



ISTRUZIONE TECNICA
PPR1 – REALIZZAZIONE PROGETTUALE
PROCEDURE DI ESECUZIONE E MODALITA' DI
RESTITUZIONE DI INDAGINI CONOSCITIVE

Rif: PO-PPR1-PNT-005
Rev: 02
Data: 20/12/2021

PROCEDURE DI ESECUZIONE E MODALITA' DI RESTITUZIONE DI INDAGINI CONOSCITIVE

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.

NRO REVISIONE	DATA REVISIONE	CAUSALE REVISIONE
02	20/12/2021	Aggiornamento Capitolo 4
01	12/11/2021	Aggiornamento
00	09/06/2021	Emissione

	RUOLO	NOME	DATA	FIRMA
REDATTO	ING.	G. DE BENEDETTI	12/11/2021	
APPROVATO	ING.	N. ZORATTO	12/11/2021	
EMESSO	ING.	P. GIOVENALE	12/11/2021	

SOMMARIO

1	Premessa.....	6
1.1	Acronimi e Definizioni.....	7
1.1.1	Acronimi.....	7
1.1.2	Definizioni.....	7
1.2	Normative e documenti di riferimento.....	8
1.3	Indicazioni operative generali.....	9
1.3.1	Soggetto Incaricato (Esecutore).....	9
1.3.2	Identificazione delle zone di misura e di prelievo.....	9
2	Rilievo geometrico-strutturale.....	11
2.1	RILIEVO COMPLETO.....	11
2.1.1	Rilievo di insieme del ponte.....	11
2.1.2	Rilievo delle parti strutturali.....	13
2.1.3	Rilievo dei componenti.....	14
2.2	RILIEVO A CAMPIONE.....	20
3	Rilievo di elementi non strutturali.....	22
3.1	Stratigrafia del pacchetto della pavimentazione stradale.....	22
3.1.1	Saggi diretti.....	22
3.1.2	Prelievo di carote di conglomerato bituminoso.....	23
3.1.3	Indagine Georadar.....	24
3.2	Sistemi di ritenuta stradale.....	26
3.2.1	Presentazione dei risultati.....	26
3.3	Sistema di smaltimento delle acque.....	27
4	Rilievo dello stato di conservazione.....	29
4.1.1	Oggetto.....	29
4.1.2	Modalità di esecuzione.....	29
4.1.3	Strumentazione e attrezzatura.....	38
4.1.4	Presentazione dei risultati.....	38
5	Indagini per elementi in cemento armato.....	44
5.1	Prelievo di carote di cls e prove di resistenza a compressione.....	44
5.1.1	Oggetto.....	44
5.1.2	Descrizione del metodo.....	44
5.1.3	Normativa di riferimento.....	44
5.1.4	Strumentazione e attrezzatura.....	44
5.1.5	Ubicazione dei prelievi e dimensione delle carote.....	45
5.1.6	Modalità di esecuzione dei prelievi.....	45
5.1.7	Modalità di esecuzione delle prove su carote.....	46
5.1.8	Presentazione dei risultati.....	46
5.2	Prelievo di carote di cls e determinazione del modulo elastico secante.....	48
5.2.1	Oggetto.....	48
5.2.2	Descrizione del metodo.....	48

5.2.3	Normative di riferimento	48
5.2.4	Strumentazione e attrezzatura	48
5.2.5	Forma e dimensione dei provini	48
5.2.6	Modalità di esecuzione prova	49
5.2.7	Presentazione dei risultati.....	50
5.3	Prelievo e prove su barre di armatura	51
5.3.1	Oggetto	51
5.3.2	Descrizione del metodo	51
5.3.3	Normativa di riferimento.....	51
5.3.4	Strumentazione e attrezzatura	51
5.3.5	Modalità di esecuzione dei prelievi.....	51
5.3.6	Modalità di esecuzione delle prove di trazione in laboratorio	52
5.3.7	Presentazione dei risultati.....	52
5.4	Rilievo delle barre di armatura (saggi visivi e prove pacometriche)	54
5.4.1	Oggetto	54
5.4.2	Descrizione del metodo	54
5.4.3	Normativa di riferimento.....	54
5.4.4	Strumentazione e attrezzatura	54
5.4.5	Modalità di esecuzione	54
5.4.6	Presentazione dei risultati.....	58
5.5	Prove non distruttive sui calcestruzzi	61
5.5.1	Oggetto	61
5.5.2	Descrizione del metodo	61
5.5.3	Normativa di riferimento e Bibliografia	61
5.5.4	Strumentazione e attrezzatura	62
5.5.5	Individuazione della zona di misura	62
5.5.6	Scelta delle metodologie di indagini.....	63
5.5.7	Modalità di esecuzione delle misure ultrasoniche	63
5.5.8	Modalità di esecuzione delle misure sclerometriche	65
5.5.9	Modalità di esecuzione delle prove pull-out.....	66
5.5.10	Taratura degli strumenti	67
5.5.11	Presentazione dei risultati.....	68
5.6	Prove di durezza sulle barre di armatura	74
5.6.1	Oggetto	74
5.6.2	Principio fisico del metodo	74
5.6.3	Normativa di riferimento.....	74
5.6.4	Strumentazione e attrezzatura	75
5.6.5	Taratura	75
5.6.6	Modalità di esecuzione	75
5.6.7	Presentazione dei risultati.....	78
5.7	Misura della profondità di carbonatazione	80
5.7.1	Oggetto	80
5.7.2	Descrizione del metodo	80
5.7.3	Normativa di riferimento.....	80
5.7.4	Reagente chimico e attrezzatura.....	80

5.7.5	Modalità di esecuzione	80
5.7.6	Presentazione dei risultati.....	81
5.8	Profondità di penetrazione ioni cloruro.....	83
5.8.1	Oggetto	83
5.8.2	Normativa di riferimento.....	83
5.8.3	Descrizione del metodo	83
5.8.4	Reagente chimico e attrezzatura.....	84
5.8.5	Modalità di esecuzione	85
5.8.6	Presentazione dei risultati.....	85
5.9	Misure di mappatura del potenziale	87
5.9.1	Oggetto	87
5.9.2	Descrizione del metodo	87
5.9.3	Normativa di riferimento.....	87
5.9.4	Strumentazione e attrezzatura	87
5.9.5	Modalità di esecuzione	88
5.9.6	Presentazione dei risultati.....	89
5.10	Prove ecometriche sui pali di fondazione.....	92
5.10.1	Oggetto	92
5.10.2	Principio fisico del metodo	92
5.10.3	Normativa di riferimento.....	92
5.10.4	Strumentazione e attrezzatura	92
5.10.5	Modalità di esecuzione	92
5.10.6	Presentazione dei risultati.....	93
6	Indagini per elementi in acciaio	96
6.1	Prove sugli elementi di carpenteria	96
6.1.1	Prelievo elementi in acciaio da carpenteria metallica.....	96
6.1.2	Prove di durezza su carpenteria metallica	98
6.1.3	Misure di spessore con ultrasuoni.....	98
6.1.4	Verifica della coppia di serraggio dei bulloni.....	100
6.1.5	Video-endoscopie e controlli visivi remotizzati	101
6.2	Controlli non distruttivi sulle saldature.....	102
6.2.1	Controllo delle saldature con metodo visivo (VT)	102
6.2.2	Controllo delle saldature con liquidi penetranti (PT).....	105
6.2.3	Controllo delle saldature con particelle magnetiche (MT)	108
6.2.4	Controllo delle saldature con ultrasuoni (UT)	110
7	Indagini per strutture in cemento armato precompresso.....	112
7.1	Rilievo del tracciato e della sezione dei cavi.....	112
7.1.1	Oggetto	112
7.1.2	Normativa di riferimento.....	112
7.1.3	Descrizione del metodo	112
7.1.4	Strumentazione e attrezzatura	113
7.1.5	Modalità di esecuzione	113
7.1.6	Presentazione dei risultati.....	114
7.2	Misure di mappatura del potenziale	117

7.3	Tomografia Ultrasonica	117
7.3.1	Oggetto	117
7.3.2	Descrizione del metodo	117
7.3.3	Strumentazione e attrezzatura	118
7.3.4	Modalità di esecuzione	118
7.3.5	Presentazione dei risultati.....	118
7.4	Ispezione endoscopica dei cavi	120
7.4.1	Oggetto	120
7.4.2	Bibliografia di riferimento	120
7.4.3	Descrizione del metodo	120
7.4.4	Strumentazione e attrezzatura	120
7.4.5	Modalità di esecuzione	120
7.4.6	Presentazione dei risultati.....	121
7.5	Saggi conoscitivi sui cavi di precompressione.....	123
7.5.1	Oggetto	123
7.5.2	Bibliografia di riferimento	123
7.5.3	Descrizione del metodo	123
7.5.4	Strumentazione e attrezzatura	123
7.5.5	Modalità di esecuzione	123
7.5.6	Presentazione dei risultati.....	124
7.6	Valutazione della tensione di precompressione residua di travi in c.a.p.	126
7.6.1	Prove di detensionamento sui trefoli / fili	126
7.6.2	Prove di detensionamento sul calcestruzzo - Carotaggio	130
7.6.3	Prove di detensionamento sul calcestruzzo – Tagli	135

1 Premessa

Il presente documento fornisce i criteri operativi con cui effettuare le indagini conoscitive delle strutture esistenti e le 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, unitamente alla caratterizzazione dei dettagli costruttivi e delle resistenze meccaniche dei materiali, con l'obiettivo di raggiungere il livello di conoscenza richiesto dell'opera in esame, in accordo e nel rispetto delle prescrizioni di legge vigenti.

La presente sezione si applica alle indagini rivolte alle opere d'arte esistenti (ponti, viadotti e cavalcavia), appartenenti alla rete infrastrutturale la cui gestione è di competenza ASPI.

Tale documento è da assumere a riferimento per la redazione della documentazione di prova (relazione conclusiva con interpretazione dei risultati delle indagini), restituita 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 alla Specifica tecnica "*Specifiche per la stesura del Piano delle Indagini ai fini delle verifiche di sicurezza*", datata Ottobre 2021.

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

- **Capitolo I:** illustra gli scopi del presente documento, inquadrando il contesto normativo 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 dei rilievi geometrici non strutturali delle opere;
- **Capitolo IV:** illustra le modalità operative di esecuzione e di restituzione relative l'attività di rilievo dello stato di conservazione dell'opera;
- **Capitolo V:** illustra le modalità operative di esecuzione e di restituzione per le indagini sugli elementi in cemento armato;
- **Capitolo VI:** illustra le modalità operative di esecuzione e di restituzione per le indagini sugli elementi in acciaio;
- **Capitolo VII:** illustra le modalità operative di esecuzione e di restituzione per le indagini sugli elementi in cemento armato precompresso.
- **Allegati.**

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

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.

LG20 Linee Guida per la classificazione e gestione del rischio, la valutazione della sicurezza ed il monitoraggio dei ponti esistenti allegate al parere del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici n.88/2019 del 17/04/2020

MIMS Ministero delle Infrastrutture e della Mobilità Sostenibili

NTC18 Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al Decreto 17 Gennaio 2018 del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti

PIND Piano di Indagine

1.1.2 Definizioni

CLIENTE: Autostrade per l'Italia (ASPI), titolare del contratto principale.

COMMITTENTE: TECNE, titolare dell'incarico descritto dal presente Disciplinare Tecnico (DT).

ESECUTORE: l'entità professionale fornitrice del servizio richiesto dal presente Disciplinare Tecnico.

CONTRATTO: contratto di appalto o di concessione avente per oggetto l'acquisizione di servizi, o di forniture, ovvero l'esecuzione di opere o lavori, posti in essere dalla stazione appaltante;

PIANO DI INDAGINE: documento contenente numero, ubicazione e 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.

1.2 Normative e documenti di riferimento

- [1] “Ponti, viadotti e cavalcavia. Specifiche per la stesura dei piani di indagine ai fini delle verifiche di sicurezza”, Autostrade per l'Italia, 04/2021.
- [2] DM 17/01/2018: “Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni»” (NTC2018).
- [3] Circ. Min. 21/01/2019: “Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni di cui al DM 17 gennaio 2018”.
- [4] DM 578 17/12/2020: “Linee Guida per la classificazione e gestione del rischio, la valutazione della sicurezza ed il monitoraggio dei ponti esistenti”.
- [5] “Ispezioni speciali di travi in c.a.p. con sistemi post tesi: campagna sperimentale ed analisi critica degli esiti per valutare l'efficacia e l'applicabilità delle principali tecniche di indagine”, Autostrade per l'Italia, 02/2021.
- [6] “Manuale della Sorveglianza ASPI - Opere d'Arte Maggiori - Ambito: Ispezioni Visive” (12/2020)
- [7] “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).
- [8] “Dispositivi di ritenuta stradali – Volume VI” – ANAS Gruppo FS.
- [9] “Guidelines for Sampling, Assessing, and Restoring Defective Grout in Prestressed Concrete Bridge Post-Tensioning Ducts”, FHWA Publication No. FHWA-HRT-13-027 (10/2013).
- [10] Capitolato generale delle tecniche di appalto delle opere civili, RFI, rete ferroviaria italiana
- [11] Specifiche per la stesura del Piano delle Indagini ai fini delle verifiche di sicurezza”, datata Ottobre 2021.
- [12] Applicazioni del metodo elettromagnetico GPR in campo ingegneristico – PIARC ITALIA 2020-2023 – Comitato Tecnico 1.6 – Laboratori di prova.
- [13] “Rilievo dello stato tensionale di elementi strutturali in calcestruzzo – Caso delle travi precomprese” – 4 Emme Service Spa.

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

1.3 Indicazioni operative generali

La programmazione, la numerosità e l'ubicazione delle indagini diagnostiche e dei rilievi richiesti saranno formalizzate con la redazione di un documento specifico, il '*Piano di Indagini*' e di elaborati grafici allegati, forniti da COMMITENTE all'ESECUTORE.

Nello svolgimento delle attività l'ESECUTORE potrà eseguire contemporaneamente più operazioni fra quelle indicate, scelte secondo le necessità operative ed i criteri di buona esecuzione, comunque espletate nel rispetto delle tolleranze di seguito descritte.

L'identificazione dell'opera, in uniformità al sistema informativo ASPI, sarà eseguita mediante il *codice STONE*, come ricavabile dal database dell'Archivio Opere di ASPI. Per dettagli si rimanda al Manuale della Sorveglianza ASPI - Opere d'Arte Maggiori - Ambito: Ispezioni Visive”.

La localizzazione dell'opera e l'individuazione univoca degli elementi strutturali che la compongono sarà gestita mediante l'Appendice 2: 'Localizzazione del difetto' del “Manuale della Sorveglianza ASPI - Opere d'Arte Maggiori - Ambito: Ispezioni Visive” (12/2020).

1.3.1 Soggetto Incaricato (Esecutore)

Tutti i lavori di indagine e le prove realizzate in sito e in laboratorio saranno diretti e sorvegliati da personale tecnico legalmente abilitato e dotato di adeguata e documentata esperienza nel campo specifico. In accordo a quanto riportato nelle NTC2018 § 8.5.3, il prelievo di campioni e l'esecuzione di prove dovranno essere effettuati a cura di un laboratorio certificato in conformità all'articolo 59 del DPR 380/2001.

Lo stato di rettifica di tutte le apparecchiature impiegate, sia per i rilievi di campagna che per la restituzione dovrà essere controllato prima dell'inizio effettivo dei lavori. TECNE si riserva la facoltà di richiedere la verifica delle apparecchiature anche in corso d'opera.

1.3.2 Identificazione delle zone di misura e di prelievo

Le zone di misura e prelievo oggetto delle indagini saranno identificate secondo un codice alfanumerico e riportate su appositi elaborati grafici, allegati alla documentazione di prova, restituita dall'ESECUTORE.

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

In cui:

- Codice Stone **12.01.0030.0.0** ;(il codice stone si può omettere)
- tipologia di indagine:
 - **C**: prelievo carota di cls;
 - **B**: prelievo barre di armatura;
 - **PAC**: prove pacometriche;

- **S**: saggi locali;
 - **ULT**: prove ultrasoniche;
 - **SCL**: prove sclerometriche;
 - **PUL**: prove di pull-out;
 - **DUR**: prove di durezza sulle barre;
 - **ECO**: Prove ecometriche;
 - **END**: prove 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.
-
- Elemento indagato:*
 - Ad esempio :**T**x: trave 3;

*laddove significativa, è richiesta l'indicazione del campo indagato (e.g. campo A-B-C per solette)
 - Carreggiata indagata:
 - **Dx**: destra;
 - **Sx**: sinistra.
 - **U**: unica.
 - Campata / Pila / Spalla indagata e progressivo numerico:
 - CM**x: campata 1;
 - **P**x: pila 1;
 - **Sp**x: spalla 1.

Durante le operazioni di rilievo in sito, tutte le zone di misura, le carote di calcestruzzo ed i campioni di barra, prelevati in sito per successive prove di laboratorio, dovranno essere siglati con il rispettivo codice di identificazione utilizzando un marcatore indelebile. E' richiesta inoltre documentazione fotografica del punto di prova, inquadrando (ove possibile) un punto di riferimento noto dell'opera.

