENTUALE VERNICE IMPERMEABILIZZANTE.** Le vernici impermeabilizzanti vanno ripristinate solo ove presenti ed in buono stato di adesione.
I materiali da impiegare devono essere concordati con il COMMITTENTE.

5) **PROTEZIONE DALL'EVENTUALE DISTACCO.** Nel caso di ripristini effettuati al di sopra della viabilità sottopassante e/o supporti scadenti e/o ripristini all'intradosso dell'elemento occorre posizionare reti a protezione dell'eventuale distacco.
La tipologia e il posizionamento delle reti dovrà avvenire secondo il seguente schema:



-RETE PRINCIPALE: maglia 10x10mm, fili Ø1,5 - 2mm, acciaio zincato
-RETE POLIESTERE: da posizionare per raccogliere il fine
-PIASTRINE (RONDELLE): dimensioni 10 x 10 x 3mm (diametro 15 x 3mm)
-TASSELLI: M8
- SCHEMA RIPRISTINO ENDOSCOPIE SU CAVI POST TESI
- 
- SCALA DI STAMPA: 1=1

RIPRISTINO IN SEGUITO A PRELIEVI DI ACCIAIO DA CARPENTERIA

MODALITA' DI ESECUZIONE RIPRISTINI A SEGUITO DELLE INDAGINI

Le caratteristiche del tallone di ripristino devono essere note all'operatore prima dell'esecuzione del prelievo. L'esecutore deve attenersi scrupolosamente a quanto prescritto ai capitoli §5.1 e §6 del "DISCIPLINARE TECNICO PER L'ESECUZIONE DI INDAGINI STRUTTURALI CONOSCITIVE E MODALITA' DI RESTITUZIONE (IT-IND1-STR-001-Rev1)".

Qualora vi fossero dubbi o mancanza di informazioni concordare con il COMMITTENTE/PROGETTISTA le caratteristiche/modalità ottimali del ripristino.

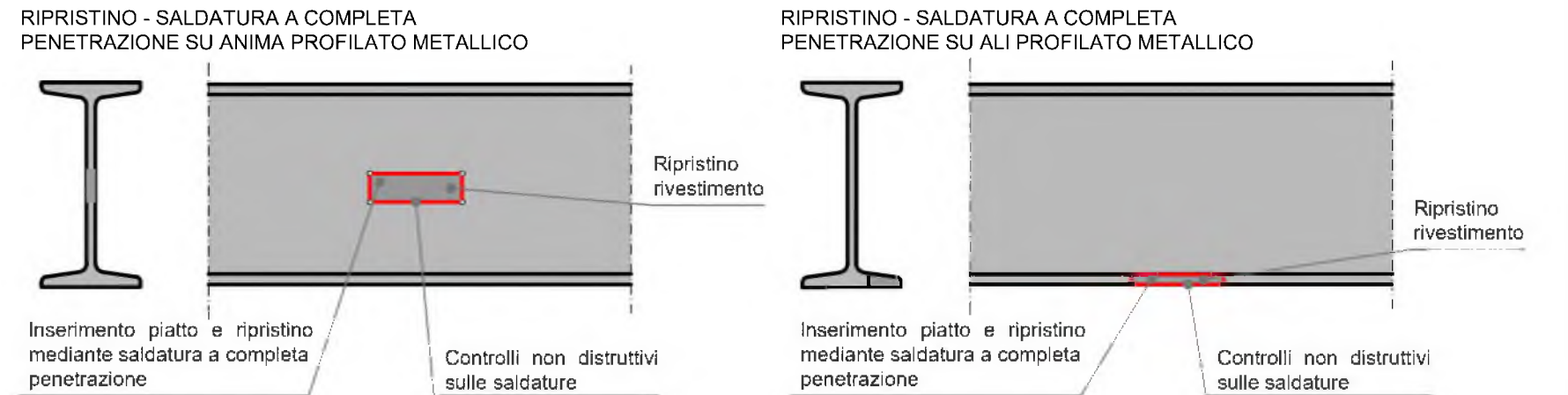
Il ripristino verrà realizzato rispettando i seguenti punti:

- PRELIEVO.** Prelievo del tallone secondo quanto prescritto nel disciplinare (IT-IND1-STR-001-Rev1) Particolare attenzione dovrà essere prestata a non lasciare spigoli vivi che potrebbero compromettere la successiva saldatura, così come da seguente schema:
-
- RIPRISTINO.** Ripristino della sezione inserendo il tallone di ripristino, opportunamente preparato secondo gli schemi riportati di seguito e seguendo quanto prescritto nel disciplinare (IT-IND1-STR-001-Rev1);
 - SALDATURA.** Deve essere eseguita a completa penetrazione, su entrambi i lati dell'elemento (oppure da un lato con l'impiego di un supporto ceramico amovibile, compatibilmente con il limite operativo legato allo spessore).
- In caso di condizioni di saldatura non presenti in questo tipologico (spessori, tipologia saldatura) è opportuno valutare con il COMMITTENTE le modalità operative in accordo con la UNI EN ISO 9692-1:2013.
- La completa penetrazione è raggiunta quando la fusione del materiale di base avviene lungo tutto lo spessore del pezzo da saldare.
- Si richiede la saldatura ad arco con elettrodo basico rivestito di diametro adeguato.
- CONTROLLI NON DISTRUTTIVI SU SALDATURE.** Esecuzione di controlli non distruttivi secondo le modalità indicate nel disciplinare (IT-IND1-STR-001-Rev1)
 - RIPRISTINO RIVESTIMENTO CARPENTERIA METALLICA.** Vedere descrizione.

STRALCIO SCHEMI CIANFRINATURE UNI EN ISO 9692-1:2013

SALDATURE TESTA A TESTA SU UN SOLO LATO			SALDATURE TESTA A TESTA SU ENTRAMBI I LATI		
MEZZA V SENZA RIPRESA		$3 < t \leq 10\text{mm}$ $35^\circ \leq \beta \leq 60^\circ$ $2 \leq b \leq 4\text{mm}$ $1 \leq c \leq 1\text{mm}$	LEMBI RETTI		$t \leq 8\text{mm}$ $b \approx t/2$
V SENZA RIPRESA		$3 < t \leq 10\text{mm}$ $40^\circ \leq \alpha \leq 60^\circ$ $b \leq 4\text{mm}$ $c \leq 2\text{mm}$	MEZZA V + RIPRESA		$3 \leq t \leq 30\text{mm}$ $35^\circ \leq \beta \leq 60^\circ$ $1 \leq b \leq 4\text{mm}$ $c \leq 2\text{mm}$
Y SENZA RIPRESA		$5 \leq t \leq 40\text{mm}$ $\alpha \approx 60^\circ$ $1 \leq b \leq 4\text{mm}$ $2 \leq c \leq 4\text{mm}$	V + RIPRESA		$3 \leq t \leq 40\text{mm}$ $\alpha \approx 60^\circ$ $b \leq 3\text{mm}$ $c \leq 2\text{mm}$
			X		$t > 10$ $\alpha \approx 60^\circ$ $1 \leq b \leq 3\text{mm}$ $c \leq 2\text{mm}$ $h \approx t/2$
			K SIMMETRICO		$t > 10$ $35^\circ \leq \beta \leq 60^\circ$ $1 \leq b \leq 4\text{mm}$ $c \leq 2\text{mm}$ $h = t/2 \text{ O } t/3$
			NB: - L'impiego di uno o dell'altro tipo di cianfrinatura deve essere concordato con il COMMITTENTE prima dell'avvio delle attività - Cianfrinature diverse da quelle indicate saranno utilizzate solo previo accordo con il COMMITTENTE		

SCHEMA RIPRISTINO PRELIEVO SU ANIMA DEL PROFILATO METALLICO



RIPRISTINO DI BULLONI IN SEGUITO A PRELIEVI

MODALITA' DI ESECUZIONE RIPRISTINI A SEGUITO DI PRELIEVI

L'esecutore dovrà presentarsi in situ provvisto di strumentazione idonea per l'estrazione e l'immediato ripristino.

Le caratteristiche del bullone da ripristinare devono essere note all'esecutore prima dell'esecuzione del prelievo, altrimenti non dovrà procedere.

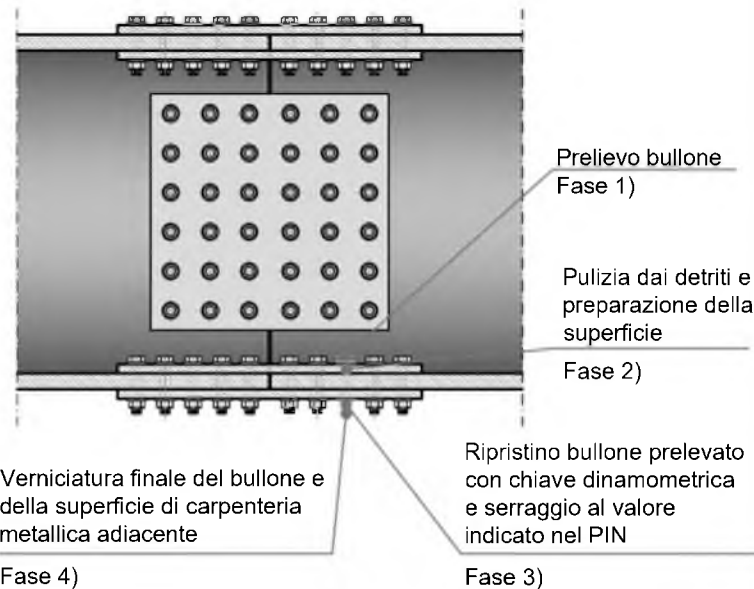
L'esecutore deve attenersi scrupolosamente a quanto descritto nel §5.2 del "DISCIPLINARE TECNICO PER L'ESECUZIONE DI INDAGINI STRUTTURALI CONOSCITIVE E MODALITA' DI RESTITUZIONE (IT-IND1-STR-001-Rev1)".