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 (§ C8.5.2.2: "Costruzioni di calcestruzzo armato o acciaio").

Le operazioni e la tipologia di rilievo geometrico richieste per l'opera saranno indicate in una specifica sezione del documento 'Piano di Indagini', 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 CLIENTE e in accordo alle Specifiche PI ASPI, l'ESECUTORE potrà stabilire preliminarmente un criterio di omogeneità e ripetitività che riduca l'estensione del rilievo (ad esempio, per impalcati prefabbricati o pluri-campate con luci uguali).

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, etc 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.

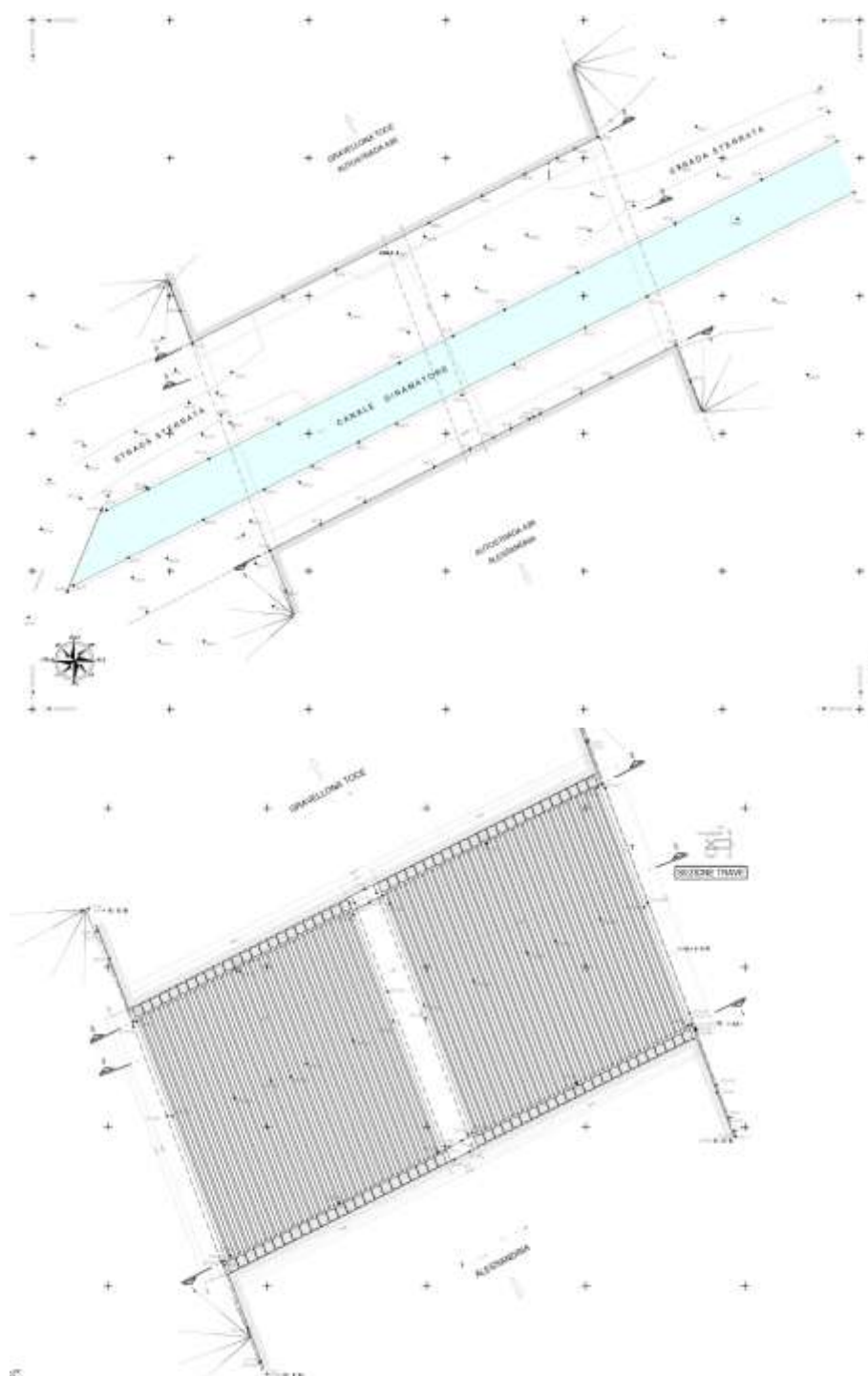
2.1.1 Rilievo di insieme del ponte

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, luce, sagoma e interasse delle campate, altezza e posizione delle pile, disposizione delle spalle, pendenza trasversale della carreggiata, con segnalazione di eventuali “fuori piombo” di elementi strutturali.

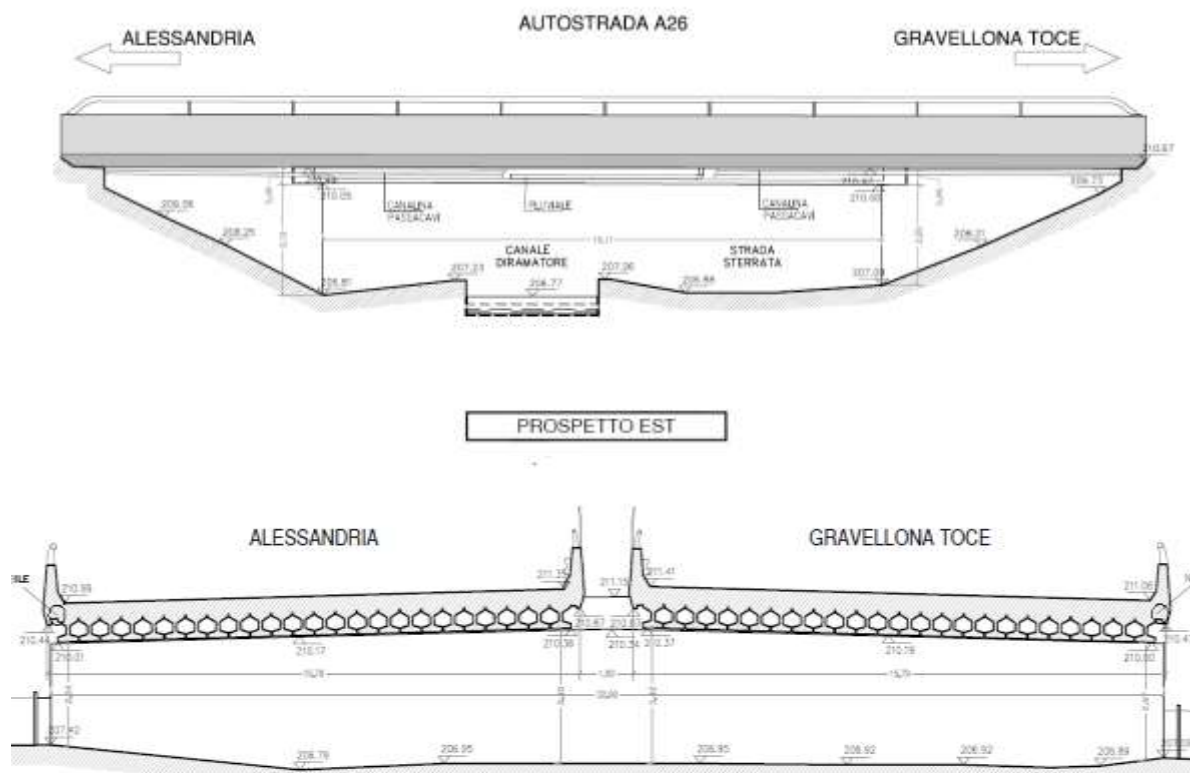


Figura 2 – Esempio di restituzione – rilievo delle parti strutturali

2.1.3 Rilievo dei componenti

Le operazioni di rilievo saranno precedute dalla acquisizione delle informazioni storiche e d'archivio disponibili, da richiedere al COMMITTENTE

I seguenti componenti dell'opera dovranno essere rilevati col massimo grado di dettaglio consentito dallo stato dei luoghi e in relazione al livello di conoscenza assunto come obiettivo:

- Impalcato
- Pile
- Spalle
- Fondazioni
- Muri
- Appoggi

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

Rilievo Geometrico - Impalcato e Pile

- 2.1.3.1 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 (*laserscanner*), 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* - caratteristiche tipologiche e geometriche.
- *pile e pulvini* - caratteristiche geometriche
- *interventi successivi al progetto originario*: e.g. interventi di rinforzo strutturale o conservativo, quali precompressione esterna, interventi di incamiciatura o ripristini; si richiede la misura degli elementi costitutivi e il riscontro con tavole progettuali.

Per quegli elementi per cui è necessario indagare spessori non noti visivamente, quali solette o pile cave, nell'ambito del rilievo geometrico sarà inclusa l'esecuzione di scassi o di microcarotaggi; una fotografia è mostrata di seguito.



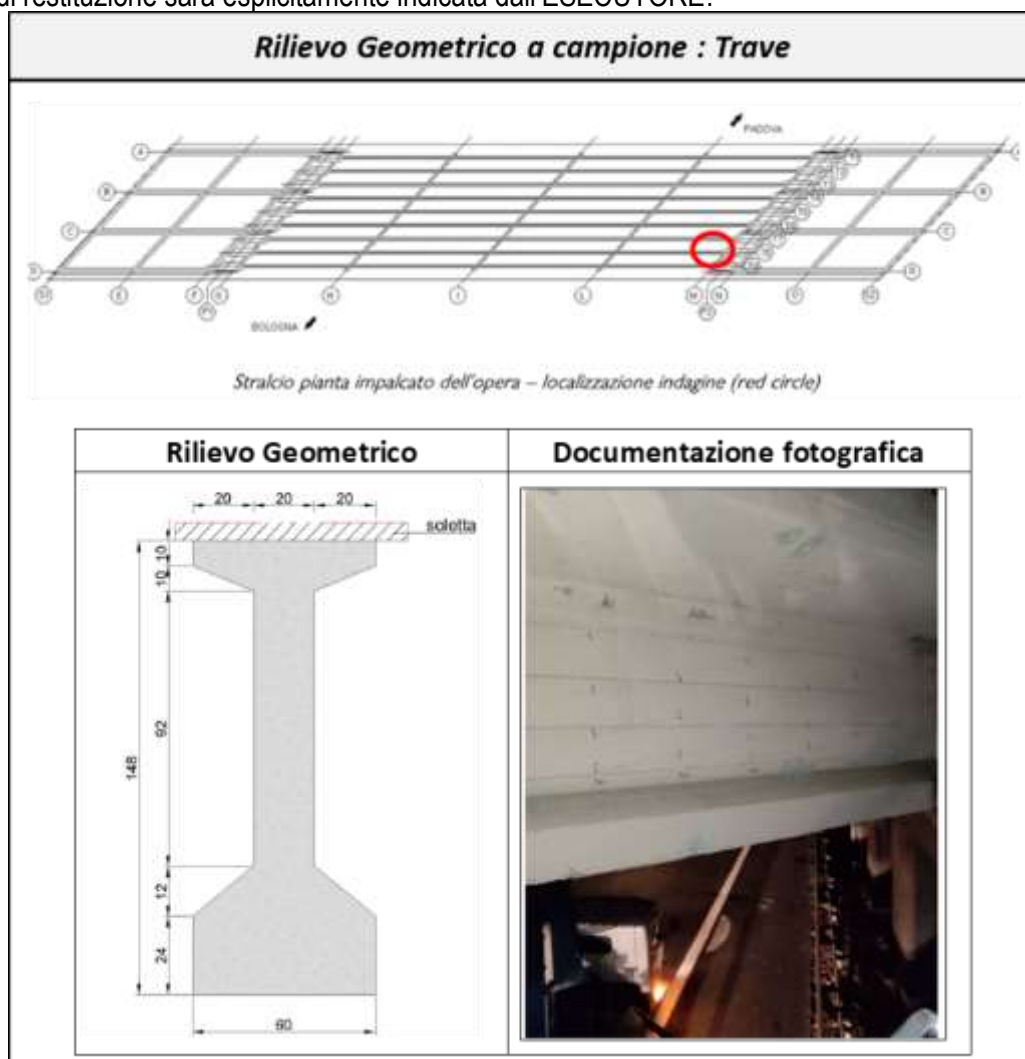
Figura 3 - Saggio in soletta

Restituzione dei rilievi

Gli elaborati restituiti dal laboratorio saranno costituiti da:

- Elaborati grafici: piante, prospetti, sezioni longitudinali e trasversali, raffiguranti quanto richiesto nei paragrafi precedenti
- Elaborati grafici editabili;
- Indicazione in pianta dell'elemento rilevato;
- Documentazione fotografica.

La scala di restituzione sarà esplicitamente indicata dall'ESECUTORE.



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. Relativamente alle strutture di fondazione il rilievo può essere diretto (tramite scavo) o indiretto (tramite acquisizione georadar).

2.1.3 Strumentazione e attrezzatura

- martello demolitore, gruppo elettrogeno, punta di lunghezza > 130 cm e diametro > 24 mm, carotatrice con sistema di carotaggio continuo e carotieri di diametro > 30 mm;
- videoendoscopio;
- pacometro a scansione del tipo Hilti Ferroskan o similari;
- georadar con antenna di frequenza compresa tra 400 e 900 MHz.

Modalità di esecuzione

Strutture di fondazione

RILIEVO DIRETTO:

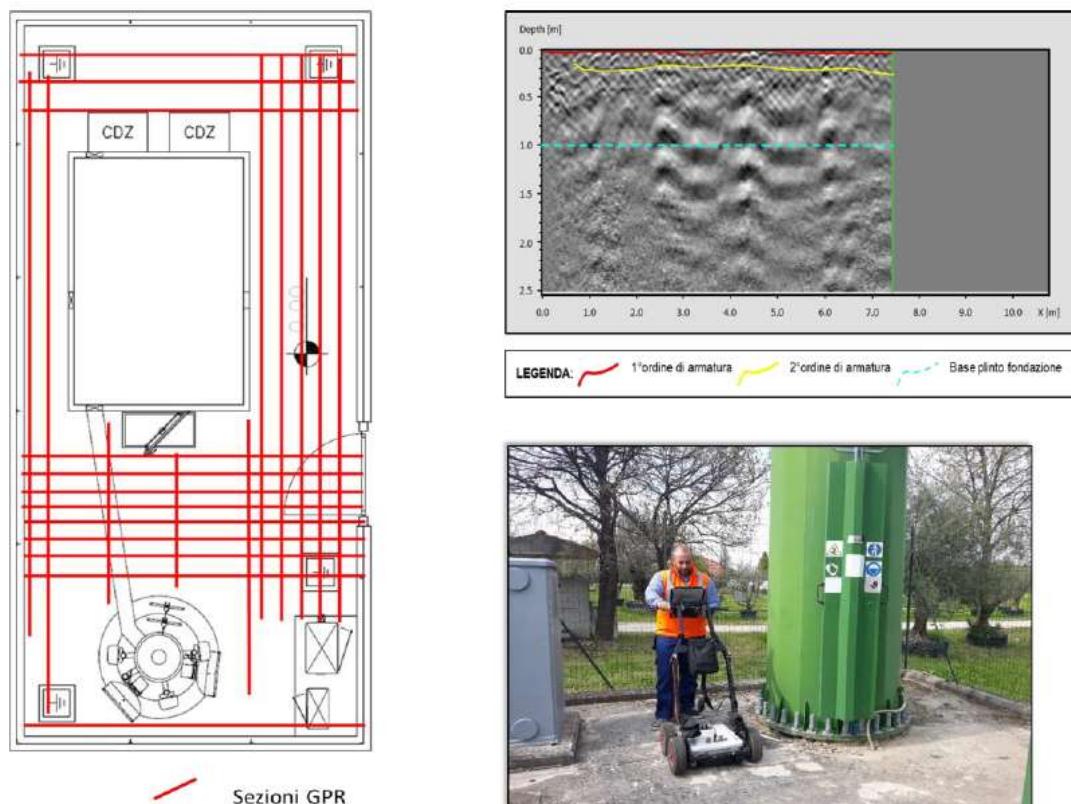
Il rilievo geometrico diretto delle strutture di fondazione dovrà essere eseguito con la seguente procedura:

- 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. Qualora l'estradosso del plinto si trovi ad una profondità superiore a 2.5 m dal piano di campagna, si potrà evitare di approfondire gli scavi.

RILIEVO INDIRETTO:

Il rilievo geometrico indiretto delle strutture di fondazione dovrà essere eseguito tramite strumentazione georadar con antenna multicanale. L'indagine consiste nella creazione di una maglia di acquisizione con passo sufficientemente piccolo, da ottenere con dettaglio le dimensioni dei plinti e delle travi di sottofondazione. Qualora la fondazione fosse sub-affiorante permette anche l'individuazione della disposizione dell'armatura. Nel caso di fondazione su pali possono essere utilizzate delle antenne da foro per verificarne la lunghezza o la continuità del getto.



Spalle

Il rilievo geometrico delle spalle avverrà mediante l'utilizzo delle tecniche tradizionali e avanzate, introdotte nel capitolo precedente. Il rilievo geometrico dovrà evidenziare tutte le dimensioni caratteristiche dell'elemento (e.g. altezza e larghezza elevazioni, dimensioni paragoni, etc..)

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

- mediante *prospezioni elettromagnetiche*, utilizzando un georadar con antenna di frequenza compresa tra 400 e 900 MHz,
- mediante *esecuzione di fiorettature* con eventuali prospezioni endoscopiche di verifica;
- mediante *esecuzione di carotaggi* continui orizzontali.

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

Le *prospezioni georadar* consistono nell'immettere in un elemento strutturale onde elettromagnetiche ad alta frequenza, e nel ricevere le onde riflesse dalla presenza di discontinuità fisiche al suo interno. La rappresentazione grafica del profilo georadar è formata da una molteplicità di tracce prodotte dalle onde riflesse derivate dall'insieme degli impulsi generati dall'antenna durante il suo trascinamento. Si ottengono così sezioni del substrato, nelle quali è possibile identificare la presenza di "bersagli" dovuti alle discontinuità riscontrate.

Le misure georadar dovranno essere eseguite utilizzando un'antenna di frequenza compresa tra 400 e 900 MHz e procedendo all'esecuzione di una serie di scansioni orizzontali e verticali sul muro frontale, con memorizzazione del segnale acquisito, e rilevando in tempo reale la profondità corrispondente al fronte d'onda imputabile al paramento interno del muro.

Le *fiorettature* saranno eseguite seguendo la procedura seguente:

- a. rilievo delle barre di armatura mediante pacometro, con tracciamento delle stesse sulla superficie del calcestruzzo;
- b. esecuzione della fiorettatura, utilizzando un trapano elettrico battente di potenza adeguata (superiore a 1500 W) ed una punta di lunghezza pari ad almeno 130 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 di circa 5° 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.

I *carotaggi* saranno eseguiti seguendo la procedura seguente:

- a. rilievo delle barre di armatura mediante pacometro, 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 (almeno ÷ 3 cm);
- 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 > 30 mm, per una 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, ecc.;
- g. documentazione fotografica della carota;
- h. ripristino del foro del carotaggio mediante malta fibrorinforzata premiscelata, tixotropica, leggermente espansiva.

Restituzione dei rilievi

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, in pianta, prospetto e sezione, con indicazione delle dimensioni rilevate,
- documentazione fotografica.

Un esempio di restituzione grafica del plinto è riportata di seguito.

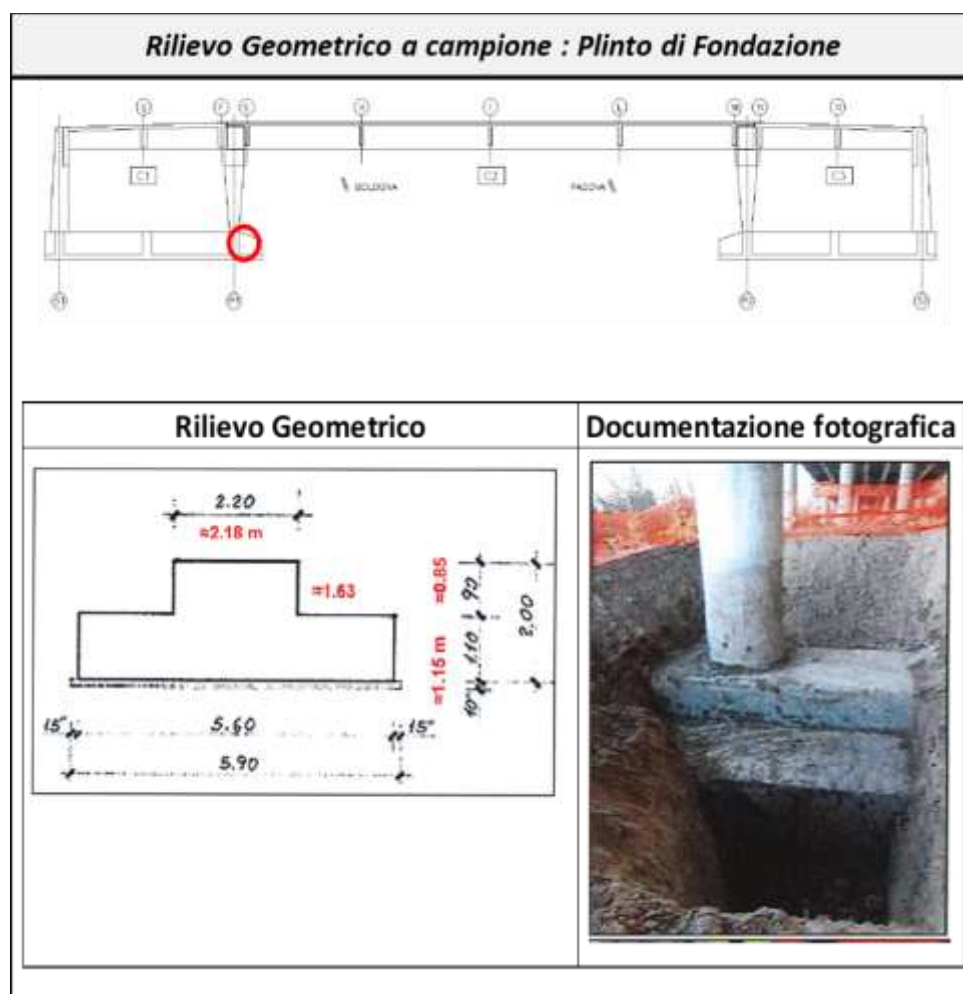


Figura 6 – Esempio di restituzione- Rilievo Plinto di fondazione

Rilievo dei dispositivi di appoggio

I rilievi geometrici richiesti per il sistema di appoggio sono rivolti a baggioli, a apparecchi di appoggio e a dissipatori sismici (ove presenti).

Si faccia riferimento al documento [11] per i rilievi geometrici richiesti, attendendosi alla differenziazione tra i diversi apparecchi di appoggio:

- 2.1.3.3
- 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 richiede all'ESECUTORE una chiara rappresentazione delle zone indagate in pianta, come riportato di seguito.

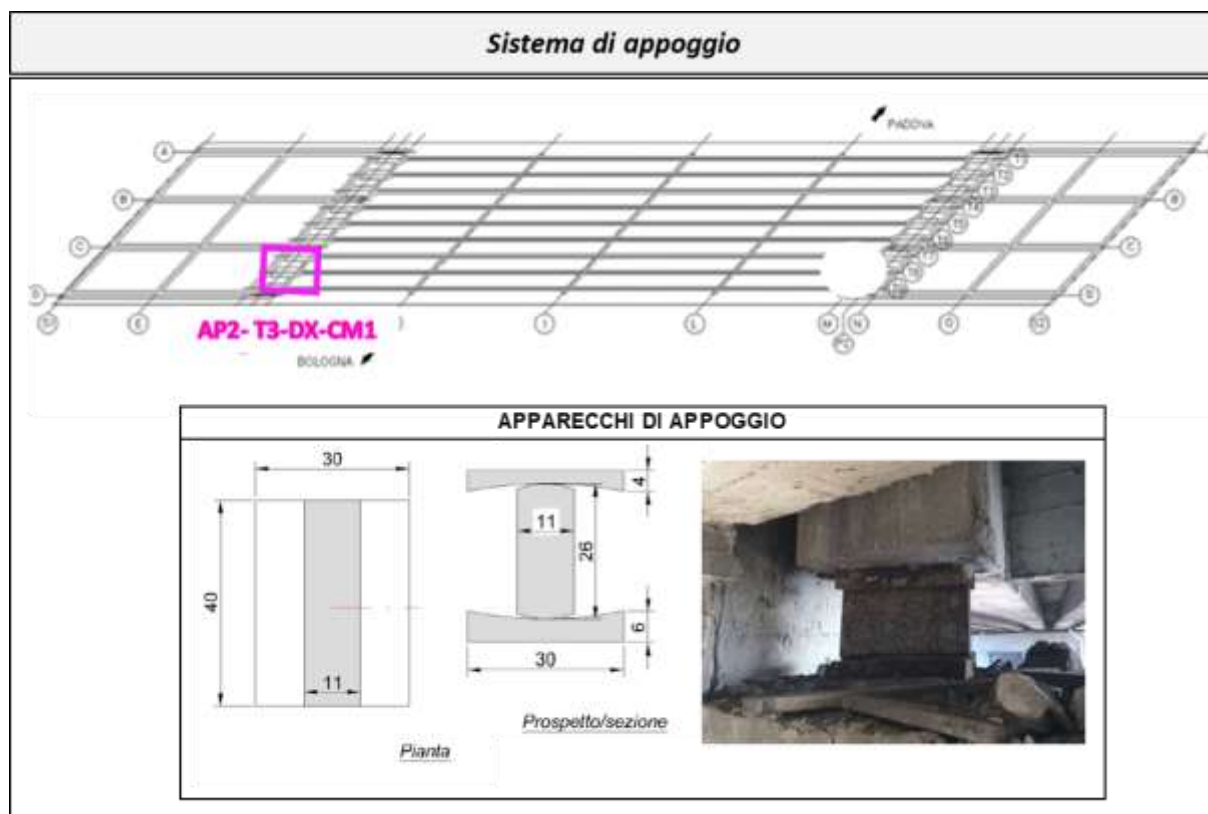


Figura 7 – Esempio di restituzione- Apparecchi di appoggio

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, l'altezza, la larghezza e la lunghezza complessiva di uno degli impalcati costituenti l'opera e di una pila, verificandone la verticalità). Tali elementi saranno esplicitamente indicati nel “Piano di Indagine”.



ISTRUZIONE TECNICA
PPR1 – REALIZZAZIONE PROGETTUALE
PROCEDURE DI ESECUZIONE E MODALITA' DI
RESTITUZIONE DI INDAGINI CONOSCITIVE

Rif: PO-PPR1-PNT-005

Rev: 1

Data:

Pagina 21 di 137

Laddove sia richiesto un rilievo a campione, esso dovrà contenere informazioni desumibili dalla scala di analisi di dettaglio:

- Rilievo dei singoli componenti (con le modalità indicate nel 2.1.3).

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)

3.1 Stratigrafia del pacchetto della pavimentazione stradale

La conoscenza delle caratteristiche del pacchetto della pavimentazione stradale potrà essere raggiunta o mediante saggi diretti/foro mediante trapano o mediante il prelievo di carote o mediante indagine GPR. Di seguito si riportano le modalità di esecuzione e la presentazione dei risultati richiesta per le tre prove.

3.1.1 Saggi diretti

Modalità di esecuzione

3.1.1.1 Nel caso in cui la conoscenza delle caratteristiche del pacchetto della pavimentazione stradale sia richiesta tramite l'esecuzione di saggi diretti, le operazioni dovranno essere eseguite secondo la seguente procedura:

- a. Taglio della pavimentazione mediante troncatrice a disco su una superficie di almeno 100 x 100 cm;
- 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 gioco di 5 cm di lembo, oltre il taglio, al fine di consentire il ripristino per la sovrapposizione della guaina;
- c. misura dello spessore della pavimentazione e documentazione fotografica;
- d. richiusura del saggio con bitume a freddo adeguatamente compattato, in corsia di emergenza, mentre a caldo in corsia di marcia o di sorpasso. Se presente impermeabilizzazione della piattaforma stradale, è richiesto il ripristino della guaina per sovrapposizione.

3.1.1.2 Nel caso in cui la finalità dell'indagine è la conoscenza dello spessore della pavimentazione stradale per la definizione compiuta dei carichi permanenti, il saggio diretto può essere sostituito tramite l'esecuzione di un foro sulla piattaforma stradale mediante trapano.

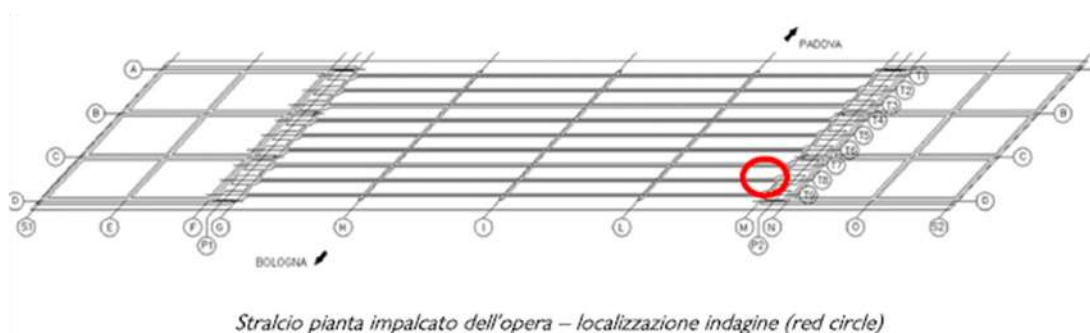
Presentazione dei risultati

La relazione tecnica restituita dal laboratorio dovrà contenere:

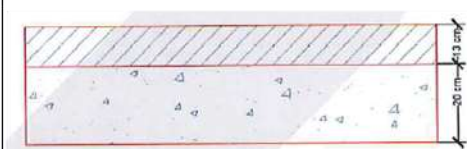
- Descrizione e identificazione della tasca eseguita;
- Sezione della soletta e della pavimentazione con indicazione dello spessore misurato;
- Documentazione fotografica.

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

Tasca per determinazione del pacchetto della pavimentazione stradale



Rilievo Geometrico



Documentazione fotografica



Figura 8 – Esempio di restituzione- Determinazione spessore pavimentazione stradale

3.1.2 Prelievo di carote di conglomerato bituminoso

Nel caso in cui nel Piano di indagine sia indicato il prelievo di carote di conglomerato bituminoso per la valutazione dello spessore e della massa volumica del pacchetto stradale, le modalità di esecuzione dovranno essere in linea con la UNI EN 12679-6.

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

Presentazione dei risultati

La relazione tecnica restituita dal laboratorio dovrà contenere:

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

3.1.3 Indagine Georadar

Modalità di esecuzione

La mappatura degli spessori può avvenire secondo diverse modalità e con diversi scopi: verifica dell'intero "pacchetto bituminoso" o distinzione dei singoli strati quali base, binder e usura. Per tali misure vanno utilizzate antenne a frequenze medio alte (900 -2000 MHz). Nella maggior parte dei casi si preferisce usare una combinazione di più antenne in modo da riuscire ad ottenere nello stesso tempo dettagli superficiali e informazioni sugli strati profondi. La seconda distinzione che si fa è in relazione alle estese da acquisire: se vanno eseguite acquisizioni di grande estensione è certamente preferibile utilizzare antenne tipo Horn trainate da un veicolo strumentato. Nel caso di piccole aree da acquisire possono essere utilizzate antenne "a contatto". Vanno eseguiti carotaggi per la calibrazione dei parametri del modello di calcolo degli spessori. La definizione del numero e della posizione dei carotaggi di calibrazione va eseguita analizzando visivamente i dati acquisiti. Va posizionato un carotaggio per ogni tratta stradale con caratteristiche stratigrafiche uniformi. Quindi, sulla tratta stradale così individuata, vanno determinati i parametri di calibrazione del modello di calcolo degli spessori minimizzando lo scarto quadratico medio tra gli spessori misurati e quelli calcolati. Nel caso in cui la conoscenza delle caratteristiche del pacchetto della pavimentazione stradale sia richiesta tramite l'esecuzione di saggi diretti, le operazioni dovranno essere eseguite secondo la seguente procedura:

3.1.3.2 Strumentazione e attrezzatura

- sistema di acquisizione dati: GeoScope TM Mk IV 3D Step-Frequency GPR Georadar Step-Frequency Continuous Waveform (SFCW) system;
- Antenne 21 canali con range di frequenza in continuo da 2000MHz a 3GHz;
- Sistema di registrazione ed elaborazione dati: Software di Acquisizione ed elaborazione dati 3D-Radar Examiner.



Figura 9 –Determinazione spessore pavimentazione stradale da piattaforma stradale

Presentazione dei risultati

La relazione tecnica restituita dal laboratorio dovrà contenere:

- Identificazione della sezione in cui è stata eseguita l'indagine;

Relativamente al carotaggio:

- carreggiata/direzione e riferimento alla progressiva chilometrica (km 0+000) in cui è stato eseguito il carotaggio;
- data e ora in cui è stato eseguito il carotaggio;
- spessore complessivo del carotaggio eseguito;
- spessore degli strati costituenti la pavimentazione rilevabili dal carotaggio eseguito;
- documentazione fotografica, per ciascun carotaggio eseguito, della lunghezza della carota mediante apposito metro.

Relativamente alle prove con attrezzatura Georadar:

- radargramma 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;
- tabulato con indicazione degli spessori degli strati che costituiscono la sovrastruttura e relativa composizione, in corrispondenza dei punti di battuta del FWD.