Qualora vi fossero dubbi o mancanza di informazioni concordare con il COMMITTENTE / PROGETTISTA le caratteristiche/modalità ottimali del ripristino.

Il ripristino sarà articolato secondo le seguenti fasi:

- PRELIEVO.** Esecuzione del prelievo secondo quanto prescritto nel §5.2 del disciplinare (IT-IND1-STR-001-Rev1);
- PREPARAZIONE DELLA SUPERFICIE.** Pulizia tramite spazzolatura dei detriti/vernice presenti sulla carpenteria metallica intorno al foro dove andrà reinserito il nuovo bullone;
- RIPRISTINO.** Ripristino del bullone prelevato e serraggio con chiave dinamometrica secondo quanto indicato nel § 5.3 del disciplinare;
- RIPRISTINO RIVESTIMENTO.** Vedere descrizione.

SCHEMA RIPRISTINO PRELIEVO BULLONI



RIPRISTINO RIVESTIMENTO CARPENTERIA METALLICA

- RAL.** Deve essere indicato nel piano di indagine o concordato con il COMMITTENTE (eventualmente può essere determinato con misurazione in campo mediante colorimetro, prima dell'esecuzione delle indagini).
- PREPARAZIONE DELLA SUPERFICIE.** In seguito all'esecuzione delle indagini sulla carpenteria metallica quali prelievo, prove di durezza, controlli in situ di saldature e spessimetrie a ultrasuoni è necessario rendere la superficie priva di incisioni e ripulirla da ogni impurità mediante solvente. Non è richiesta la sabbatura ma una omogeneità della superficie da realizzarsi mediante disco abrasivo (esclusi i cordoni di saldatura).
- DELIMITAZIONE AREA DI VERNICIATURA.** Delimitazione delle aree in forme regolari con nastro adesivo (sovrapponendo la zona con verniciatura preesistente all'circa 5 cm).
- CICLO DI VERNICIATURA.** Verniciatura con sistema protettivo per ambiente C5 durata attesa VH (> 15 anni) o C4 durata attesa VH (> 25 anni) secondo ISO 12944:2018 con ciclo certificato fornito dal produttore contenente lo spessore dei vari strati da applicare (sia di film umido e secco) composto da Primer e Smalto/Finitura. Dovrà essere fornita al COMMITTENTE copia del ciclo certificato. Per la preparazione della superficie considerare unicamente quanto previsto al punto 2).
- APPLICAZIONE RIVESTIMENTO.** Applicazione di ogni strato mediante pennello, rullo o spruzzo secondo quanto indicato dalle specifiche del produttore.
- VERIFICA SPESSORI APPLICATI.** Ad ogni mano di applicazione, in funzione dei tempi di asciugatura forniti dal produttore (sulla base della temperatura di applicazione) dovrà essere misurato ogni spessore applicato mediante spessimetro ad ultrasuoni per rivestimenti (film secco) o spessimetro a pettine (film umido) fornendo opportuna documentazione fotografica.

RIPRISTINO SAGGIO SU RINFORZO PRECOMPRESSIONE ESTERNA

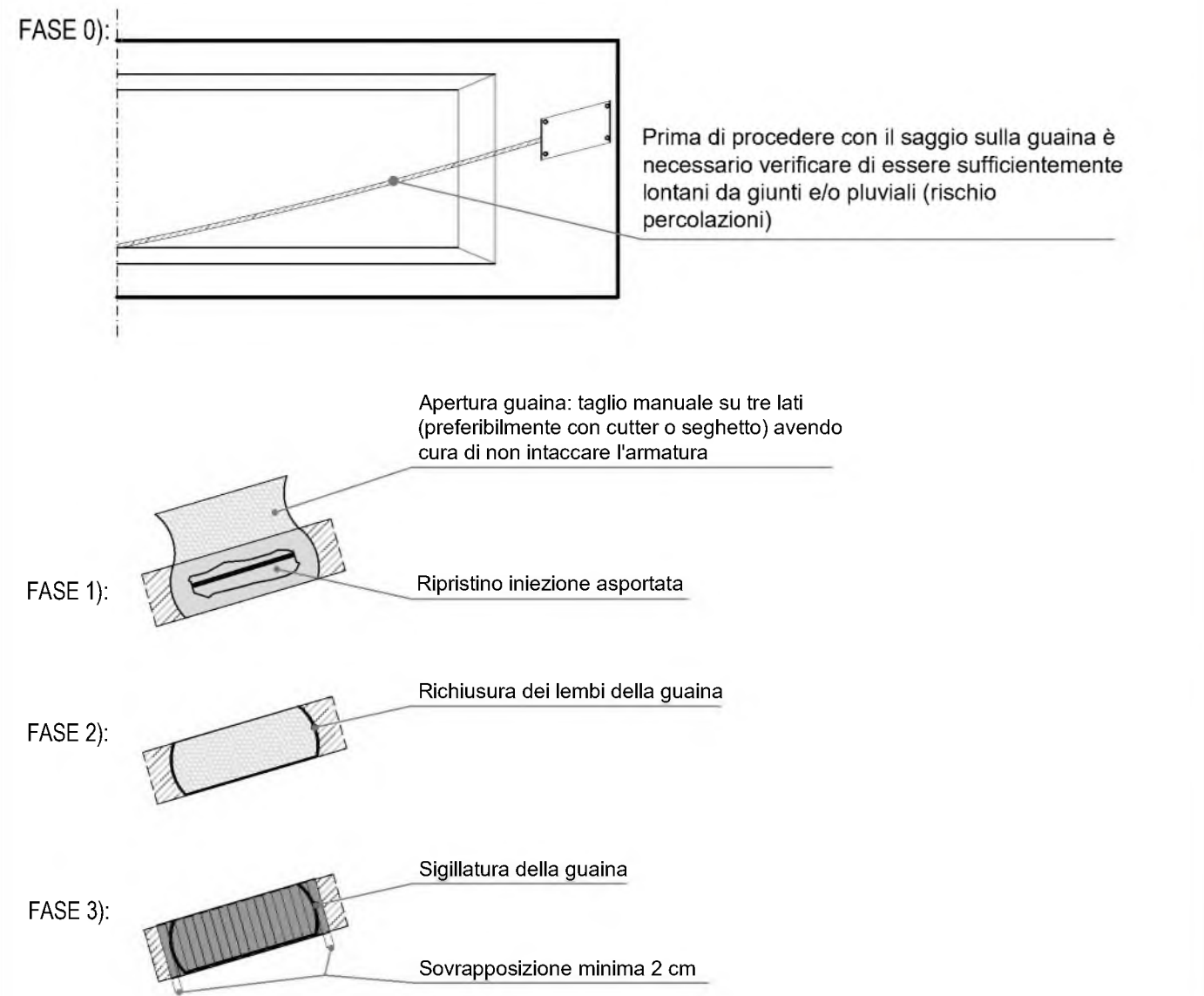
MODALITA' DI ESECUZIONE DEL RIPRISTINO A SEGUITO DELLE INDAGINI

- 1) **RIPRISTINO INIEZIONE ASPORTATA.** Nel caso in cui fosse presente materiale a protezione dell'acciaio armonico, ripristino della porzione di iniezione asportata mediante l'applicazione di grasso (litio o rame). Il grasso dovrà essere spalmato con pennello e non a spray. Lo scopo è proteggere l'armatura di precompressione per evitare che possa essere soggetta a degrado.
- 2) **RICHIUSURA DEI LEMBI DELLA GUAINA.** Nel caso la porzione di guaina aperta (come da schema) dovesse staccarsi o debba essere rimossa per ragioni operative procedere inserendo un tallone di dimensioni opportune e dello stesso materiale e spessore del rivestimento asportato incollandolo al supporto mediante resina.
- 3) **SIGILLATURA DELLA GUAINA.** Nel caso più comune di guaina in PVC impiegare nastro autovulcanizzante (tipo 3M) applicandolo per uno spessore almeno pari a quello del rivestimento. Il nastro dovrà sovrapporsi per almeno 2 cm alla guaina originaria intatta (come da schema).

NB:

- Il ripristino di guaine di materiali non usuali essere concordato con il COMMITTENTE
- **ARMATURA IN CORROSIONE.** Nel caso in cui l'esecutore riscontrasse nell'esecuzione del saggio armatura in cattivo stato di conservazione deve avvisare il COMMITTENTE per concordare le modalità di rilievo.

SCHEMA RIPRISTINO SAGGIO SU PRECOMPRESSIONE ESTERNA



RIPRISTINO SAGGI SU PAVIMENTAZIONE

MODALITA' DI ESECUZIONE RIPRISTINO INDAGINE TIPO 1: SAGGIO VISIVO

- 1) Pulizia della trincea e regolarizzazione dei bordi dello scavo;
- 2) Ripristino impermeabilizzazione mediante stesura di guaina adeguatamente sovrapposta ai lembi di guaina esistente con utilizzo di un cannello;
- 3) Riempimento a mano della trincea con conglomerato bituminoso a freddo per metà spessore (tipo AIRPHALT);
- 4) Compattazione del primo strato di conglomerato bituminoso con batterina;
- 5) Riempimento con un secondo strato di conglomerato e successivo costipamento al fine di collegare saldamente i singoli strati e ripristinare la continuità del piano viabile.

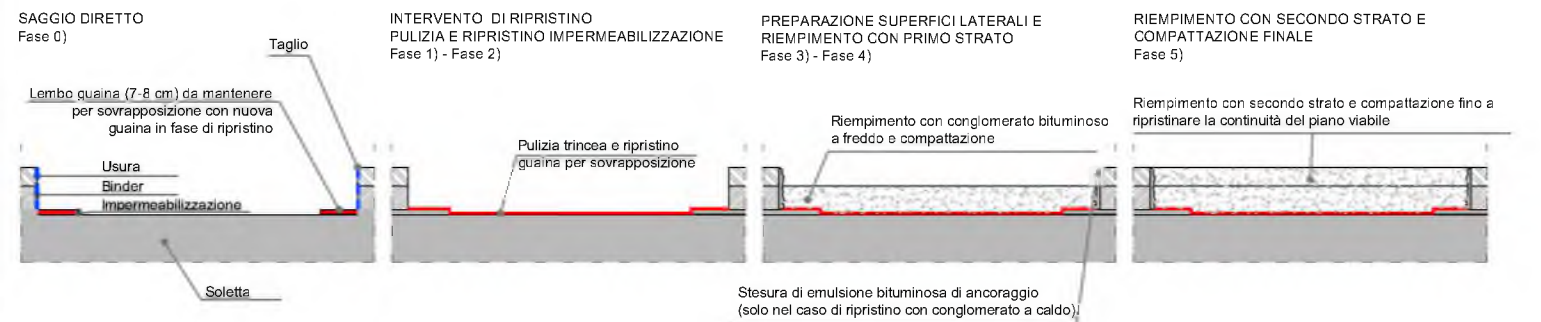
Se l'intervento ricade in corsia di marcia o di sorpasso si prescrive l'utilizzo di conglomerato bituminoso a caldo. Si prevede in questo caso, dopo la fase 2, la preparazione della stesa con l'applicazione di emulsione bituminosa sulle superfici e l'uso di idonei mezzi di compattazione.

PRESCRIZIONI

- In presenza di un eventuale strato al di sotto dell'impermeabilizzazione, come fase preliminare si richiede il riempimento con materiale cementizio idoneo (coerente con l'esistente) fino al piano di appoggio dell'impermeabilizzazione.
- Per i ripristini a caldo, in presenza di difficoltà di approvvigionamento dei materiali per strati di usura e binder ed in accordo con la direzione di Tronco, si prescrive il riempimento con un unico materiale di tipo chiuso, preferibilmente usura.
- Si richiede di instaurare un dialogo con la DT per capire se sono previste future operazioni di manutenzione in modo da calibrare gli interventi e la scelta dei materiali su tali futuri rifacimenti.

Per la tipologia del materiale di ripristino e la successiva messa in opera si richiede di instaurare un dialogo con la DT di riferimento.

SCHEMA RIPRISTINO SAGGI (TIPO1)



MODALITA' DI ESECUZIONE RIPRISTINO INDAGINE TIPO 2: PRELIEVO CAROTE SU PAVIMENTAZIONE

- 1) Pulizia del foro e completa eliminazione dell'eventuale acqua residua da eseguirsi immediatamente prima del riempimento della cavità con conglomerato bituminoso di ripristino;
- 2) Colatura di bitume caldo al fine di ripristinare l'impermeabilizzazione;
- 3) Compattazione del materiale attraverso l'ausilio di un punteruolo e di un pestello e riempimento a strati in modo da restituire una superficie regolare a fine intervento.

In caso di carotaggi eseguiti all'interno della corsia di marcia o in presenza di un cantiere vicino impegnato in asfaltature, si prevede l'uso di conglomerato bituminoso a caldo prescrivendo la necessità di procedere con la fase 3 di compattazione.

Per la tipologia del materiale di ripristino e la successiva messa in opera si richiede di instaurare un dialogo con la DT di riferimento.

SCHEMA RIPRISTINO CAROTE (TIPO 2)



OPERA: _____**CODICE AGE:** _____._____._____._____**TIPOLOGIA DI INDAGINE/PROVA: SCLEROMETRIA****CODICE PROVA:** _____☐ CONTROLLO DELLA SUPERFICIE DI PROVA

(NEL CASO SIANO PRESENTI VESPAI, ASPERITÀ, VUOTI ESEGUIRE LA PROVA IN ALTRA ZONA)

INTERVENTI ☐ NOPREESISTENTI DI ☐ SI

RIPRISTINO Spessore: _____ mm

☐ INDIVIDUAZIONE BARRE DI ARMATURA
CON PACOMETRO / GEORADAR☐ FOTO TRACCE DELLA PACOMETRIA ESEGUITA - SI
DEVE LEGGERE IL CODICE DELLA PROVA
SCRITTO SULL'ELEMENTODIREZIONE BATTUTE ☐ 0° ☐ ± 90°☐ LAVORAZIONE DELLA SUPERFICIE DI PROVA CON PIETRA ABRASIVA

1: _____ 2: _____ 3: _____ 4: _____ 5: _____ 6: _____

LETTURE:

7: _____ 8: _____ 9: _____ 10: _____ 11: _____ 12: _____

☐ FOTO PUNTI DOVE SONO STATE ESEGUITE LE LETTURE - SI DEVE LEGGERE IL CODICE DELLA
PROVA SCRITTO SULL'ELEMENTO☐ INDICARE LA DISTANZA DELLA PROVA DA PUNTI NOTI (PILA, SPALLA, APPOGGIO ECC)**TIPOLOGIA DI INDAGINE/PROVA: ULTRASUONI****CODICE PROVA:** _____

MODALITA' DI TRASMISSIONE:

☐ DIRETTA
☐ SEMIDIRETTA☐ CALIBRAZIONE DELLO STRUMENTO

MODELLO: _____

☐ CONTROLLO DELLA SUPERFICIE DI PROVA

(NEL CASO SIANO PRESENTI VESPAI, ASPERITÀ, VUOTI ESEGUIRE LA PROVA IN ALTRA ZONA)

INTERVENTI ☐ NOPREESISTENTI DI ☐ SI

RIPRISTINO Spessore: _____ mm

☐ INDIVIDUAZIONE BARRE DI ARMATURA
CON PACOMETRO / GEORADAR☐ FOTO TRACCE DELLA PACOMETRIA ESEGUITA - SI
DEVE LEGGERE IL CODICE DELLA PROVA
SCRITTO SULL'ELEMENTO☐ PREPARAZIONE DEL PUNTO DI PROVA

LETTURE:

1 DISTANZA: _____ mm

TEMPO : _____

2 DISTANZA: _____ mm

TEMPO : _____

3 DISTANZA: _____ mm

TEMPO : _____

4 DISTANZA: _____ mm

TEMPO : _____

5 DISTANZA: _____ mm

TEMPO : _____

6 DISTANZA: _____ mm

TEMPO : _____

7 DISTANZA: _____ mm

TEMPO : _____

8 DISTANZA: _____ mm

TEMPO : _____

9 DISTANZA: _____ mm

TEMPO : _____

☐ FOTO PUNTI DOVE SONO STATE ESEGUITE LE LETTURE - SI DEVE LEGGERE IL CODICE DELLA
PROVA SCRITTO SULL'ELEMENTO☐ INDICARE LA DISTANZA DELLA PROVA DA PUNTI NOTI (PILA, SPALLA, APPOGGIO ECC)**DATA:** ____ / ____ / _____**ORA:** ____ : ____ / ____ : ____**TECNICO:** _____

SCHEMI / NOTE / OSSERVAZIONI:

Modello

OPERA: _____**CODICE AGE:** _____._____.____.**TIPOLOGIA DI INDAGINE/PROVA: PULL OUT****CODICE PROVA:** _____

- ☐ TRACCIAMENTO BARRE DI ARMATURA CON PACOMETRO / GEORADAR
- ☐ INDICARE IN UNO SCHEMA L'UBICAZIONE UNIVOCA DELLA PROVA RISPETTO A PUNTI NOTI (PILA, SPALLA, APPOGGIO, INTRADOSSO ECC)