3.2 Sistemi di ritenuta stradale

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

La classificazione sarà eseguita sulla base del documento [8] 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 dei seguenti elementi strutturali:

- 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:

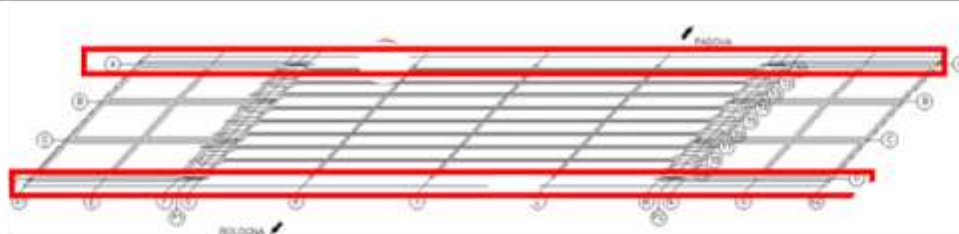
- corpo in cls (dettagli sull'altezza);
- ancoraggi (piastra e tirafondi);
- mancorrente superiore e manicotti.

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, eseguire il rilievo dei componenti strutturali indicati precedentemente;
- 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;
- Documentazione fotografica.

Dispositivi di ritenuta



N°	Tipologia Barriera	Posizione	Classe	H montanti	N° montanti su ogni lato	Peso	Dimensioni piastra di base	N° tirafondi e classe	Note
[-]	[-]	[-]	[-]	[m]	[-]	[kN/m]	[-]		[-]
1	Barriera metallica								



Figura 10 – Esempio di restituzione- Rilievo geometrico sistemi di ritenuta stradale

3.3 Sistema di smaltimento delle acque

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

Un esempio di presentazione del rilievo è riportato di seguito.

MSQX-MDS-Rev0

La sola edizione controllata del documento è quella diffusa attraverso la rete informatica.

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.

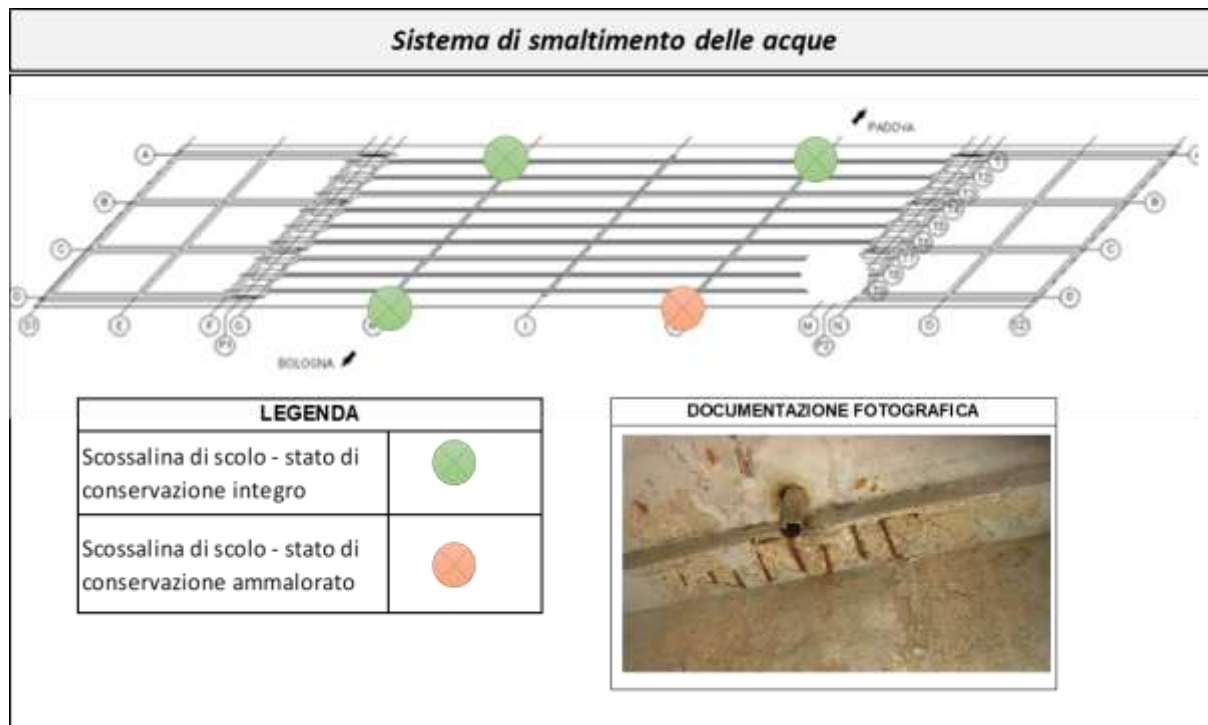


Figura 11 – Esempio di restituzione- Sistema di smaltimento dell'acque dalla piattaforma stradale

4 Rilievo dello stato di conservazione

4.1.1 Oggetto

Nel presente paragrafo sono illustrate le modalità operative per l'esecuzione della mappatura del degrado sugli elementi strutturali dell'opera oggetto di indagine.

4.1.2 Modalità di esecuzione

Il rilievo richiesto deve essere rivolto a tutti gli elementi strutturali, seguendo un procedimento logico finalizzato a dare evidenza della diffusità del fenomeno sull'opera. Pertanto, affinché possa rappresentare l'esatta fotografia dello stato delle strutture, la raccolta delle informazioni deve essere sistematica, ripetibile ed esaustiva nei confronti di tutte le possibili condizioni di degrado.

In tal senso, l'approfondimento dovrà essere rivolto anche a tutte le parti non direttamente a vista e il cui stato di conservazione è in prima fase occulto; si fa riferimento, ad esempio, a tutte le testate delle travi in c.a. o c.a.p. e le superfici coperte mediante rete protettiva o carter.

Il rilievo dello stato di conservazione, per come è pensato in questa fase, deve essere diagnostico non distruttivo, i.e. deve fornire la diagnosi sullo stato di alterazione e degrado mediante tecniche manuali e strumentali, conservando l'integrità degli elementi indagati. Pertanto, l'esecuzione di alcune tecniche di approfondimento, quali saggi visivi su cavi post-tesi, sono rimandate a fasi di indagine distinte (indagini specialistiche).

Il rilievo ha lo scopo di:

- *riconoscere* il difetto tra quelli classificati nel seguito (Tabella 1);
- *ubicarlo* univocamente sull'opera;
- *definire l'estensione e l'entità* dei fenomeni di alterazione e degrado che lo caratterizzano.

Il processo logico da seguire è riportato nel seguito.



I passi per la mappatura del degrado sono esplicitati nei paragrafi successivi.

Identificazione difetto

Ai fini della globalità dell'informazione richiesta, ogni elemento strutturale sarà analizzato per riconoscere (ove presente) una delle seguenti tipologie dei difetti.

4.1.2.1

	N°	TIPOLOGIA DIFETTO
ELEMENTI IN C.A. - C.A.P.	103	UMIDITÀ DALL'INTERNO (C.A.P. a cavi scorrevoli)
	2, 104	CLS AMMALORATO, RIDUZIONE SEZIONE RESISTENTE CLS
	98	DISTACCO SPIGOLI
	4, 34	ARMATURA ORDINARIA e STAFFE SCOPERTA/OSSIDATA
	94, 118	RIDUZIONE SEZIONE ARMATURA C.A, ARMATURA SUSSIDIARIA RIDOTTA DI SEZIONE
	11, 110	GUAINE CAVI C.A.P. ESPOSTE/OSSIDATE / GUAINE NON INTASA
	12	ARMATURE DI PRECOMPRESSIONE ESPOSTE/OSSIDATE
	95	RIDUZIONE SEZIONE ARMATURA DI PRECOMPRESSIONE
	8	DISTACCO TAMPONI TESTATE
	7	TESTATE ANCORAGGIO NON SIGILLATE
	17	DISTACCO TRAVI-TRASVERSI
	40	SCALZAMENTO DELLE FONDAZIONI
	75	RIPRESE SUCCESSIVE DETERIORATE
	72, 30, 16, 106, 27, 37, 56	LESIONI TRASVERSALI, LONGITUDINALI, DIAGONALI, ATTACCO TRAVE SOLETTA, LESIONI NODI, LESIONI ATTACCO PILASTRI, LESIONI IN CORRISPONDENZA DEI FERRI DI ARMATURA
	9, 10, 97	LESIONI SU ANIMA LUNGO I CAVI, LESIONI LUNGO SUOLA DEL BULBO, LESIONI LONGITUDINALI ESTRADOSSO BULBO TRAVI
	55	LESIONI DA SCHIACCIAMENTO
	57	LESIONI CARATTERISTICHE IN ZONA D'APPOGGIO
	29	LESIONI RAMIFICATE E CALCESTRUZZO DEGRADATO
	107	FUORIUSCITA BARRE DI ANCORAGGIO
ELEMENTI IN ACCIAIO	20, 63, 28	SFOGLIAMENTO VERNICE, OSSIDAZIONE, CORROSIONE
	2, 23	BULLONI ALLENTATI / PERNI DEFORMATI/ PERNI TRANCIATI
	19, 87	DIFETTO DI SALDATURA / ROTTURA SALDATURA
	24, 36	DEFORMAZIONE PROFILATI DI ACCIAIO / FUORI PIOMBO
	88	ROTTURA PROFILATI IN ACCIAIO
ELEMENTI IN MURATURA	54	ELEMENTI MURATURA MANCANTE
	74	DISTACCO DEL TIMPANO
	53	LESIONI LUNGO I LETTI DI MALTA
ELEMENTI DI RINFORZO	114	FIBRE DI CARBONIO NON ADERENTI
	115	FIBRE DI CARBONIO TRANCIATE

Tabella 1: Identificazione Difetti

Si fa presente che la numerazione e la tipologia del difetto sono stati riportati così come espone il documento di classificazione dei difetti “*Catalogo dei difetti – ASP1*”, opportunamente depurati di quelle voci richiedenti supporti specialistici (e.g. difetti su apparecchi di appoggio).

Relativamente al ventaglio di difetti associato alle *lesioni sulle travi (su anima lungo i cavi, lungo la suola del bulbo, etc..)* e ai difetti manifesti sui cavi post-tesi (e.g. guaine in vista, scoperte) se ne richiede l'identificazione sull'opera nel contesto di questo rilievo, ma se ne rimanda l'analisi, in quanto investigata in fasi distinte (e.g. indagini speciali sui cavi di precompressione)

Laddove siano presenti ulteriori difetti rispetto a quelli precedentemente indicati, l'ESECUTORE dovrà provvedere ad inserirli in formato tabellare in successione a quelli esposti e a fornire il riferimento aggiornato.

Ubicazione del difetto

La localizzazione delle zone di degrado è eseguita in accordo al *Manuale della Sorveglianza – Autostrade per l'Italia – rev.04*, che prevede:

- 1) Scomposizione dell'opera in reticoli;
- 2) Localizzazione mediante la metodologia del cubo.

FASE 1: Per alcune componenti è necessario indicare la porzione nella quale è localizzato il difetto. La scomposizione in reticoli è una scomposizione immaginaria delle componenti degli impalcati a graticcio, degli impalcati a cassone, degli archi cellulari e degli archi reticolari. Questa scomposizione è possibile solo se sono presenti gli elementi trasversali (trasversi, diaframmi e interconnessioni) che determinano una scomposizione in griglia. Un esempio è riportato di seguito.

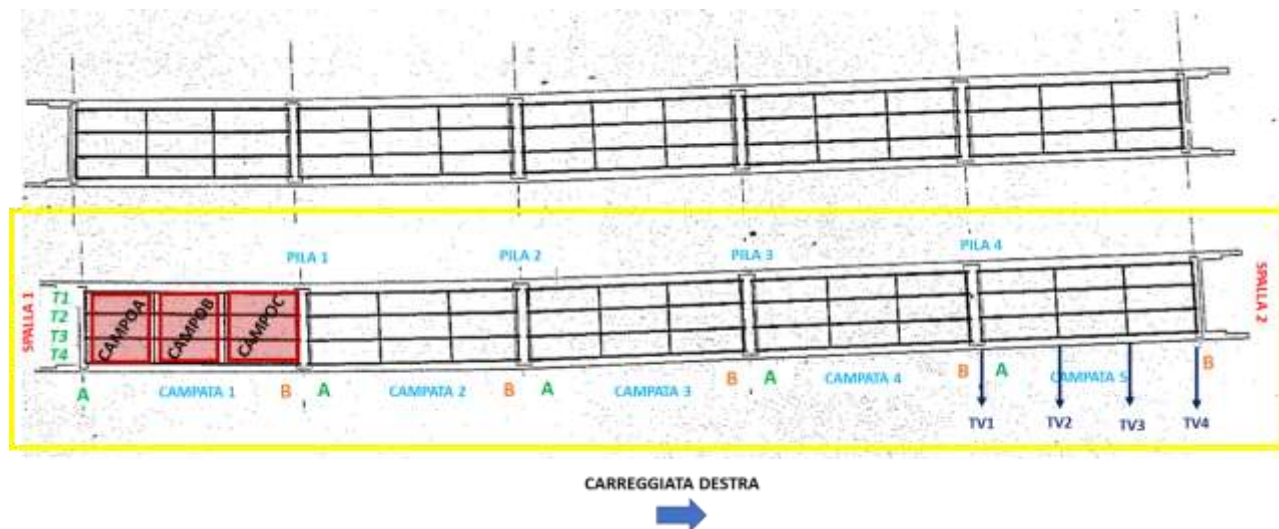


Figura 12: Pianta d'impalcato

Si richiede l'utilizzo di definizioni e simbologie codificate secondo tali indicazioni, al fine di rendere omogenee e confrontabili le informazioni prodotte.

La legenda dovrà essere esplicitata nel documento restituito dall'ESECUTORE.

FASE 2:

MSQX-MDS-Rev0

La sola edizione controllata del documento è quella diffusa attraverso la rete informatica.

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.

La metodologia del cubo è stata studiata per permettere facilmente all'ispettore di localizzare il difetto all'interno della componente. Ogni componente è schematizzabile come un cubo o un parallelepipedo. La localizzazione del difetto si articola in tre fasi che l'ispettore dovrà eseguire in modo da localizzare il difetto in modo esaustivo e tracciabile nel tempo.

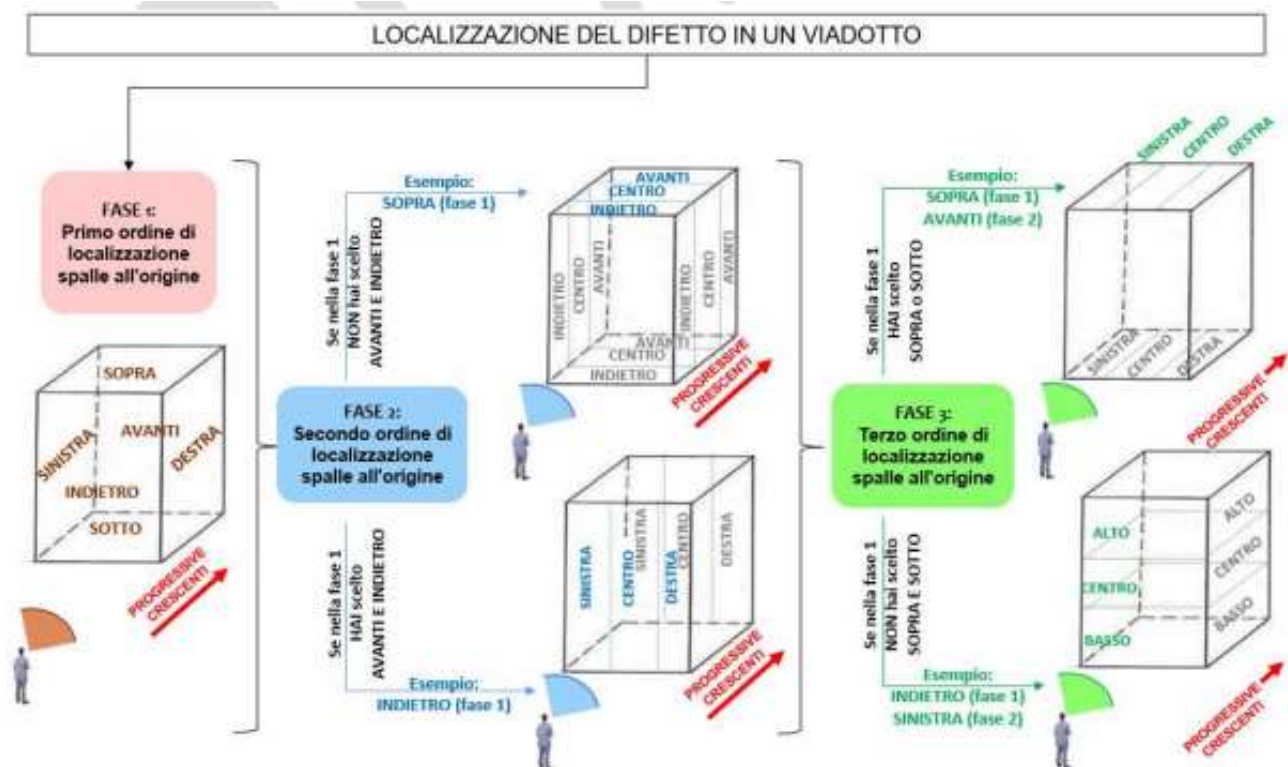


Figura 13: Localizzazione del difetto mediante metodologia del cubo

La configurazione standard del “cubo” è formata da 6 facce suddivise a loro volta in 9 quadrati sui quali è possibile inserire uno o più difetti.