☐ PULIZIA DEI FORI

A _____ KN

FORZA DI
ESTRAZIONE:

B _____ KN

C _____ KN

☐ FOTO TASSELLI ESTRATTI E FOTO FORI
ESEGUITI SULL'ELEMENTO - SI DEVE
LEGGERE IL CODICE DELLA PROVA
SCRITTO SULL'ELEMENTO

TASSELLI UTILIZZATI: _____

- ☐
- FOTO RIPRISTINO CON MALTA - SI DEVE LEGGERE IL CODICE DELLA PROVA SCRITTO
-
- SULL'ELEMENTO

MALTA UTILIZZATA: _____

TIPOLOGIA DI INDAGINE/PROVA: DUREZZA BARRA ARMATURA**CODICE PROVA:** _____

- ☐
- ESEGUIRE PREVENTIVAMENTE TUTTE LE OPERAZIONI RELATIVE ALLE PACOMETRIE + SAGGI VISIVI

TIPOLOGIA BARRA

☐ LISCIADIAMETRO Φ : ____ mm☐ ADERENZA MIGLIORATA

- ☐
- LAVORAZIONE DELLA SUPERFICIE DI PROVA (LUCIDATURA E APPIATTIMENTO)

☐ BARRA SOLIDALE AL CLS☐ FOTO SUPERFICIE DI PROVA LAVORATA☐ CALIBRAZIONE DUROMETRO

MODELLO: _____

☐ UCI (ULTRASUONI)☐ LEEB (RIMBALZO)SCALA DI
DUREZZA☐ VICKERS☐ BRINELL

1: _____

2: _____

3: _____

4: _____

5: _____

6: _____

LETTURE:

7: _____

8: _____

9: _____

10: _____

11: _____

12: _____

INCLINAZIONE RISPETTO
ALL'ORIZZONTALE:☐ 0° ☐ $\pm 45^\circ$ ☐ $\pm 90^\circ$

- ☐
- FOTO RIPRISTINO CON MALTA - SI DEVE LEGGERE IL
-
- CODICE DELLA PROVA SCRITTO SULL'ELEMENTO

MALTA UTILIZZATA: _____

SCHEMI / NOTE / OSSERVAZIONI:

DATA: ____ / ____ / ____**ORA:** ____ : ____ / ____ : ____**TECNICO:** _____

SCHEMI / NOTE / OSSERVAZIONI:

Modello

SCHEMI / NOTE / OSSERVAZIONI:

Modello

OPERA: _____**CODICE AGE:** _____._____._____._____._____**TIPOLOGIA DI INDAGINE/PROVA: PRELIEVO BARRE****CODICE PROVA:** _____

☐ INTERVENTI PREESISTENTI DI RIPRISTINO: ☐ NO Spessore: _____ mm
☐ SI Tipologia: _____

- ☐ TRACCIAMENTO BARRE DI ARMATURA CON PACOMETRO / GEORADAR
- ☐ INDICARE IN UNO SCHEMA L'UBICAZIONE UNIVOCA DELLA PROVA RISPETTO A PUNTI NOTI (PILA, SPALLA, APPOGGIO, INTRADOSSO ECC)
- ☐ FOTO BARRA SCOPERTA - SI DEVE LEGGERE IL CODICE DELLA PROVA SCRITTO SULL'ELEMENTO
- ☐ FOTO BARRA ESTRATTA CON METRO ACCOSTATO - SI DEVE LEGGERE IL CODICE DELLA PROVA SCRITTO SU ETICHETTA APPLICATA ALLA BARRA

LUNGHEZZA: _____ mm

DIAMETRO: _____ mm

COPRIFERRO: _____ mm

TIPOLOGIA ☐ LISCIA
☐ ADERENZA MIGLIORATA☐ LUCIDA
STATO ☐ OSSIDATA
☐ CORROSA☐ BARRA LONGITUDINALE / VERTICALEDIREZIONE: ☐ BARRA TRASVERSALE / ORIZZONTALE (SOLETTE, SPALLE, MURI, ELEMENTI PIANI)☐ STAFFE (TRAVI, TRAVERSI, PULVINI, PILE)

PER **BARRE LONGITUDINALI** SI INTENDONO LE BARRE PARALLELE ALLA DIREZIONE DEL TRAFFICO
PER **BARRE TRASVERSALI** SI INTENDONO LE BARRE PERPENDICOLARI ALLA DIREZIONE DEL TRAFFICO

☐ EVENTUALE PROBLEMI / DIFETTI DELLA BARRA PRELEVATA: _____☐ FOTO BARRA/E RIPRISTINATE CON METRO ACCOSTATO - SI DEVE LEGGERE IL CODICE DELLA PROVA SCRITTO SULL'ELEMENTO

DIAMETRO BARRE UTILIZZATE PER IL RIPRISTINO: _____ mm

NUMERO BARRE UTILIZZATE PER IL RIPRISTINO: ☐ 1 ☐ 2☐ UTILIZZO PER LA SALDATURA ELETTRODI BASICI (E7018 / E48 O SUPERIORI)☐ FOTO RIPRISTINO CON MALTA - SI DEVE LEGGERE IL CODICE DELLA PROVA SCRITTO SULL'ELEMENTO

MALTA UTILIZZATA: _____

SCHEMI / NOTE / OSSERVAZIONI:

DATA: ____ / ____ / ____**ORA:** ____ : ____ / ____ : ____**TECNICO:** _____

SCHEMI / NOTE / OSSERVAZIONI:

Modello

OPERA: _____**CODICE AGE:** _____._____._____._____._____**TIPOLOGIA DI INDAGINE/PROVA: PACOMETRIE + SAGGI VISIVI****CODICE PROVA:** _____

- ☐ INTERVENTI PREESISTENTI DI RIPRISTINO: ☐ NO Spessore: _____ mm
☐ SI Tipologia: _____
- ☐ TRACCIAMENTO BARRE DI ARMATURA CON PACOMETRO / GEORADAR
- ☐ SCHEMA DELLE ARMATURE RILEVATE UBICATE NELLA SEZIONE STRUTTURALE DELL'ELEMENTO CON RELATIVA DISTANZA DA PUNTI NOTI (PILA, SPALLA, APPOGGIO, INTRADOSSO ECC)
- ☐ FOTO TRACCE DELLA PACOMETRIA ESEGUITA - SI DEVE LEGGERE IL CODICE DELLA PROVA SCRITTO SULL'ELEMENTO
- ☐ FOTO SAGGIO VISIVO - SI DEVE LEGGERE IL CODICE DELLA PROVA SCRITTO SULL'ELEMENTO

**BARRE
LONGITUDINALI / VERTICALI**

NUMERO: _____

COPRIFERRO: _____ mm

TIPOLOGIA

- ☐
- LISCIA
- ☐
- ADERENZA
-
- MIGLIORATA

STATO

- ☐
- LUCIDA
- Φ
- : _____ mm
-
- ☐
- OSSIDATA
- Φ
- : _____ mm
-
- ☐
- CORROSA
- Φ
- : _____ mm

STAFFE:

(TRAVI, TRAVERSI, PULVINI, PILE)

NUMERO: _____

COPRIFERRO: _____ mm

TIPOLOGIA

- ☐
- LISCIA
- ☐
- ADERENZA
-
- MIGLIORATA

STATO

- ☐
- LUCIDA
- Φ
- : _____ mm
-
- ☐
- OSSIDATA
- Φ
- : _____ mm
-
- ☐
- CORROSA
- Φ
- : _____ mm

BARRE**TRASVERSALI / ORIZZONTALI**

(SOLETTE, SPALLE, MURI, ELEMENTI PIANI)

NUMERO: _____

COPRIFERRO: _____ mm

TIPOLOGIA

- ☐
- LISCIA
- ☐
- ADERENZA
-
- MIGLIORATA

STATO

- ☐
- LUCIDA
- Φ
- : _____ mm
-
- ☐
- OSSIDATA
- Φ
- : _____ mm
-
- ☐
- CORROSA
- Φ
- : _____ mm

PER **BARRE LONGITUDINALI** SI INTENDONO LE BARRE PARALLELE ALLA DIREZIONE DEL TRAFFICO
PER **BARRE TRASVERSALI** SI INTENDONO LE BARRE PERPENDICOLARI ALLA DIREZIONE DEL TRAFFICO

- ☐ FOTO RIPRISTINO CON MALTA - SI DEVE LEGGERE IL CODICE DELLA PROVA SCRITTO
SULL'ELEMENTO

MALTA UTILIZZATA: _____

SCHEMI / NOTE / OSSERVAZIONI:

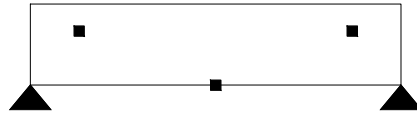
DATA: ____ / ____ / ____**ORA:** ____ : ____ / ____ : ____**TECNICO:** _____

SCHEMI / NOTE / OSSERVAZIONI:

Modello

OPERA: _____**CODICE AGE:** _____._____._____._____._____**TIPOLOGIA DI INDAGINE/PROVA: TOMOGRAFIA****CODICE PROVA:** _____