Estensione del difetto

Identificato il difetto e localizzato sull'opera d'arte, è richiesta l'indicazione dell'estensione sull'elemento: l'ammaloramento potrà essere *localizzato* in una porzione o *esteso* su tutta la superficie o su tutta una porzione dell'elemento.

A l'una o a l'altra indicazione corrisponderà un diverso grado di indagine richiesta:

- Laddove il difetto sia **localizzato**, le informazioni da fornire sono le dimensioni della porzione interessata dal degrado. A tale scopo è richiesto l'utilizzo di strumenti di misura lineari, quale metro, distanziometri. Un esempio è mostrato nel seguito.



Figura 14: Estensione del difetto LOCALIZZATO

- Laddove il difetto sia **esteso**, è sufficiente indicare la porzione di elemento interessata dal difetto (e.g. tutta l'anima della trave oppure lato sinistro di un fusto pila). In questo caso, oltre alla strumentazione ordinaria potrebbero essere necessari tecniche di rilievo avanzate, ad esempio la fotogrammetria.

Area: lato sx di tutto il fusto pila



Figura 15: Estensione del difetto ESTESO

La definizione di *locale* o *esteso* deve essere valutato dall'operatore in base alle dimensioni dell'elemento, alla funzione svolta nell'opera e alla tipologia del difetto da valutare.

Intensità del difetto

Definita l'estensione del difetto sull'opera, si dovranno fornire informazioni sull'intensità dell'ammaloramento, misurandone lo stadio e la sua possibile evoluzione.

Il dato richiesto relativo all'entità del difetto dipende dall'estensione dello stesso (diffusa o localizzata), come definita nel paragrafo precedente

- **Se Difetto localizzato → mappatura del degrado puntuale:**

l'intensità può essere valutata tramite il rapporto di aree o dimensioni. (*Ad esempio:* per l'armatura longitudinale corrosa si dovrà indicare il diametro misurato della barra corrosa e il diametro dell'armatura integra; per la riduzione di sezione di cls allo spiccatto di un fusto pila, si dovranno indicare le dimensioni della superficie ammalorata e di quella integra).

- **Se Difetto esteso → mappatura del degrado globale:**

si richiede una valutazione globale dell'elemento, suddividendolo in aree con medesime classi di degrado o distinte in base alla percentuale di perdita associata. (*Ad esempio:* riduzione dello strato corticolare di cls su fusti pila può essere indicato mediante diverse percentuali associate ad idonee scale cromatiche)

Tabella riepilogativa

Nel seguito si riporta la tabella riepilogativa che in funzione della tipologia di difetto, dell'estensione e dell'intensità, chiarisce all'ESECUTORE cose rilevare e restituire ai fini del rilievo del degrado, secondo quanto precedentemente esposto.

4.1.2

ELEMENTI IN C.A. - C.A.P				
N°	TIPOLOGIA DIFETTO	ESTENSIONE	INTENSITA'	COSA RILEVARE
103	UMIDITÀ DALL'INTERNO (C.A.P. a cavi scorrevoli)	Localizzata	mappatura degrado puntuale	estensione superficie risonante, battuta con martello; eventuale rimozione strato corticale di c.a. interessato
2, 104	CLS AMMALORATO, RIDUZIONE SEZIONE RESISTENTE CLS	Localizzata	mappatura degrado puntuale	rapporto tra area a sezione integra e area sezione ammalorata / spessore massimo di strato corticale di cls distaccato estensione area interessata dal difetto (comprensiva di quelle risonanti, ma non distaccate)
		Diffusa	mappatura degrado globale	% perdita di strato corticale in c.a. (operando una suddivisione in classi di degrado) e utilizzo di tecniche specialistiche (e.g. fotogrammetria).
98	DISTACCO SPIGOLI	Localizzata	mappatura degrado puntuale	estensione area interessata dal difetto; n° barre in vista e indicazione di eventuale stato di ossidazione/corrosione
4,34	ARMATURA ORDINARIA e STAFFE SCOPERTA/OSSIDATA	Localizzata	mappatura degrado puntuale	area interessata dal difetto; perdita copriferro (generalmente questo difetto è compresente con altri, come "Cls ammalorato", in questi per il rilievo si faccia riferimento anche alla richiesta di output corrispondente)
		Diffusa	mappatura degrado globale	% perdita di area con armature in vista/ossidate (operando una suddivisione in classi di degrado) e utilizzo di tecniche specialistiche (e.g. fotogrammetria).
94,118	RIDUZIONE SEZIONE ARMATURA C.A, ARMATURA SUSSIDIARIA RIDOTTA DI SEZIONE	Localizzata	mappatura degrado puntuale	Misura diametro sezione ridotta mediante calibro e confronto con sezione integra; estensione area interessata dal difetto
		Diffusa	mappatura degrado globale	% perdita di area con armature ridotte di sezione (operando una suddivisione in classi di degrado) e utilizzo di tecniche specialistiche (e.g. fotogrammetria).
11, 110	GUAINE CAVI C.A.P. ESPOSTE/OSSIDATE / GUAINE NON INTASATE	Localizzato	mappatura degrado puntuale	Segnalazione presenza difetto; Estensione area e stato di conservazione (ossidate /corrose) (non ne è richiesta l'apertura, se già commissionata nei piani di indagine Specialistici)
12	ARMATURE DI PRECOMPRESSIONE ESPOSTE/OSSIDATE	Localizzato	mappatura degrado puntuale	N° fili (esplicitare a quale cavo appartengono se post- tesi o filo / trefoli se pre-tesi); e stato di conservazione (esposte oppure ossidate); Estensione area interessata dal degrado
95	RIDUZIONE SEZIONE ARMATURA DI PRECOMPRESSIONE	Localizzato	mappatura degrado puntuale	N° fili spezzati o ridotti di sezione (esplicitare a quale cavo appartengono se post- tesi o filo / trefoli se pre-tesi); Misura diametro mediante calibro per valutare la corrosione; Estensione area interessata dal degrado.

ELEMENTI IN C.A. - C.A.P

N°	TIPOLOGIA DIFETTO	ESTENSIONE	INTENSITA'	COSA RILEVARE
8	DISTACCO TAMPONI TESTATE	Localizzato	mappatura degrado puntuale	Estensione area interessata dal degrado; Indicazione se il distacco del tampone è completo o parziale; Stato di conservazione dell'armatura ed eventuale misura mediante calibro;
7	TESTATE ANCORAGGIO NON SIGILLATE	Localizzato	mappatura degrado puntuale	n° testate non sigillate in vista; stato di conservazione testate (ossidate/corrosse)
17	DISTACCO TRAVI-TRASVERSI	Localizzata	mappatura degrado puntuale	Segnalazione presenza difetto
40	SCALZAMENTO DELLE FONDAZIONI	Localizzata	mappatura degrado puntuale	rilievo della superficie esposta delle fondazioni
75	RIPRESE SUCCESSIVE DETERIORATE	Localizzata	mappatura degrado puntuale	Rilievo profondità distacco c.a. Estensione area interessata dal degrado
		Diffusa	mappatura degrado globale	Rilievo mediante fotogrammetria o tecniche simili (% distacchi sulla superficie)
72, 30, 16, 106, 27, 37, 56	LESIONI TRASVERSALI, LONGITUDINALI, DIAGONALI, ATTACCO TRAVE SOLETTA, LESIONI NODI, LESIONI ATTACCO PILASTRI, LESIONI IN CORRISPONDENZA DEI FERRI DI ARMATURA	Localizzata	mappatura degrado puntuale	Estensione difetto; Ampiezza delle fessure : capillari, spessore > 1/2 mm, spessore >2 mm
		Diffusa	mappatura degrado globale	Segnalazione presenza difetto; mappatura delle lesioni mediante schemi grafici e/o tecniche specialistiche (e.g. termografia)
9, 10, 97	LESIONI SU ANIMA LUNGO I CAVI, LESIONI LUNGO SUOLA DEL BULBO, LESIONI LONGITUDINALI ESTRADOSSO BULBO TRAVI	Localizzata	mappatura degrado puntuale	Segnalazione presenza difetto (saggi visivi rimandati ad indagini specialistiche per travi in c.a.p post- tesi); estensione superficie risonante, battuta con martello; mappatura delle lesioni mediante schemi grafici e/o tecniche specialistiche (e.g. termografia)
55	LESIONI DA SCHIACCIAMENTO	Localizzata	mappatura degrado puntuale	Segnalazione presenza difetto con indicazione se determinano armature in vista o distacco di materiale
57	LESIONI CARATTERISTICHE IN ZONA D'APPOGGIO	Localizzata	mappatura degrado puntuale	Ampiezza delle fessure se spessore >2 mm
29	LESIONI RAMIFICATE E CALCESTRUZZO DEGRADATO	Localizzata	mappatura degrado puntuale	Segnalazione presenza difetto; battuta con martello e disgregazione delle porzioni in distacco
107	FUORIUSCITA BARRE DI ANCORAGGIO	Localizzata	mappatura degrado puntuale	Segnalazione presenza difetto.

ELEMENTI IN ACCIAIO

N°	TIPOLOGIA DIFETTO	ESTENSIONE	INTENSITA'	COSA RILEVARE
20, 63, 28	SFOGLIAMENTO VERNICE, OSSIDAZIONE, CORROSIONE	Localizzata	mappatura degrado puntuale	Estensione area interessata dal degrado; misurazione mediante calibro dell'eventuale riduzione di sezione;
		Diffusa	mappatura degrado globale	% perdita di sezione resistente della carpenteria metallica (operando una suddivisione in classi di degrado) e/o utilizzo di tecniche specialistiche (e.g. fotogrammetria).
2, 23	BULLONI ALLENTATI / PERNI DEFORMATI / TRANCIATI	Localizzata	mappatura degrado puntuale	n° bulloni allentati e perni tranciati; indentificazione della posizione dei bulloni
19,87	DIFETTO DI SALDATURA, ROTTURA SALDATURA	Localizzata	mappatura degrado puntuale	Segnalazione presenza difetto; riferimento al §6.2 del presente elaborato. (Comprende anche tutte le lesioni potenzialmente legate alle saldature (e.g. lesioni derivanti da problemi di fatica, per le quali è richiesta la mappatura su schemi grafici o specialistici).
24, 36	DEFORMAZIONE PROFILATI DI ACCIAIO / FUORI PIOMBO	Localizzata	mappatura degrado puntuale	Segnalazione presenza difetto; indicazione sulla perdita di forma rispetto alla sezione originaria (e.g. indicazioni sull'imbozzamento dell'anima della trave)
88	ROTTURA PROFILATI IN ACCIAIO	Localizzata	mappatura degrado puntuale	Segnalazione presenza difetto.

ELEMENTI IN MURATURA

N°	TIPOLOGIA DIFETTO	ESTENSIONE	INTENSITA'	COSA RILEVARE
54	ELEMENTI MURATURA MANCANTE	Localizzata	mappatura degrado puntuale	Segnalazione elemento muratura mancante; misurazione area interessata dal difetto; misurazione profondità interessata dal difetto
74	DISTACCO DEL TIMPANO	Diffusa	mappatura degrado globale	Segnalazione presenza difetto; mappatura delle lesioni sul timpano mediante tecniche specialistiche (e.g. termografia)
53	LESIONI LUNGO I LETTI DI MALTA	Diffusa	mappatura degrado globale	Segnalazione presenza difetto; mappatura delle lesioni sull'elemento interessato mediante tecniche specialistiche (e.g. termografia)

ELEMENTI DI RINFORZO

N°	TIPOLOGIA DIFETTO	ESTENSIONE	INTENSITA'	COSA RILEVARE
114	FIBRE DI CARBONIO NON ADERENTI	Localizzata	mappatura degrado puntuale	Segnalazione di tutte le fibre FRP distaccate con segnalamento dell'esatta ubicazione (anima o intradosso bulbo)
115	FIBRE DI CARBONIO TRANCIATE	Localizzata	mappatura degrado puntuale	Segnalazione di tutte le fibre FRP tranciate con segnalamento dell'esatta ubicazione (anima o intradosso bulbo)

N.B. qualora fossero presenti elementi di rinforzo differenti rispetto a quelli sopra riportati (e.g. *Beton plaqué*) si richiede la segnalazione del difetto e l'inserimento nel processo di mappatura del degrado.

4.1.2.5.1 Apparecchi di appoggio

Per i soli apparecchi di appoggio, sarà coinvolto uno specialista al fine di fornire un giudizio motivato sullo stato di salute. Parimenti, al Laboratorio esecutore è richiesto di:

- Eseguire rilievi dimensionali delle caratteristiche morfologiche e prestazionali del dispositivo;
- Misurare lo stato di *fatto* di alcune tipologie (es. inclinazione apparecchi a pendolo, misurazione termica);
- presenza di disallineamenti;
- fornire un esaustivo report fotografico per avere contezza della quantità di appoggi presentanti l'ammaloramento.

4.1.3 Strumentazione e attrezzatura

L'attività deve essere eseguita da personale specializzato per l'uso della strumentazione richiesta per il rilievo 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 cursoio;
- Spazzola metallica ;
- Strumenti di misura lineari (metro, distanziometri);
- Martello per individuazione zone risonanti;
- Fotocamera digitale;
- Sistemi SAPR;
- Eventuale strumentazione specialistica (laser scanner, fotogrammetria).

4.1.4 Presentazione dei risultati

La restituzione richiesta dal COMMITTENTE all' ESECUTORE si dovrà comporre di:

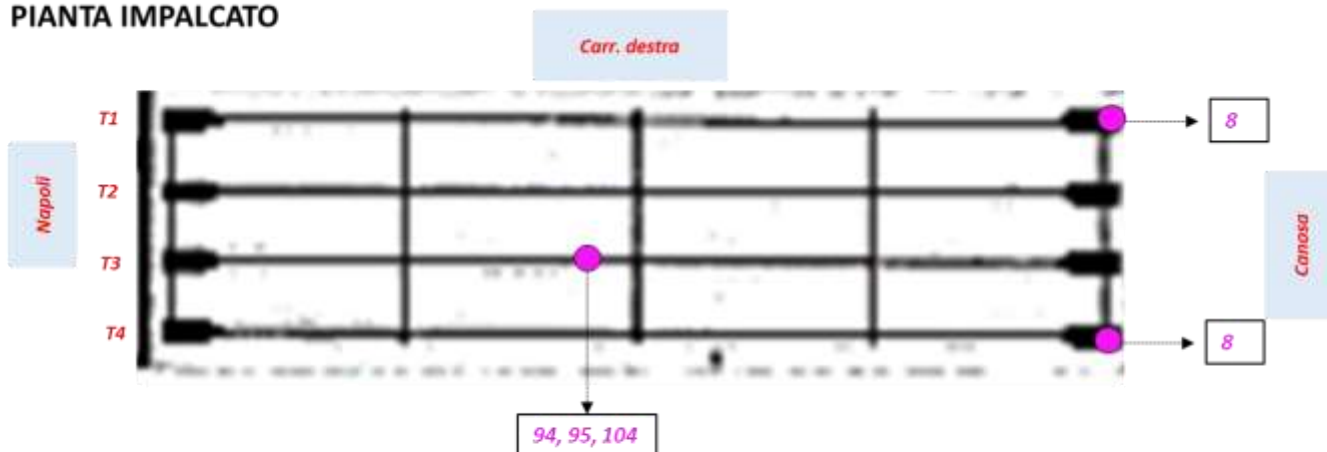
- 1) Pianta e prospetto dell'opera su cui indicare la posizione dei difetti rilevati (utilizzare il n° associato ai difetti in Tabella 1);
- 2) Scheda di dettaglio relativa ad ogni elemento presentante una delle difettologie indicate nella Tabella 1; la scheda dovrà riportare una tabella riassuntiva contenente, per ciascun difetto, informazioni sull'*ubicazione*, *estensione* e sull'*entità* (in conformità al §4.1.2.2, §4.1.2.3 e §4.1.2.4) e le relative misurazioni di *output sul rilievo*,
- 3) Adeguato ed esaustivo report fotografico, allegato alla scheda di dettaglio, che mostri con chiarezza lo stato di conservazione di tutte le parti interessate dal degrado e la loro ubicazione sull'opera.

La mappatura del degrado deve avvenire tramite l'utilizzo di definizioni e simbologie codificate ed opportunamente indicate al fine di rendere omogenee e confrontabili le informazioni prodotte.

Un esempio della restituzione richiesta è riportata nel seguito.