- ☐ INDIVIDUAZIONE CAVO CON GEORADAR
- ☐ CONTROLLO DELLA SUPERFICIE DI PROVA (NEL CASO SIANO PRESENTI LESIONI, VESPAI, ASPERITÀ, VUOTI ESEGUIRE LA PROVA IN UNA ZONA ADIACENTE LUNGO LO STESSO CAVO)
- ☐ FOTO TRACCE DEL CAVO INDIVIDUATO CON IL GEORADAR CON LA DISCRETIZZAZIONE DEI PUNTI DI BATTUTA DEL TOMOGRAFO E DIREZIONE ACQUISIZIONI - SI DEVE LEGGERE IL CODICE DELLA PROVA SCRITTO SULL'ELEMENTO
- ☐ CALIBRAZIONE TOMOGRAFO
- PROVA B-SCAN PER RISCONTRO ACQUISIZIONE CON SPESSORE NOTO
 - IMPOSTAZIONE ANALOG-GAIN ATTIMALE E MANTENIMENTO COSTANTE DURANTE LA PROVA
- ☐ INDICARE NELLO SCHEMA SOTTOSTANTE UBICAZIONE UNIVOCA DELLA PROVA RISPETTO A PUNTI NOTI (PILA, SPALLA, APPOGGIO, INTRADOSSO ECC)



- ☐ UBICARE SULL'ELEMENTO LE POTENZIALI ANOMALIE RISCONTRATE DAL TOMOGRAFO

ENDOSCOPIA DI RISCONTRO

ESEGUIRE ALMENO UNA PER TIPOLOGIA DI ELEMENTO STRUTTURALE E INDIPENDENTEMENTE DALLA RISPOSTA DEL TOMOGRAFO

- ☐ GIA' ESEGUITA SU ALTRO ELEMENTO STRUTTURALE

- ☐ DA ESEGUIRE (VEDERE TIPOLOGICO ENDOSCOPIE GUAINA)

CODICE PROVA: _____

CONFERMA SEGNALE TOMOGRAFO ☐ SI ☐ NO

CODICE PROVA: _____

- ☐ ENDOSCOPIA SU POTENZIALE ANOMALIA (VEDERE TIPOLOGICO ENDOSCOPIA GUAINA)
DA CONCORDARE CON LA COMMITTENTE

CODICE PROVA: _____

- ☐ SAGGIO VISIVO SU ANOMALIA (VEDERE TIPOLOGICO SAGGI CAP)
DA CONCORDARE CON LA COMMITTENTE

CODICE PROVA: _____

SCHEMI / NOTE / OSSERVAZIONI:

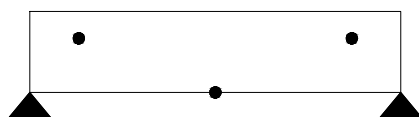
DATA: ____ / ____ / ____**ORA:** ____ : ____ / ____ : ____**TECNICO:** _____

SCHEMI / NOTE / OSSERVAZIONI:

Modello

OPERA: _____**CODICE AGE:** _____._____._____._____._____**TIPOLOGIA DI INDAGINE/PROVA: ENDOSCOPIA GUAINA****CODICE PROVA:** _____☐ IN SEGUITO A POTENZIALE ANOMALIA TROVATA CON TOMOGRAFO

CODICE PROVA: _____

☐ INDIVIDUAZIONE CAVO CON GEORADAR E STIMA DEL COPRIFERRO☐ FOTO TRACCE DEL CAVO INDIVIDUATO CON GEORADAR - SI DEVE LEGGERE IL CODICE DELLA PROVA SCRITTO SULL'ELEMENTO☐ INDICARE NELLO SCHEMA SOTTOSTANTE UBICAZIONE UNIVOCA DELLA PROVA RISPETTO A PUNTI NOTI (PILA, SPALLA, APPOGGIO, INTRADOSSO ECC)

STATO DI CONSERVAZIONE GUAINA

☐ LUCIDA ☐ OSSIDATA ☐ CORROSA

PRESENZA DI INIEZIONE

☐ NO ☐ SI ☐ PARZIALE: _____ %

UMIDITA'

☐ SI ☐ NO

TIPOLOGIA ARMATURA

☐ TREFOLI☐ FILI PARALLELI☐ NON DISTINGUIBILE

VISIBILI: n° _____

VISIBILI: n° _____

STATO DI CONSERVAZIONE

☐ LUCIDI☐ OSSIDATI☐ CORROSI

COPRIFERRO: _____ mm

☐ FOTO / VIDEO ENDOSCOPIA: DEVONO ESSERE VISIBILI DISTINTAMENTE FILI, GUAINA E BOIACCA☐ EVENTUALI FILI DANNEGGIATI / INTACCATI DURANTE LA PROVA:☐ NECESSITA' DI UN SAGGIO (VEDERE TIPOLOGICO SAGGI CAP)

DA CONCORDARE CON LA COMMITTENTE

CODICE PROVA: _____

☐ FOTO RIPRISTINO CON RESINA / SILICONE / GRASSO AL LITIO - SI DEVE LEGGERE IL CODICE DELLA PROVA SCRITTO SULL'ELEMENTO

PRODOTTO UTILIZZATO: _____

☐ FOTO RIPRISTINO CON MALTA - SI DEVE LEGGERE IL CODICE DELLA PROVA SCRITTO SULL'ELEMENTO

MALTA UTILIZZATA: _____

SCHEMI / NOTE / OSSERVAZIONI:

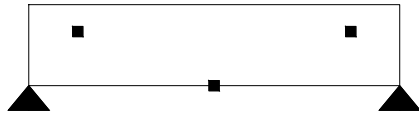
DATA: ____ / ____ / ____**ORA:** ____ : ____ / ____ : ____**TECNICO:** _____

SCHEMI / NOTE / OSSERVAZIONI:

Modello

OPERA: _____**CODICE AGE:** _____._____._____._____._____**TIPOLOGIA DI INDAGINE/PROVA: SAGGI CAP****CODICE PROVA:** _____☐ IN SEGUITO A POTENZIALE AMMALORAMENTO TROVATO CON ENDOSCOPIA

CODICE PROVA: _____

☐ INDIVIDUAZIONE CAVO CON GEORADAR☐ FOTO TRACCE DEL CAVO INDIVIDUATO CON GEORADAR - SI DEVE LEGGERE IL CODICE DELLA PROVA SCRITTO SULL'ELEMENTO☐ INDICARE NELLO SCHEMA SOTTOSTANTE UBICAZIONE UNIVOCA DELLA PROVA RISPETTO A PUNTI NOTI (PILA, SPALLA, APPOGGIO, INTRADOSSO ECC)

TIPOLOGIA PRECOMPRESSIONE

☐ CAVI PRE TESI (FILII / TREFOLI ADERENTI)☐ CAVI POST TESI (FILII / TREFOLI IN GUAINA)**IN CASO DI CAVI POST TESI**☐ FOTO SCASSO CON GUAINA INTEGRA CON METRO ACCOSTATO - SI DEVE LEGGERE IL CODICE DELLA PROVA SCRITTO SULL'ELEMENTO

STATO GUAINA

☐ LUCIDA☐ OSSIDATA☐ CORROSA

TIPOLOGIA GUAINA

☐ LAMIERINO☐ PVC☐ ALTRO: _____☐ FOTO SCASSO CON GUAINA APERTA SENZA PULIZIA DEI FILII / TREFOLI (NO RIMOZIONE DELL'INIEZIONE) - SI DEVE LEGGERE IL CODICE DELLA PROVA SCRITTO SULL'ELEMENTO☐ ASSENTE

COPRIFERRO CAVO: _____ mm

STATO INIEZIONE:

☐ PRESENTE

COPRIFERRO GUAINA: _____ mm

☐ PARZIALE: _____ %PRESENZA DI UMIDITA' ☐ SI ☐ NO**IN CASO DI CAVI PRE TESI E POST TESI**☐ FOTO SCASSO CON PULIZIA DEI FILII / TREFOLI - SI DEVE LEGGERE IL CODICE DELLA PROVA SCRITTO SULL'ELEMENTO

TIPOLOGIA ARMATURA

☐ TREFOLI☐ FILII PARALLELI

STATO DI CONSERVAZIONE

☐ LUCIDI n° _____ Φ_{FILO} : _____ mm☐ FILII ROTTI n° _____☐ OSSIDATI n° _____ Φ_{FILO} : _____ mm☐ TREFOLI ROTTI n° _____☐ CORROSI n° _____ _____☐ FILII TREFOLI ROTTI n° _____☐ FILII NON MISURABILI: _____

(INDICARE LA PERDITA DI SEZIONE DI OGNI FILO)

☐ FOTO SCASSO CON GUAINA APERTA E RESINA EPOSSIDICA / SILICONE / GRASSO AL LITIO POSIZIONATA SU FILII / TREFOLI - SI DEVE LEGGERE IL CODICE DELLA PROVA SCRITTO SULL'ELEMENTO