PIANTA DELL'OPERA CON UBICAZIONE DIFETTI

PIANTA IMPALCATO



PROSPETTO LONGITUDINALE ELEVAZIONI

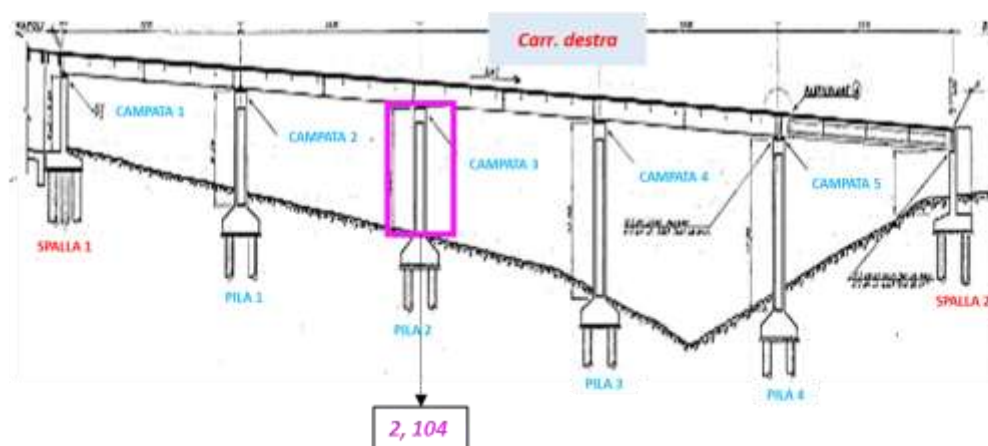
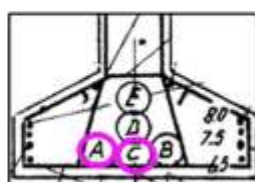
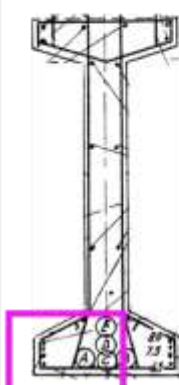
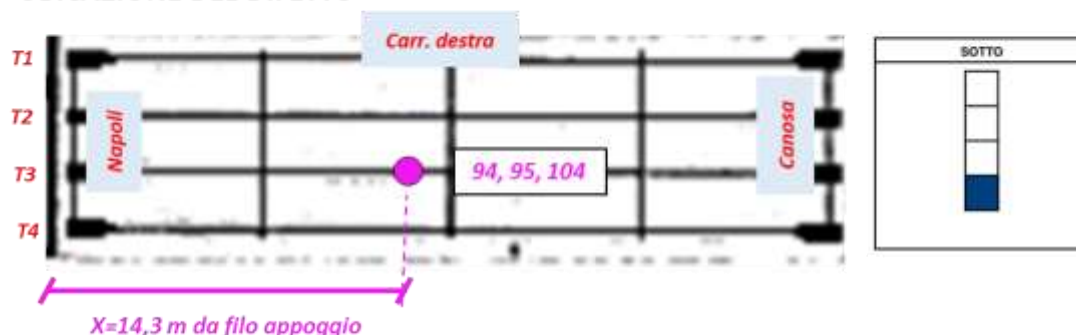


Figura 16 – Esempio -Pianta e prospetti da restituire

SCHEDA DI DETTAGLIO: CAMPATA 1 - TRAVE 3 – CARR. DX

DIFETTO: RIDUZIONE SEZIONE ARMATURA C.A. (94),
RIDUZIONE SEZIONE DI ARMATURA RESISTENTE (95)
RIDUZIONE SEZIONE RESISTENTE CLS (104),

UBICAZIONE DEL DIFETTO



1° Registro cavi: A-C-B;
2° Registro cavi: D;
3° Registro cavi: E.



DIFETTO	ESTENSIONE	INTENSITA'	OUTPUT RILIEVO
94	Localizzato Su 0,80 m x 0,20 m	Mappatura degrado puntuale	n° 2 staffe spezzate; n°1 staffa ridotta di sezione da $\phi 8$ a $\phi 7,5$ n° 1 armatura longitudinale spezzata.
95	Localizzato Su 0,80 m x 0,20 m	Mappatura degrado puntuale	n° 2 fili spezzati appartenenti al cavo A; n° 2 fili ridotti di sezione da $\phi 7$ a $\phi 5,5$ (misura diametro mediante calibro) appartenenti al cavo C.
104	Localizzato Su 0,80 m x 0,20 m	Mappatura degrado puntuale	Perdita massima di strato corticale di cls pari a 8 cm

Figura 17 – Esempio -Mappatura del degrado – Trave

SCHEDA DI DETTAGLIO: PILA 2 - CARR. DX

DIFETTO: CLS AMMALORATO (2)
 RIDUZIONE SEZIONE RESISTENTE CLS (104)
 ARMATURA ORDINARIA / STAFFE SCOPERTE E OSSIDATA (4, 34)
 RIDUZIONE SEZIONE DI ARMATURA (94)

UBICAZIONE DEL DIFETTO



DIFETTO	ESTENSIONE	INTENSITA'	OUTPUT RILIEVO
2, 104	Diffusa	Mappatura degrado globale	Rilievo con fotogrammetria e suddivisioni in classi di degrado su strato corticale (esempio di restituzione 1)
4, 34, 94	Diffusa	Mappatura degrado globale	Rilievo con fotogrammetria e suddivisioni in classi di degrado su riduzione di armatura (esempio di restituzione 2)

Figura 18 – Esempio -Mappatura del degrado – Pila

SCHEDA DI DETTAGLIO: PILA 2 - CARR. DX

ESEMPIO 1 - Output rilievo con fotogrammetria per degrado su strato corticale.

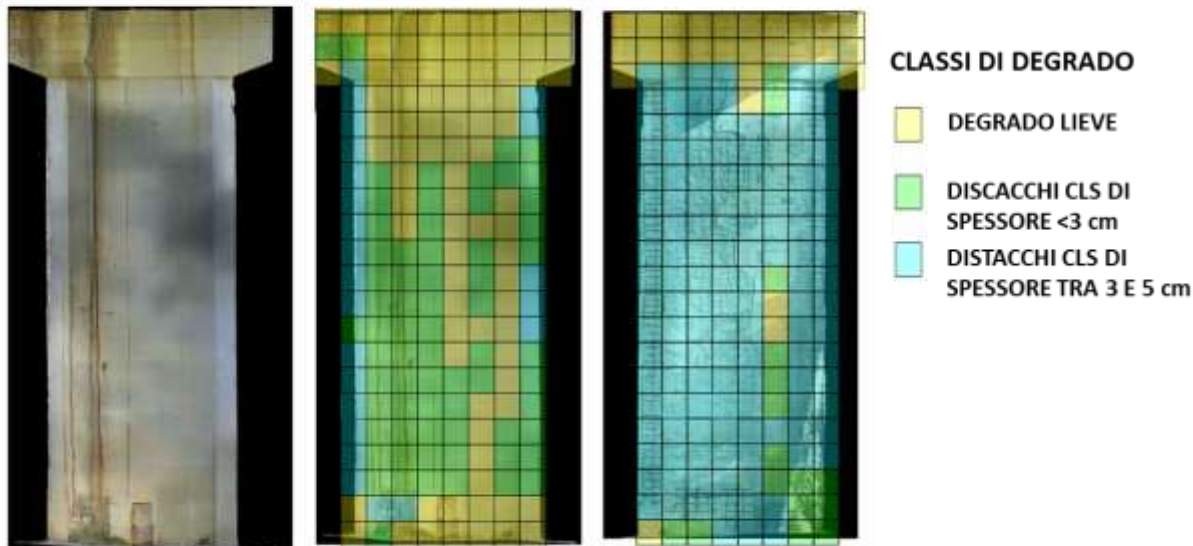


Figura 19 – Esempio 1 -Output rilievo Fotogrammetria per degrado su Cls – Pila

SCHEDA DI DETTAGLIO: PILA 2 - CARR. DX

ESEMPIO 2 - Output rilievo con fotogrammetria per degrado su armatura.

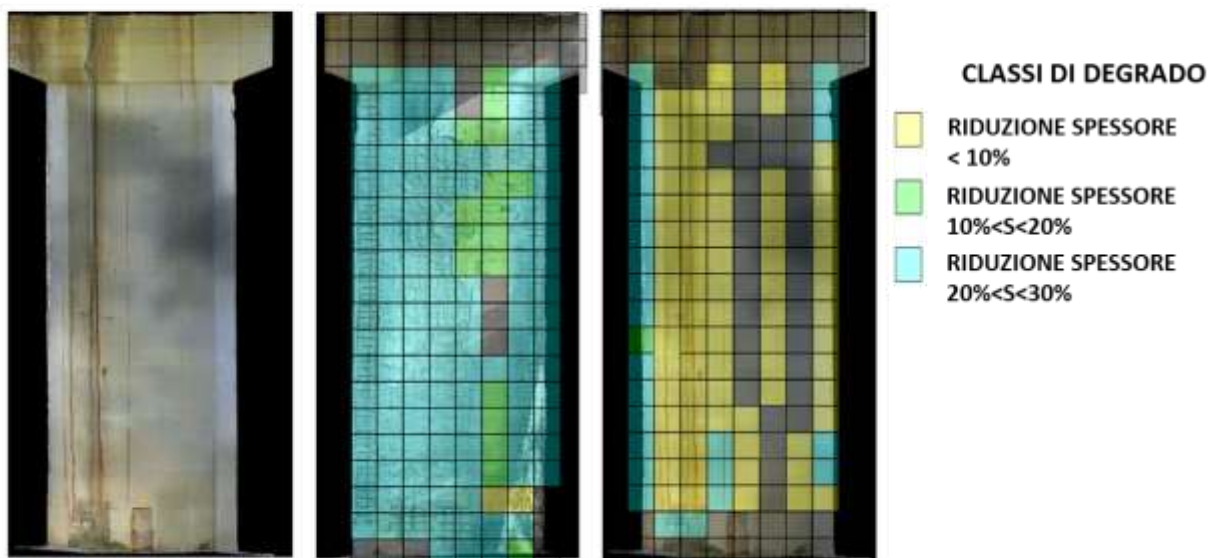


Figura 20 – Esempio 2 - Output rilievo Fotogrammetria per degrado su Armatura – Pila

REPORT FOTOGRAFICO - ALLEGATO SCHEDA DI DETTAGLIO

Pila 3 – Carr. Dx

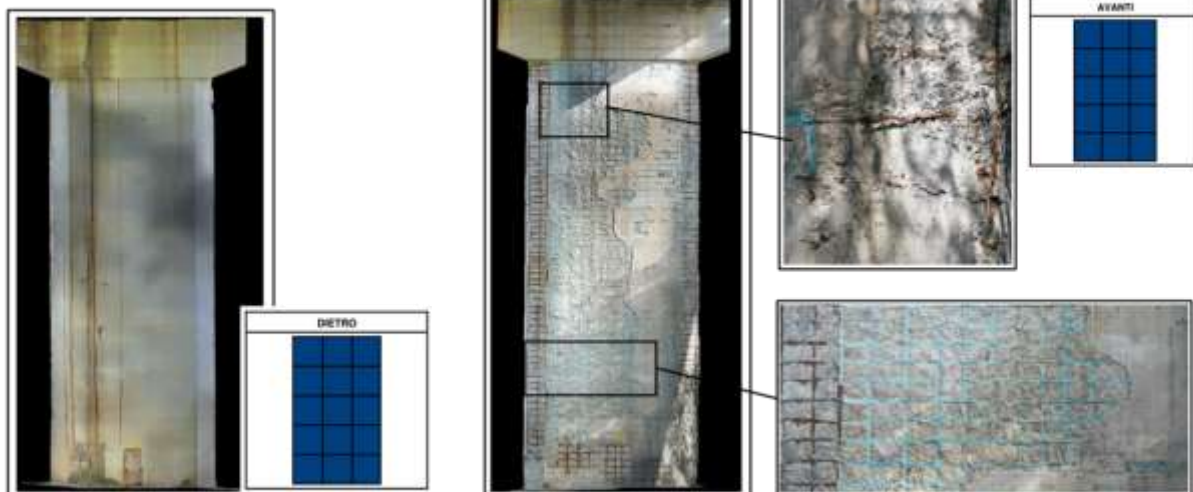


Figura 21 – Allegato fotografico – Pila

5 Indagini per elementi in cemento armato

5.1 *Prelievo di carote di cls e prove di resistenza a compressione.*

5.1.1 Oggetto

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

5.1.2 Descrizione del metodo

La prova consiste nell'estrazione di un campione cilindrico (*o carota*) di calcestruzzo da un elemento strutturale in c.a., mediante carotatrice elettrica con corona diamantata, e nell'esecuzione di una prova di compressione a rottura in laboratorio.

5.1.3 Normativa di riferimento

- CSLP - Linee Guida - Calcestruzzo strutturale, 2017
- UNI 6131: 2002 "Prelevamento di campioni di calcestruzzo indurito"
- UNI EN 12390-3:2019 "Prove sul calcestruzzo indurito - Parte 3: Resistenza alla compressione dei provini"
- 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"

5.1.4 Strumentazione e attrezzatura

- Carotatrice elettrica a circolazione di acqua;
- corone diamantate di diametro nominale ≥ 74 mm;
- piastra di fissaggio a parete;
- trapano, punte e tasselli per il fissaggio della piastra sull'elemento in c.a.;
- bilancia o apparecchiatura equivalente per determinare la massa della carota con un errore massimo ammissibile pari a 0,1% della massa;
- calibri e/o regoli in grado di misurare le dimensioni della carota e dell'armatura in acciaio, con un errore massimo ammesso pari a 1%;
- gruppo elettrogeno;
- pacometro;
- fotocamera digitale;
- macchina per la prova a compressione conforme con EN 12390-4.

5.1.5 Ubicazione dei prelievi e dimensione delle carote

Le carote dovrebbero essere prelevate in punti lontano da giunti o bordi dell'elemento in calcestruzzo e in cui 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 che di carote orizzontali attraversando il cordolo laterale degli sbalzi.

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 progettista.

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.

5.1.6 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, ecc.;
- b. rilievo delle barre di armatura mediante strumento pacometrico, e tracciamento delle stesse sulla superficie del calcestruzzo;
- 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;
- 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, ed annotazione con informazioni relative a sigla, ubicazione, diametro, lunghezza;
- h. documentazione fotografica della carota;
- i. ripristino del foro del carotaggio mediante malta fibrorinforzata premiscelata, tixotropica, leggermente espansiva.

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.

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

5.1.7 Modalità di esecuzione delle prove su carote

Una volta prelevate e catalogate, le carote dovranno essere accuratamente imballate, in maniera tale da evitare danneggiamenti di alcun tipo, e quindi trasportate presso un laboratorio ufficiale o autorizzato ai sensi della Legge 1086/71 e della Circolare 346/STC1999. Per le prove si faccia riferimento a:

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

Non sottoporre a prova le carote con superfici fessurate, incave e scagliate.

Le resistenze f_c misurate sulle carote verranno elaborate 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".

5.1.8 Presentazione dei risultati

La relazione tecnica restituita dal laboratorio dovrà contenere:

- Descrizione e identificazione 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 dopo la sua preparazione;
- Data di esecuzione della prova;
- Carico massimo di rottura espresso in kN;
- Resistenza a compressione della carota, espressa al più prossimo 0,1 Mpa;
- 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;

- Report fotografico dei provini con siglatura e identificazione.

La relazione tecnica può includere:

- Massa del provino espressa in kg;
- Massa volumica apparente del provino, espressa al più prossimo in 10 kg/m^3 ;
- 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 saranno forniti in allegato alla relazione tecnica.

Le informazioni sopra riportate dovranno essere inserite all'interno di una tabella riepilogativa, avente il seguente formato e contenuto.

N°	Elemento indagato	Identificazione campioni	Massa Volumica [kg/m³]	Dimensioni carota			Sezione resistente [mm²]	Carico di rottura [kN]	Carico unitario f_c [N/mm²]	Coeff. Correlativi [-]	Resistenza a compr [N/mm²]	Tipo di rottura (*)
				ϕ [mm]	h [mm]	Snellezza (ϕ/h) [-]						
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 UNI123-90 figura 2 e 4.

Il codice di identificazione dei campioni dovrà corrispondere all'ubicazione delle prove in pianta, riportata nel seguito. L'ubicazione di ogni prova di resistenza a compressione eseguita dovrà essere univocamente indicata mediante il codice di identificazione campioni su piante/profili rappresentanti gli elementi strutturali indagati. Un esempio è riportato di seguito.