PRODOTTO UTILIZZATO: _____

☐ FOTO SCASSO CON GUAINA CHIUSA - SI DEVE LEGGERE IL CODICE DELLA PROVA SCRITTO SULL'ELEMENTO☐ FOTO RIPRISTINO CON MALTA - SI DEVE LEGGERE IL CODICE DELLA PROVA SCRITTO SULL'ELEMENTO

MALTA UTILIZZATA: _____

DATA: ____ / ____ / ____**ORA:** ____ : ____ / ____ : ____**TECNICO:** _____

SCHEMI / NOTE / OSSERVAZIONI:

Modello

SCHEMI / NOTE / OSSERVAZIONI:

Modello

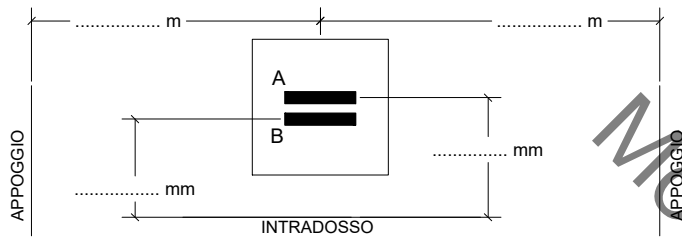
OPERA: _____**CODICE AGE:** _____._____._____._____._____**TIPOLOGIA DI INDAGINE/PROVA: RILASCIO TENSIONALE CLS****CODICE PROVA:** _____

MODELLO CENTRALINA: _____ FREQUENZA CAMPIONAMENTO: _____ Hz

COLLANTE: _____ ESTENSIMETRI: L: _____ mm n°: _____ n°fili: _____

- ☐ INDIVIDUAZIONE ARMATURA LENTA CON GEORADAR / PACOMETRO
- ☐ FOTO TRACCE DELLE BARRE INDIVIDUATE - SI DEVE LEGGERE IL CODICE DELLA PROVA SCRITTO SULL'ELEMENTO
- ☐ CONTROLLO DELLA SUPERFICIE DI PROVA (NEL CASO SIANO PRESENTI LESIONI, VESPAI, ASPERITÀ, VUOTI ESEGUIRE LA PROVA IN UNA ZONA ADIACENTE)
- ☐ PREPARAZIONE DELLA SUPERFICIE OGGETTO DELLA PROVA (SMERIGLIATURA, SGRASSATURA)
- ☐ CONTROLLO DEL COLLEGAMENTO ESTENSIMETRO-CENTRALINA

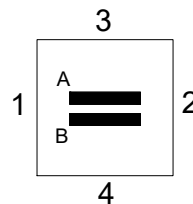
INCOLLAGGIO ESTENSIMETRI; INDICARE NELLO SCHEMA SOTTOSTANTE LA LORO POSIZIONE RISPETTO ALL'INTRADOSSO E ALL'APPOGGIO



- ☐ FOTO ELEMENTO CON ESTENSIMETRI INCOLLATI

TEMPERATURA DEL PUNTO DI PROVA: _____ °C

ESECUZIONE DEI TAGLI: INDICARE I VALORI MASSIMI DELLE DEFORMAZIONI NELLO SCHEMA SOTTOSTANTE



TAGLIO 1

A _____
B _____

TAGLIO 2

A _____
B _____

TAGLIO 3

A _____
B _____

TAGLIO 4

A _____
B _____

- ☐ RISPETTATI I TEMPI DI TAGLIO (TRA UN TAGLIO E L'ALTRO VALORI STABILI)

- ☐ FOTO PROVINO ESTRATTO
- ☐ FOTO ZONA DA DOVE E' STATO ESTRATTO IL PROVINO

PROVINO INTEGRO

- ☐ SI
- ☐ NO

TIPOLOGIA INERTE:

- ☐ ARROTONDATO
- ☐ FRANTUMATO
- ☐ ENTRAMBI

UTILIZZO ☐ NO ☐ SI

BY-BRIDGE ☐ NO ☐ SI

Peso: _____

Posizione: _____

CORSIE CHIUSE

- ☐ CHIUSURA TOTALE
- ☐ NO
- ☐ SI n° _____

- ☐ ESECUZIONE DI PROVA PULL-OUT ADIACENTE ALLA ZONA DI PROVA (VEDERE TIPOLOGICO PULL-OUT)

CODICE PROVA: _____

- ☐ FOTO RIPRISTINO CON MALTA - SI DEVE LEGGERE IL CODICE DELLA PROVA SCRITTO SULL'ELEMENTO

MALTA UTILIZZATA: _____

DATA: ____ / ____ / ____

ORA: ____ : ____ / ____ : ____

TECNICO: _____

SCHEMI / NOTE / OSSERVAZIONI:

Modello

OPERA: _____**CODICE AGE:** _____._____._____._____._____**TIPOLOGIA DI INDAGINE/PROVA: PRELIEVO ACCIAIO ARMONICO****CODICE PROVA:** _____

- ☐ ESEGUIRE PREVENTIVAMENTE TUTTE LE OPERAZIONI RELATIVE AL SAGGIO (VEDERE TIPOLOGICO SAGGI CAP)

CODICE PROVA: _____

- ☐ DEFINITA PREVENTIVAMENTE LUNGHEZZA CAMPIONE DA PRELEVARE: _____ mm
- ☐ DEFINITO PREVENTIVAMENTE NUMERO FILI DA SOTTOPORRE A TRAZIONE: _____
- ☐ FILO / TREFOLO INDIVIDUATO IN BUONO STATO DI CONSERVAZIONE
- ☐ FOTO FILO / TREFOLO APPENA ESTRATTO CON METRO ACCOSTATO - SI DEVE LEGGERE IL CODICE DELLA PROVA SCRITTO SU ETICHETTA APPLICATA
- ☐ EVENTUALI ANOMALIE FILO / TREFOLO ESTRATTO: _____
- ☐ FOTO DEL TAGLIO EFFETTUATO
- ☐ EVENTUALI ALTRI FILI / TREFOLI DANNEGGIATI / INTACCATI DURANTE LA PROVA: _____

TIPOLOGIA DI INDAGINE/PROVA: RILASCIO TENSIONALE ACCIAIO ARMONICO**CODICE PROVA:** _____

MODELLO CENTRALINA: _____ FREQUENZA CAMPIONAMENTO: _____ Hz

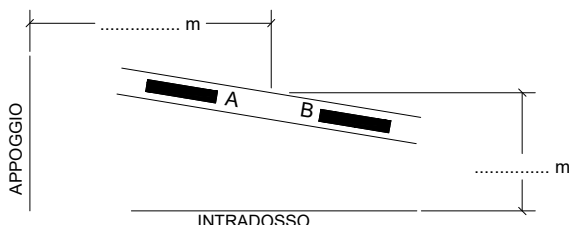
COLLANTE: _____ ESTENSIMETRI: L: _____ mm n°: _____ n°fili: _____

- ☐ ESEGUIRE PREVENTIVAMENTE TUTTE LE OPERAZIONI RELATIVE AL SAGGIO (VEDERE TIPOLOGICO SAGGI CAP)

CODICE PROVA: _____

- ☐ FILO / FILO DEL TREFOLO IN BUONO STATO DI CONSERVAZIONE
- ☐ PREPARAZIONE DELLA SUPERFICIE OGGETTO DELLA PROVA (SMERIGLIATURA, SGRASSATURA)
- ☐ CONTROLLO DEL COLLEGAMENTO ESTENSIMETRO-CENTRALINA

INCOLLAGGIO ESTENSIMETRI: INDICARE NELLO SCHEMA SOTTOSTANTE UBICAZIONE UNIVOCA PROVA RISPETTO A PUNTI NOTI (INTRADOSSO, PILA, SPALLA ECC)



- ☐ FOTO FILO CON ESTENSIMETRI INCOLLATI
- ☐ VALORI STABILIZZATI PRIMA DEL TAGLIO

ESECUZIONE DEL TAGLIO

A _____

B _____

- ☐ FOTO DEL FILO TAGLIATO CON ESTENSIMETRI INCOLLATI

TEMPERATURA DEL PUNTO DI PROVA: _____ °C

- ☐ EVENTUALI ALTRI FILI DANNEGGIATI / INTACCATI DURANTE LA PROVA: _____

UTILIZZO BY-BRIDGE

☐ NO ☐ SI

Peso: _____

Posizione: _____

CHIUSURA CORSIE AL TRAFFICO

☐ CHIUSURA TOTALE☐ NO☐ SI n° _____

DATA: ____ / ____ / ____

ORA: ____ : ____ / ____ : ____

TECNICO: _____

SCHEMI / NOTE / OSSERVAZIONI:

Modello

TECNICO:

SCHEMI / NOTE / OSSERVAZIONI:

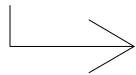
Modello

OPERA: _____**CODICE AGE:** _____._____._____._____._____**RILIEVO AMMALORAMENTO: TREFOLI ADERENTI****CODICE PROVA:** _____☐ ID DIFETTO RILEVATO (da scheda Proger): _____☐ ESEGUIRE PREVENTIVAMENTE TUTTE LE OPERAZIONI RELATIVE AL RILIEVO AMMALORAMENTO:
ARMATURA LENTA (VEDERE TIPOLOGICO)

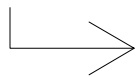
CODICE PROVA: _____

TIPOLOGIA DIFETTO☐ **DIFETTO ESTESO**

QUANDO NON È POSSIBILE RICONDURRE TUTTO L'AMMALORAMENTO AD UN'UNICA
SEZIONE RAPPRESENTATIVA DEL DIFETTO (GENERALMENTE QUANDO I TREFOLI
SONO A TRATTI SCOPERTI E A TRATTI INGLOBATI NEL CALCESTRUZZO INTEGRO)

DEFINIRE UN NUMERO DI SEZIONI SIGNIFICATIVE DI RILIEVO DA
TRATTARE CIASCUNA COME FOSSE UN DIFETTO LOCALIZZATO☐ **DIFETTO LOCALIZZATO**

QUANDO È POSSIBILE RICONDURRE TUTTO L'AMMALORAMENTO AD UN'UNICA
SEZIONE RAPPRESENTATIVA DEL DIFETTO



COME SCHEMA SOTTO

☐ INDIVIDUAZIONE SU TUTTI I TREFOLI ESPOSTI DEL PUNTO AVENTE MAGGIORE RIDUZIONE DI
SEZIONE E SUCCESSIVA SPAZZOLATURA PER MISURA DEL DIAMETRO RESIDUO (POSSIBILMENTE
MISURARE IL SINGOLO FILO)☐ DESCRIZIONE DI TUTTI I TREFOLI ESPOSTI, INDICANDO ATTRAVERSO UNO SCHEMA IN
PROSPETTO/SEZIONE QUOTATO RISPETTO A PUNTI NOTI:

- STATO DI CONSERVAZIONE SINGOLO TREFOLO
- SE PRESENTI TREFOLI ROTTI
- SE PRESENTI TREFOLI CON FILI ROTTI O RIDOTTI DI SEZIONE

☐ CORROSIONE DA CLORURI (VAIOLATURA): ☐ NO ☐ SI ☐ NON RILEVABILE**DATA:** ____ / ____ / ____**ORA:** ____ : ____ / ____ : ____**TECNICO:** _____

SCHEMI / NOTE / OSSERVAZIONI:

Modello

SCHEMI / NOTE / OSSERVAZIONI:

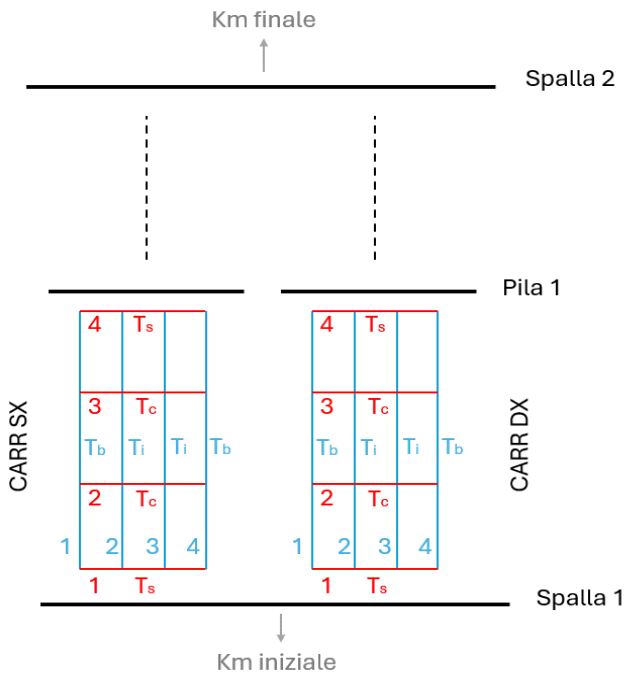
Modello

OPERA: _____		CODICE AGE: _____._____._____._____
RILIEVO AMMALORAMENTO: TESTATE DI ANCORAGGIO		CODICE PROVA: _____
<input type="checkbox"/> ID DIFETTO RILEVATO (da scheda Proger): _____		
<div><input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NON RILEVABILE</div> <div><input type="checkbox"/> INTERVENTI PREESISTENTI DI RIPRISTINO: Spessore:_____ mm <input type="checkbox"/> RISONANTE <input type="checkbox"/> IN DISTACCO</div> <div>Tipologia:_____</div>		
<div><input type="checkbox"/> PERCOLAZIONI IN PROSSIMITÀ DEL DIFETTO:</div> <div><input type="checkbox"/> NO Tipologia (pluviale, giunto ecc): _____</div> <div><input type="checkbox"/> SI _____</div>		
<div><input type="checkbox"/> BATTITURA DELLA ZONA CIRCOSTANTE IL DIFETTO. MISURARE L'ESTENSIONE DELL'EVENTUALE ZONA RISONANTE.</div> <div><input type="checkbox"/> RIMOZIONE DELLE PARTI IN DISTACCO L'UNICA OPERAZIONE MECCANICA POSSIBILE È QUELLA FINALIZZATA AL DISGAGGIO/VIBRAZIONE MECCANICA DELLE PARTI DETERIORATE ATTRAVERSO L'UTILIZZO DELLA MAZZETTA, SPAZZOLA METALLICA E AL LIMITE DI UN PICCOLO DEMOLITORE</div> <div><input type="checkbox"/> SPAZZOLATURA DI TUTTI GLI ANCORAGGI ESPOSTI</div>		
<div><input type="checkbox"/> INDICARE NELLO SCHEMA SOTTOSTANTE UBICAZIONE DEGLI ANCORAGGI SCOPERTI</div> <div><div><div><div></div></div></div><div><div><input type="checkbox"/> INDICARE TIPOLOGIA DI ANCORAGGI</div><div>_____</div><div><input type="checkbox"/> STATO DI CONSERVAZIONE ANCORAGGI</div><div>_____</div><div><input type="checkbox"/> PRESENZA DI INIEZIONE</div><div><div><input type="checkbox"/> SI</div><div><input type="checkbox"/> NO _____</div></div><div><input type="checkbox"/> CORRETTA SIGILLATURA CANNUCCIA INIEZIONE</div><div><div><input type="checkbox"/> SI</div><div><input type="checkbox"/> NO _____</div></div></div></div>		
<div><input type="checkbox"/> CONTEGGIO NUMERO FILI/TREFOLI ANCORATI AL CUNEO/PIASTRA E RELATIVO STATO DI CONSERVAZIONE</div>		
DATA: ____ / ____ / _____	ORA: ____ : ____ / ____ : ____	TECNICO: _____

SCHEMI / NOTE / OSSERVAZIONI:

Modello

IDENTIFICAZIONE ELEMENTI



ESEMPIO
3 CAMPATE
6 IMPALCATI
4 TRAVI / IMPALCATO
4 TRAVERSI / IMPALCATO

Osservatore: posto con spalle rivolte all'origine dell'Autostrada (Km0) guardando la fine (km FINE).

Identificazione delle travi (blu):
Per ogni impalcato, numerazione progressiva da SX verso DX. Distinzione tra TB (bordo) e TI (interna).
Es. TB-1 è la prima trave - tipo di bordo (a sx) - dell'impalcato, la TI-3 è la terza trave - tipo interna (da sx) - dell'impalcato.
Cambiando impalcato si riparte da 1.

Identificazione traversi (rosso):
Per ogni impalcato, numerazione progressiva nel verso di percorrenza. Distinzione tra TS (traverso di appoggio) e TC (traverso di campata).
Es. TC-2 è il secondo traverso dell'impalcato, tipo di campata. TS-4 è l'ultimo traverso dell'impalcato, tipo di appoggio.
Cambiando impalcato si riparte da 1.

Identificazione spalle (nero):
Spalla 1 SP1: prima spalla dell'opera alla km iniziale. Spalla 2 SP2: ultima spalla dell'opera alla km finale.

Identificazione delle pile (nero):
In numerazione progressiva nel verso di percorrenza dell'opera.
Es. P1 è la prima pila, P2 la seconda etc...

Ogni impalcato può appartenere alla carr.SX o alla carr.DX e alla campata X (con X pari al numero progressivo in ordine di percorrenza).