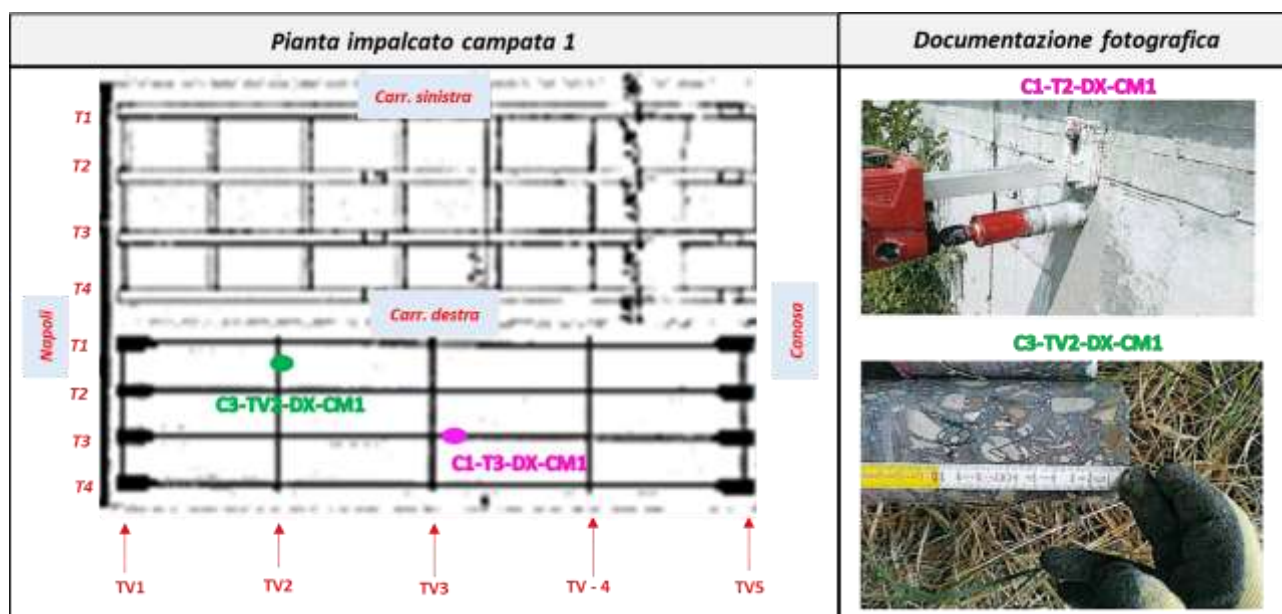


Figura 22 – Ubicazione prove in pianta e documentazione fotografica – Prelievo di carote di calcestruzzo

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

5.2.1 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.

5.2.2 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).

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

5.2.3 Normative di riferimento

- UNI 12390-13 : (Determinazione del modulo elastico secante a compressione);
- UNI EN 12390-1 (Conformità dimensionale per provini e per casseforme);
- UNI EN 12390-2 (Confezionamento e stagionatura dei provini);
- UNI EN 12390-3 (Resistenza alla compressione dei provini);
- UNI EN 12504-1 (Carote – prelievo ed esame).

5.2.4 Strumentazione e attrezzatura

- Apparecchiatura per la verifica della planarità delle facce
- Rettificatrice
- Calibro
- Kit per preparazione dei provini
- Estensimetri (per la misura delle deformazioni dirette)
- Bilancia
- Macchina di prova per la compressione conforme alla UNI EN 12390-4 con i seguenti requisiti aggiuntivi:
 - 3) Adatta all'esecuzione di cicli programmabili di applicazione del carico;
 - 4) Capace di aumentare e diminuire il carico ad una velocità costante entro una tolleranza indicata;
 - 5) Capace di mantenere il carico costante a valori nominali con una variazione massima entro 5%.

5.2.5 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.

5.2.6 Modalità di esecuzione prova

- 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;
- Trascrive i dati del provino e la data di esecuzione della prova
- Misura con il calibro le dimensioni del provino e trascrive i valori espressi in mm
- Pesa i provini e ne riporta il valore in kilogrammi sul report;
- Provvede alla determinazione della massa volumica dei provini;
- Provvede a stabilizzare i provini alla temperatura e all'umidità dell'ambiente di prova;
- Pone gli estensimetri, a seconda del tipo di provino, sulle quattro facce del provino prismatico o a 120° tra loro per il provino cilindrico;
- Fissa la forza massima di prova (F_{max}) e ne riporta il valore in KN sulla report;
- Fissa la forza di base (F_o) pari ad 1/10 della forza massima di prova (F_{max}) e ne riporta il valore in KN sull report;
- Determina l'intervallo ($\Delta F = F_{max} - F_o$) tra la forza massima di prova e la forza di base e ne riporta il valore in KN sul report
- Determina le forze di salita intermedie per i vari step di carico ($F_1-F_2-F_3$) su cui effettuare la prova e ne riporta i valori in KN sul report ($F_1= 1/3\Delta F + F_o$; $F_2= 2/3\Delta F + F_o$; $F_3= \Delta F + F_o$)
- 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} ;
- 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:

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

- E = modulo di elasticità secante a compressione, in N/mm²
- $\Delta\sigma$ = intervallo di tensione entro cui si opera, in N/mm²
- σ_i = tensione superiore del ciclo, in N/mm²
- σ_0 = tensione di base, in N/mm²
- $\Delta\varepsilon$ = 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)

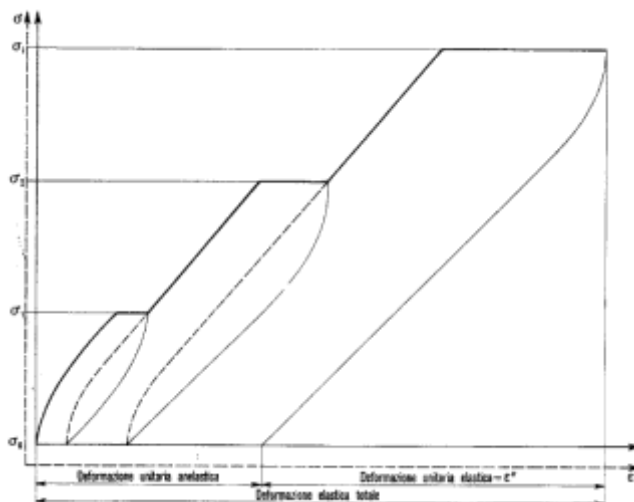


Figura 23 – Diagramma illustrativo della prova

5.2.7 Presentazione dei risultati

La relazione tecnica restituita dal laboratorio dovrà contenere:

- Descrizione e identificazione del provino su piante e/o prospetti;
- Sigla dei provini con codice alfanumerico
- Verbale di prelievo: numero e data (dichiarati)
- Classe di resistenza (dichiarata)
- Dimensioni del provino (in mm)
- Massa (in kg)
- Massa Volumica (in KN/m³)
- 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;
- Dichiarazione da parte della persona responsabile della prova che essa è stata svolta in conformità alla norma;
- Documentazione fotografica.

5.3 Prelievo e prove su barre di armatura

5.3.1 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.

5.3.2 Descrizione del metodo

Il metodo consiste nel prelievo di uno spezzone di barra mediante demolizione locale del copriferro, taglio della barra con troncatrice angolare e esecuzione di una prova di trazione a rottura in laboratorio. I parametri restituiti dalla prova sono la resistenza allo snervamento f_y , la resistenza a rottura f_t e l'allungamento percentuale dopo rottura A_g o allungamento percentuale per il carico massimo a rottura A_{gt} .

5.3.3 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"
- NTC2018 §Cap.11.3.

5.3.4 Strumentazione e attrezzatura

- Martello demolitore;
- Pacometro;
- smerigliatrice angolare con disco da taglio;
- gruppo elettrogeno;
- macchina di prova tarata in conformità alla ISO 7500-1 (almeno in classe1);
- estensimetro di classe 2 (ISO 9513) per la determinazione di A_{gt} ;
- fotocamera digitale.

5.3.5 Modalità di esecuzione dei prelievi

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

- Individuazione mediante pacometro della barra sulla quale eseguire il prelievo; dovrà trattarsi di una barra principale, i.e. barre longitudinali per le travi, barre trasversali per le solette e trasversi, barre verticali per spalle e pile.

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 non di spigolo (nel caso di 3 barre dovrà essere prelevata la barra centrale; nel caso di 2 barre non sarà prelevata alcuna barra).

Nel caso delle solette dovrà essere prelevata una barra trasversale (ortogonale alle travi) all'intradosso.

Nel caso del 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 delle pile dovrà essere prelevata una barra verticale non di spigolo.

- demolizione locale del copriferro in corrispondenza della barra individuata, mediante martello demolitore elettrico, con messa a nudo ed isolamento laterale della barra di armatura per una lunghezza di almeno 80 cm;
- taglio e piegatura delle staffe ubicate esternamente alla parte scoperta della barra oggetto del prelievo;
- taglio, mediante smerigliatrice angolare con disco da taglio, di uno spezzone di lunghezza pari a circa 60 cm della barra oggetto del prelievo;
- prelievo dello spezzone di barra;
- siglatura dello spezzone di barra, ed annotazione sul foglio di campagna delle informazioni relative a: sigla, ubicazione, tipo, diametro, lunghezza;
- documentazione fotografica della zona di prelievo;
- ripristino del copriferro demolito mediante malta fibrorinforzata premiscelata, tixotropica, leggermente espansiva e saldatura della barra prelevata secondo le UNI EN ISO 17660-1.
- documentazione fotografica dei ripristini eseguiti (i.e. saldatura delle barre di armatura su elementi snelli), da allegare alla report finale.

Processo di saldatura

5.3.5.1

I saldatori nei procedimenti semiautomatici e manuali devono essere qualificati secondo la norma UNI EN287-1:2012 da parte di un Ente Terzo. A deroga di quanto richiesto nella norma UNI EN287-1:2021, i saldatori che eseguono giunti a T con cordoni d'angolo devono essere specificamente qualificati e non possono essere qualificati soltanto mediante l'esecuzione dei giunti testa-testa.

Tutti i procedimenti di saldatura dovranno essere qualificati secondo la norma UNI EN ISO 15614-1:2017.

5.3.6 Modalità di esecuzione delle prove di trazione in laboratorio

Prelevati e catalogati, gli spezzoni di barra d'armatura dovranno essere trasportati presso un laboratorio ufficiale o autorizzato ai sensi della Legge 1086/71 e della Circolare 346/STC1999, per la preparazione dei provini e l'esecuzione delle prove di trazione a rottura, con determinazione delle grandezze sottoelencate e conseguente emissione del certificato:

- Resistenza allo snervamento f_y
- Resistenza a rottura f_t
- Allungamento percentuale dopo rottura A_g o allungamento percentuale per il carico massimo a rottura A_{gt} .

5.3.7 Presentazione dei risultati

La relazione tecnica restituita dal laboratorio dovrà contenere:

- Sigla identificativa della barra (es. B-T2-DX-CM3);
- Diametro nominale Φ espresso in mm;
- Lunghezza e peso della barra prelevata;
- Area della barra prelevata;
- Diametro equivalent Φ_{eq} (se necessario)
- Area della sezione della barra equipensante, espressa in mm (se necessario);
- Carico di snervamento, espresso in N;

- Carico unitario di snervamento f_y [N/mm²];
- Carico di rottura espresso in N;
- Carico unitario a rottura f_t [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);
- Il rapporto tra f_t/f_y ;
- Allungamento percentuale sotto carico massimo A_{gt} .

I certificati delle prove di laboratorio saranno forniti in allegato alla relazione tecnica.

Le informazioni sopra riportate dovranno essere inserite all'interno di una tabella riepilogativa, avente il seguente formato e contenuto.

N°	Elemento indagato	Identificazione campioni	Dimensioni barre di acciaio				Carico di snervamento	Carico di snervamento unitario f_y	Carico di rottura	Carico di rottura unitario f_t	f_t/f_{ynom}	f_t/f_y	Allungamento A_{gt}
			Φ_{nom}	lungh.	peso	Area							
			[mm]	[mm]	[mm]	[mm ²]							
1	Travi	B1-T2-DX-CM1											
2		B2-T4-SX-CM3											
[..]		[..]											

Il codice di identificazione dei campioni dovrà corrispondere all'ubicazione delle prove in pianta, riportata nel seguito. L'ubicazione di ogni prova eseguita dovrà essere univocamente indicata mediante il codice di identificazione campioni su piante/profili rappresentanti gli elementi strutturali indagati. E' richiesto l'inserimento della documentazione fotografica allegata.

Un esempio è riportato di seguito.

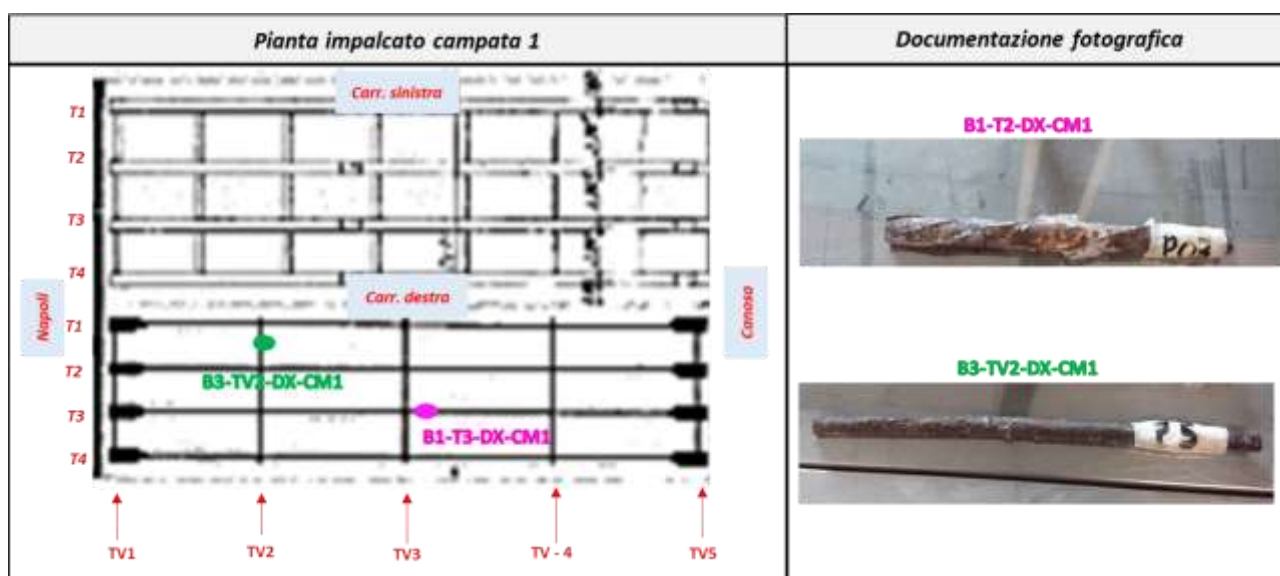


Figura 24 – Ubicazione prove in pianta e documentazione fotografica – Prelievo e prove su barre di armature

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

5.4.1 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.

5.4.2 Descrizione del metodo

Il rilievo delle barre di armatura nella struttura può essere eseguito mediante due tecniche di indagine:

- mediante **misure magnetiche (prove pacometriche)**, utilizzando uno strumento in grado di indurre nell'elemento in calcestruzzo un campo elettromagnetico e di rilevare la distorsione nelle linee di forza del campo provocata dalla presenza delle armature; l'individuazione delle barre è soggetta ad alcune limitazioni, i.e. barre profonde e/o situate in strati successivi rispetto alla superficie esterna, e/o affiancate;
- mediante esecuzione di piccoli **saggi locali**. Tali saggi potranno essere effettuati anche per verificare e tarare le misure magnetiche, oppure per indagare l'eventuale presenza di un doppio strato di barre ubicato internamente a quello più esterno.

5.4.3 Normativa di riferimento

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

5.4.4 Strumentazione e attrezzatura

- Fotocamera digitale;
- calibro a cursore;
- metro e disto per ubicazione della prova rispetto un punto noto (e.g. sezione di testata delle travi);
- martello demolitore, gruppo elettrogeno, mazzetta e scalpello, per l'esecuzione dei saggi locali;
- pacometro a scansione del tipo Hilti Ferroskan, in grado di eseguire scansioni bidimensionali sulla superficie dell'elemento indagato e individuare la posizione delle barre e lo spessore del copriferro fino ad una profondità di 15 cm dalla superficie esterna dell'elemento.

5.4.5 Modalità di esecuzione

Pile e spalle

Su pile e spalle il rilievo delle barre di armatura dovrà essere eseguito secondo le indicazioni delle Specifiche PI ASPI. Sui fusti delle pile e sulle spalle le misure saranno preferibilmente eseguite a circa 1.0 m da terra, seguendo la procedura sotto descritta:

- a. per ciascun lato tipo dell'elemento, individuazione puntuale delle barre su una superficie tale da evidenziare con attendibilità una griglia regolare (circa 200x150 cm), con tracciamento della posizione delle barre individuate sulla superficie dell'elemento stesso;

- b. per ciascun lato tipo dell'elemento, esecuzione di una scansione pacometrica bidimensionale con memorizzazione del segnale acquisito su una superficie tale da comprendere almeno 2 barre verticali e 2 staffe;
- c. esecuzione di saggi locali di taratura (da eseguire su almeno una pila per ogni opera), mediante demolizione locale del copriferro, su una superficie di almeno 10 x 10 cm in corrispondenza di un punto di incrocio tra una barra verticale ed una staffa, con messa a nudo delle barre e misura del diametro e del copriferro mediante calibro a cursore; documentazione fotografica;
- d. ripristino del copriferro demolito mediante malta fibrorinforzata premiscelata, tixotropica, leggermente espansiva.