INFORMAZIONI GENERALI OPERA																
Id. Opera	Data di costruzione	N° campate	N° impalcati	Schema Statico prevalente	Lunghezza opera complessiva (m)	Luce media campata (m)	Luce max campata (m)	Tipo elemento portante in CAP (travi, archi, solette, traversi...)	N° max elementi portanti in CAP per impalcato (travi, archi, solette, traversi...)	Tipologia cavi scorrevoli (fili, trefoli, barre dywidag) per elemento	Tipologia ancoraggio cavi (BBRV, cuneo di bloccaggio, Freyssinet...)	N° max cavi per elemento portante	N° di popolazioni individuate	N° cavi popolazione 1	N° cavi popolazione 2	N° cavi popolazione n

Modello

PROGETTAZIONE INDAGINI														
Id. Opera	Elemento in c.a.p.	Presenza doc. tecnica	Lunghezza e geometria cavi pop. 1 (m)	Lunghezza e geometria cavi pop. 2 (m)	Lunghezza e geometria cavi pop. <i>n</i>	Costo di riparazione o sostituzione del cavo	Ridondanza del cavo	Importanza dell'opera	Classe di rischio (pop. 1)	Classe di rischio (pop. 2)	Classe di rischio (pop. <i>n</i>)	Grado di impatto indagini	Livello di confidenza	n° di campioni

Modello

DETTAGLIO INDAGINI																						
Id. Opera	Anno esecuzione	Tipo elemento portante in CAP (travi, archi, solette, traversi...)	Combinazione delle indagini	Conteggio indagini per elemento o per n° prove	Tomografia acustica		Endoscopie		Saggi diretti		Area residua cavi		Prove di durezza in situ		Prove di durezza da banco		Prove di trazione acciaio armonico		Rilascio tensionale cls		Rilascio tensionale acciaio armonico	
					N° complessivo di elementi indagati o di prove	N° di cavi indagati o di prove eseguite per elemento	N° complessivo di elementi indagati o di prove	N° di cavi indagati o di prove eseguite per elemento	N° complessivo di elementi indagati o di prove	N° di cavi indagati o di prove eseguite per elemento	N° complessivo di elementi indagati o di prove	N° di cavi indagati o di prove eseguite per elemento	N° complessivo di elementi indagati o di prove	N° di cavi indagati o di prove eseguite per elemento	N° complessivo di elementi indagati o di prove	N° di cavi indagati o di prove eseguite per elemento	N° complessivo di elementi indagati o di prove	N° di cavi indagati o di prove eseguite per elemento	N° complessivo di elementi indagati o di prove	N° di cavi indagati o di prove eseguite per elemento	N° complessivo di elementi indagati o di prove	N° di cavi indagati o di prove eseguite per elemento

Modello

TRACCIATO CAVI																					
Id. Opera	Elemento portante in CAP	Tipo elemento portante (TB/TL - TS/TC)	Id elemento portante indagato	Tracciato Armatura di precompressione (metà trave)																	
				Id sezione trasversale da PROGETTO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		
				Ascissa z (m) sezione trasv. PROGETTO																	
				Id sezione trasversale RILEVATA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		
				Ascissa z (m) sezione trasv. RILEVATA																	
				Id Cavo	Ordinate y (cm) - da intradosso elemento																
				Cavo 1 - 2 PROG.																	
				Cavo 1 - 2 RILEV.																	
				Cavo 3 -4 PROG.																	
				Cavo 3 -4 RILEV.																	
				Cavo 5 - 6 PROG.																	
				Cavo 5- 6 RILEV.																	
				Cavo 7-8-9 PROG.																	
				Cavo 7-8-9 RILEV.																	
				Cavo 10-11-12 PROG.																	
				Cavo 10-11-12 RILEV.																	
				Cavo 13-14-15 PROG.																	
				Cavo 13-14-15 RILEV.																	
				Cavo 16-17-18. PROG																	
				Cavo 16-17-18. RILEV																	
				Cavo 19-20-21 PROG.																	
				Cavo 19-20-21 RILEV.																	
				Cavo 22-23-24 PROG.																	
				Cavo 22-23-24 RILEV.																	
				Cavo 25-26-27 PROG.																	
				Cavo 25-26-27 RILEV.																	

TOMOGRAFIE - ENDOSCOPIE - SAGGI																															
										DESCRIZIONE ARMATURA (DETTAGLIO DA COMPILARE IN BASE ALLA PROVA ESEGUITA)																					
Id. Opera	Elemento portante in CAP	ID elemento portante	Tipo elemento portante (TBT1 - TS/TC)	Campata di appartenenza	direzione (Dx/Sx)	Id Cavo	Difetti spia c/c (es. lesioni paraboliche)	Difetti in testata di ancoraggio	Difetti manifesti (es. armatura esposta)	Tomografia	Indagine tomografica				Endoscopia		Saggio		Difetto manifesto												NOTE AGGIUNTIVE
											z/iniz (m) tomografia	z/fm (m) tomografia	Evidenza di anomalie potenziali	Indagine DISTRUTTIVA (A o G o NO)	Id endoscopia	z (m) endoscopia	Id saggio	z (m) saggio	Id difetto	z (m) difetto	Copriferro guaina (cm)	Stato conservazione guaina	Stato iniezione cavo	Numero totale filtri/fili in vista	Stato conservazione armatura c.ap. vista	n° fili affetti da ossidazione senza variazione di sezione	n° fili affetti da corrosione con variazione di sezione	n° fili rotti	Stima area residua (%)		

Modello

PROVE DI DUREZZA																																							
											Dati progettuali		Durezza in sito														Durezza da banco						Prove di laboratorio						
Id. Opera	Elemento portante in CAP	ID elemento portante	Tipo elemento portante (TB/T1 - TS/TC)	Campata di appartenenza	direzione (Dz/Sx)	Id saggio	Id cavo	Id prova	Filo o trefolo o barra	Scala durezza	fpt (Mpa)	Durezza ASTM	Anno di svolgimento della prova	Marca e tipo Durometro	Condizioni di misura	DUR1	DUR2	DUR3	DUR4	DUR5	DUR6	DUR7	DUR8	DUR9	DUR10	Valore medio	Dev. Stand.	CV COEFFICIENTE VARIAZIONE	fpt (Mpa) da ASTM	DUR1	DUR2	DUR3	DUR4	DUR5	Valore medio	fpt (Mpa) da ASTM	fp(0,1%) o fp(1%) (Mpa)	fpt (Mpa)	

Modello

RILASCI TENSIONALI CLS																	
Id. Opera	Elemento portante in CAP	ID elemento portante	Tipo elemento portante (TB/TI - TS/TC)	Campata di appartenenza	direzione (DX/Sx)	Lato Trave (DX/SX)	Id prova	Metodo di prova	Zona d'indagine (anima, bulbo inferiore...)	Ascissa z (m) da appoggio o nodo	Ordinata y (m) da intradosso sezione	Condizioni di carico (presenza ByBridge, traffico ordinario...)	Deformazione 1 (µε)	Deformazione 2 (µε)	Deformazione media (µε)	Stima modulo elastico (Mpa)	Stima tensione media cls (Mpa)

(+) allungamento estensimetro
(-) accorciamento


RILASCI TENSIONALI ACCIAIO																	
Id. Opera	Elemento portante in CAP	ID elemento portante	Tipo elemento portante (TB/PI - TS/TC)	Campata di appartenenza	direzione (Dx/Sx)	Lato Trave (DX/SX)	Id cavo	Id prova	Zona d'indagine (anima, bulbo inferiore...)	Ascissa z (m) da appoggio o nodo	Ordinata y (m) da intradosso sezione	Condizioni di carico (presenza ByBridge, traffico ordinario...)	Deformazione 1 (µε)	Deformazione 2 (µε)	Deformazione media (µε)	Modulo elastico ipotizzato (Mpa)	Stima tensione media filo (Mpa)

CAROTAGGI															
N°	Sigla campione	ϕ (mm)	λ	Massa (kg)	Massa volumica (kg/mc)	Forza di compressione (kN)	Rc,lab (Mpa)	Rc, λ (Mpa)	Tipo di rottura	Prova non distruttiva	Tipo PND	Rc,PND (Mpa)	K	K,med	Rc,PND corretta (Mpa)

PRELIEVI BARRE																						
							Snervamento		Rottura													
N°	Sigla campione	Tipo barra	ϕ (mm)	Lunghezza (mm)	Massa (kg)	ϕ_{eq} (mm)	Forza (kN)	Tensione f_y (Mpa)	Forza (kN)	Tensione f_t (Mpa)	ft/fy	Agt (%)	At (%)	Prova di durezza	Tipo durezza	Scala	Durezza media	Norma conversione	ft (Mpa) convers.	K	K,med	ft (Mpa) convers. Corretto

Modello

PROVE DI DUREZZA																
N°	Sigla	Scala durezza	Marca e tipo Durometro	DUR1	DUR2	DUR3	DUR4	DUR5	DUR6	DUR7	DUR8	DUR9	DUR10	Valore medio	Norma conversione	ft (Mpa) convers.

Verbale di prelievo n.				del				Riferimento DM 17/01/2018 §8.5.3. e Circolare n.7 21/01/2019 §C8.5.3 CSLLP				
Nome opera								logo LABORATORIO				
Cod.Stone												
Laboratorio												
Sperimentatore Esecutore dei prelievi												
Materiale	CAROTE CLS	BARRA ACC.	CARPENT.MET.	ACCIAIO ARM.	BULLONE							
(da compilare solo per carote cls - barre acc. - carp.met. - bulloni)												
Progr.prelievo e Foto	Data prelievo	Ora prelievo	ID campione	Elemento	Campata	Carreggiata	φ carote, φ nom.barre (mm)	Lunghezza (mm)	Dim.Inerti/Tipo barra	Anomalie riscontrate	NOTE	
REPORT FOTOGRAFICO												
Foto n. 1						Foto n. 2						