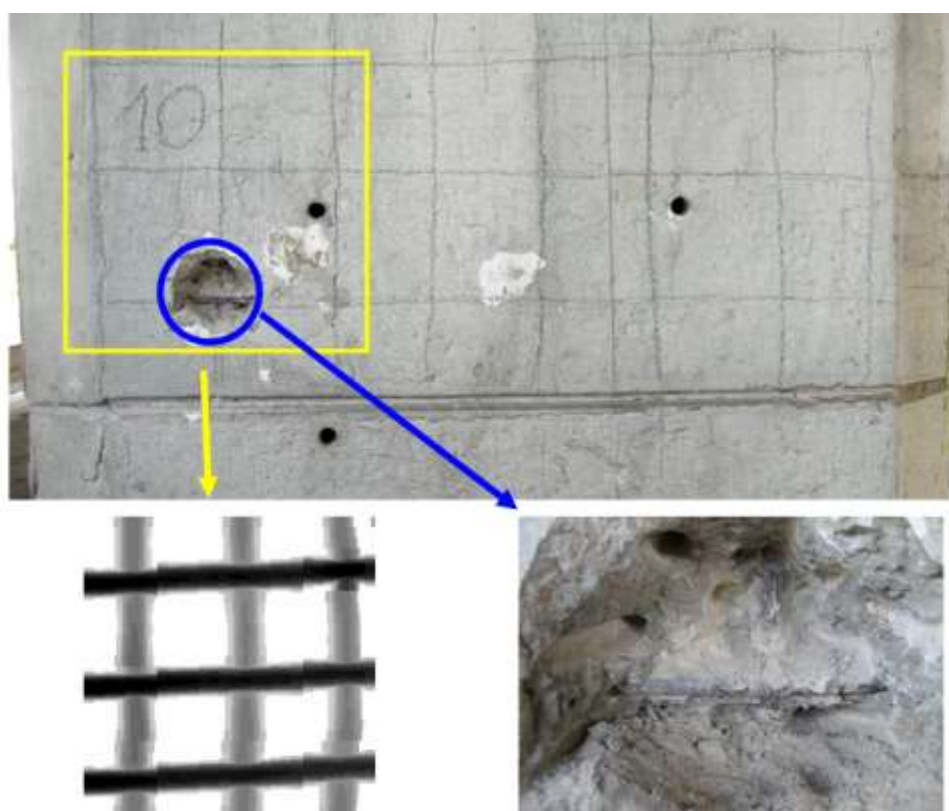


Figura 25 - Rilievo delle barre di armatura sulle pile

Pulvini

Sui pulvini il rilievo delle barre di armatura dovrà essere eseguito secondo le indicazioni delle Specifiche PI ASPI e comunque, ove possibile, almeno all'estradosso in corrispondenza dell'innesto degli sbalzi laterali, all'intradosso nella zona di massimo momento positivo e sull'anima nelle zone di taglio massimo (vedi figura), seguendo la procedura sotto descritta:

- a. esecuzione di una scansione pacometrica bidimensionale sull'anima, su una superficie di almeno 60 x h con h altezza dell'anima, e sulle superfici di estradosso e intradosso del pulvino su superfici di almeno 60 x B/2 con B larghezza del pulvino, con memorizzazione del segnale acquisito e tracciamento della posizione delle barre individuate sulla superficie dell'elemento stesso;

- b. esecuzione di un saggio locale di taratura (da eseguire all'estradosso o all'intradosso su almeno un pulvino per ogni opera), con demolizione locale del copriferro, su una superficie di almeno 10 x 10 cm, in corrispondenza di un punto di incrocio tra una barra longitudinale ed una trasversale, con messa a nudo delle barre stesse e misura del loro diametro e del relativo copriferro mediante calibro a cursore; documentazione fotografica della zona di prova;
- c. ripristino del copriferro demolito mediante malta fibrorinforzata premiscelata, tixotropica, leggermente espansiva.

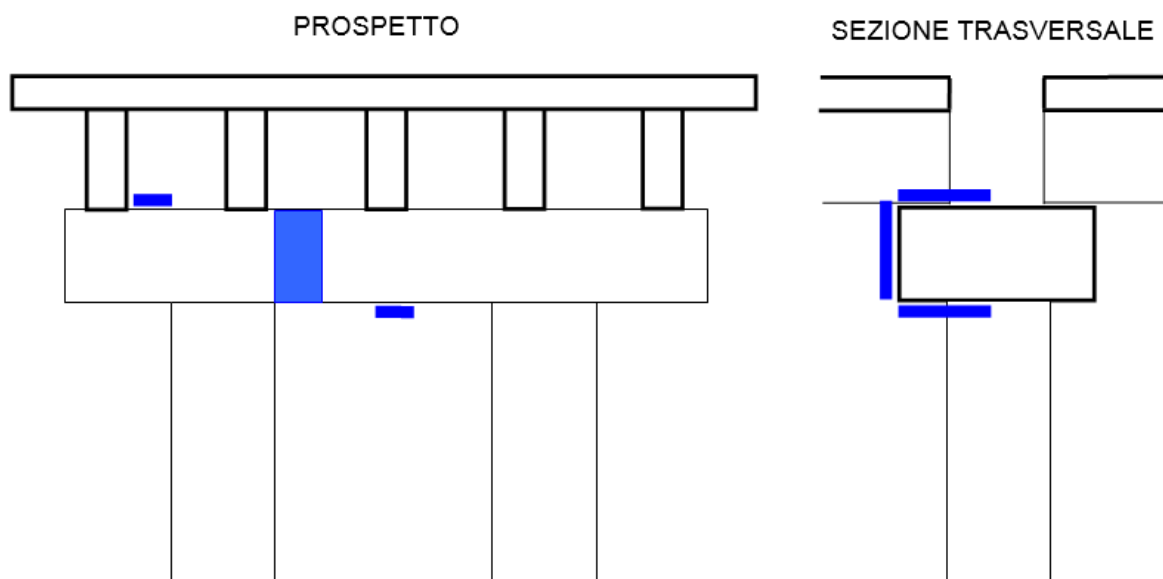


Figura 26 - Rilievo delle barre di armatura sui pulvini

Travi e traversi

Su travi e traversi, il rilievo delle barre di armatura dovrà essere eseguito secondo le indicazioni delle Specifiche PI ASPI. Sulle 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; in particolare, nel caso della 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 l'obiettivo delle misure è il rilievo dell'armatura a taglio (staffe e barre sagomate): pertanto, sulla superficie di intradosso, il rilievo dovrà essere esteso per almeno 1.5 – 2.0 m verso la mezzeria in maniera tale da rilevare le barre sagomate; inoltre, ove possibile, bisognerà discriminare tra staffe chiuse, staffe a "spillone" e distanziatori. Le misure dovranno essere eseguite seguendo la procedura sotto descritta:

- a. esecuzione di una scansione pacometrica bidimensionale sull'anima, su una superficie di almeno 120 cm x h (con h altezza dell'anima), e sulla superficie di intradosso della trave su una superficie di almeno 120 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. esecuzione di un saggio locale di taratura (da eseguire su almeno una sezione di mezzeria per ogni opera), con demolizione locale del copriferro, su una superficie di almeno 10 x 10 cm, in corrispondenza di un punto di incrocio tra una barra longitudinale ed una staffa, con messa a nudo delle barre stesse e

- misura del loro diametro e del relativo copriferro mediante calibro a cursore; documentazione fotografica della zona di prova;
- c. ripristino del copriferro demolito mediante malta fibrorinforzata premiscelata, tixotropica, leggermente espansiva.

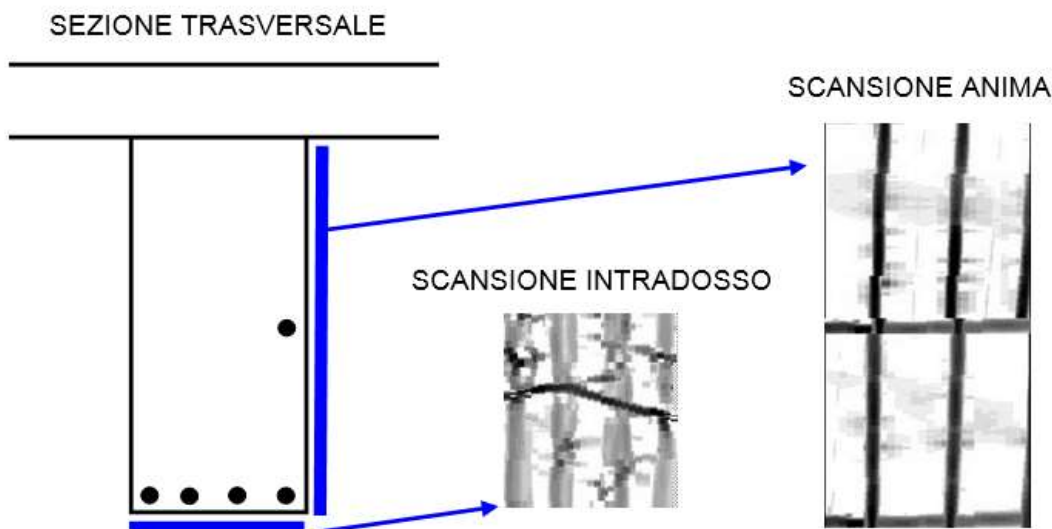


Figura 27 - Rilievo delle barre di armatura delle travi

Solette

Sulle solette le misure dovranno essere eseguite in corrispondenza delle zone indicate dalle Specifiche PI ASPI.

Nel caso delle solette a sbalzo i rilievi dovranno essere effettuati seguendo la procedura sotto descritta:

- a. rimozione della pavimentazione su una superficie di almeno 1 x 1 mq in corrispondenza dell'incastro della soletta sulla trave di bordo, in prossimità della sezione di mezzera; misura dello spessore della pavimentazione;
- b. esecuzione di una scansione pacometrica bidimensionale sulla superficie di estradosso dell'elemento, con memorizzazione del segnale acquisito e tracciamento della posizione delle barre individuate sulla superficie dell'elemento stesso. Nel caso in cui i passi siano irregolari, estendere l'acquisizione oltre 1,50 m per potere almeno confermare n° barre/m;
- c. esecuzione di un saggio locale di taratura (da eseguire su almeno una soletta per ogni opera) di dimensioni almeno 10 x 10 cm, effettuato in corrispondenza di un punto di incrocio tra 2 barre ortogonali, con messa a nudo delle barre stesse e misura del loro diametro e del relativo copriferro mediante calibro a cursore; documentazione fotografica della zona di prova;
- d. ripristino del copriferro demolito mediante malta fibrorinforzata premiscelata, tixotropica, leggermente espansiva e saldatura della barra prelevata secondo le UNI EN ISO 17660-1.
- e. documentazione fotografica dei ripristini eseguiti (i.e. saldatura delle barre di armatura su elementi snelli), da allegare alla report finale.



Figura 28 - Rilievi principali delle barre di armatura delle solette



Figura 29 - Rilievo di barre di armatura dell'estradosso delle solette

Nel caso dei campi di soletta interna i rilievi dovranno essere effettuati seguendo la procedura sotto descritta:

- a. in assenza di predalles, esecuzione di una scansione pacometrica bidimensionale sulla superficie di intradosso dell'elemento, con memorizzazione del segnale acquisito e tracciamento della posizione delle barre individuate sulla superficie dell'elemento stesso; successiva esecuzione di un saggio locale di taratura (da eseguire su almeno una soletta per ogni opera) di dimensioni almeno 10 x 10 cm, da eseguire in corrispondenza di un punto di incrocio tra 2 barre ortogonali, con messa a nudo delle barre stesse e misura del loro diametro e del relativo copriferro mediante calibro a cursore; documentazione fotografica della zona di prova;
- b. in presenza di predalles, demolizione locale della predalle su una superficie di almeno 40 x 40 cm in corrispondenza della sezione di mezzzeria del campo, con messa a nudo delle barre di armatura poggiate sull'estradosso della predalle; misura del diametro e del relativo copriferro delle barre mediante calibro a cursore; documentazione fotografica della zona di prova: E' possibile, in accordo con il COMMITTENTE, sostituire tale operazione con la prova non distruttiva GPR o XSCAN;

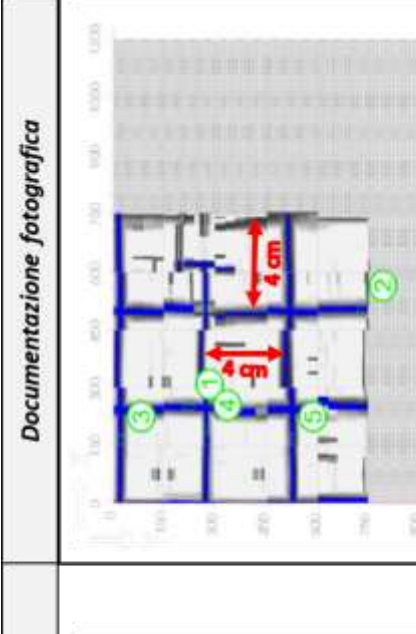
ripristino del copriferro demolito mediante malta fibrorinforzata premiscelata, tixotropica, leggermente espansiva.

5.4.6 Presentazione dei risultati

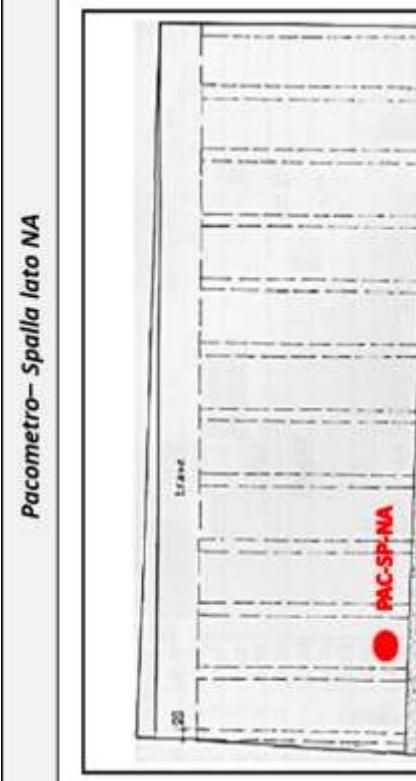
Per ogni elemento sottoposto ad indagine pacometrica dovrà essere prodotta una scheda contenente:

- identificazione dell'elemento e ubicazione della prova su pianta e/o prospetti,
- schema di esecuzione della misura,

- Pacometro- Spalla lato NA**



Documentazione fotografica



Punto	Copritore [mm]	Diámetro [mm]	Orientamento
1	55	16	verticale
2	63	16	verticale
3	36	14	orizzontale
4	40	12	orizzontale
5	40	12	orizzontale

Sezione

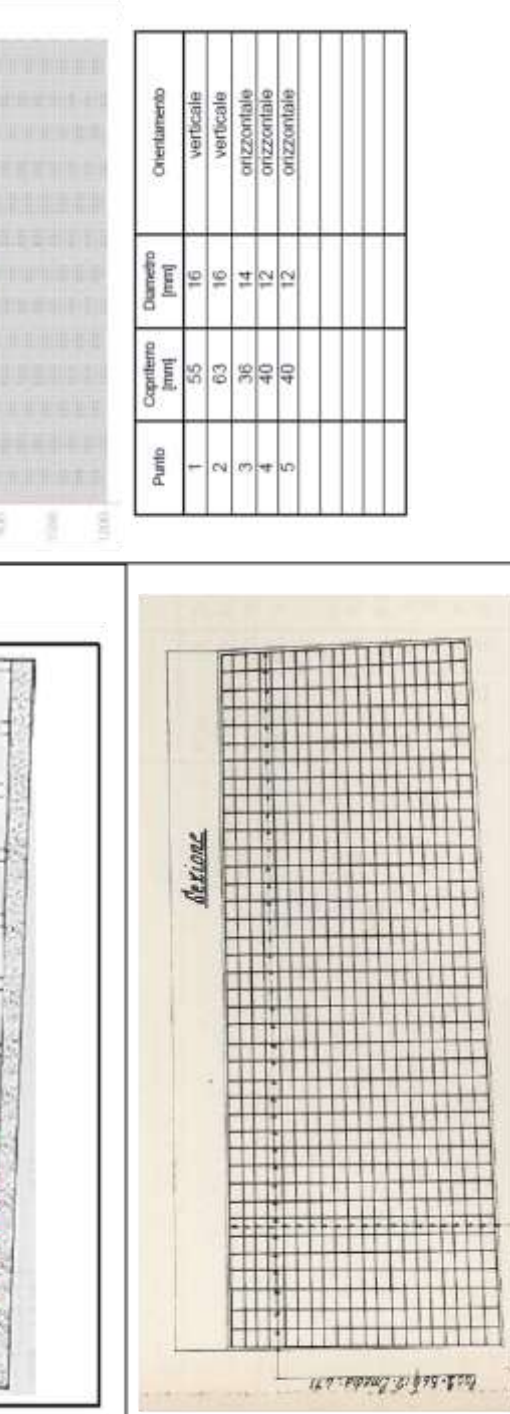


Figura 30 – Ubicazione prove in pianta e documentazione fotografica – Indagine pacometrica

Per ogni elemento sottoposto a **saggio visivo** dovrà essere prodotta una scheda contenente:

- identificazione dell'elemento,
- Indicazione in pianta/prospetto dell'ubicazione della prova,
- Documentazione fotografica associata con indicazione del numero/passo delle barre di armatura, del diametro, del tipo (aderenza migliorata o lisce) e del copriferro minimo registrato delle barre longitudinali e delle staffe. Se richiesto nel Piano di Indagine, si richiede un commento sullo stato di conservazione;

Le informazioni sopra riportate dovranno essere chiaramente riportate nel report in forma schematica; un esempio di restituzione è di seguito riportato.

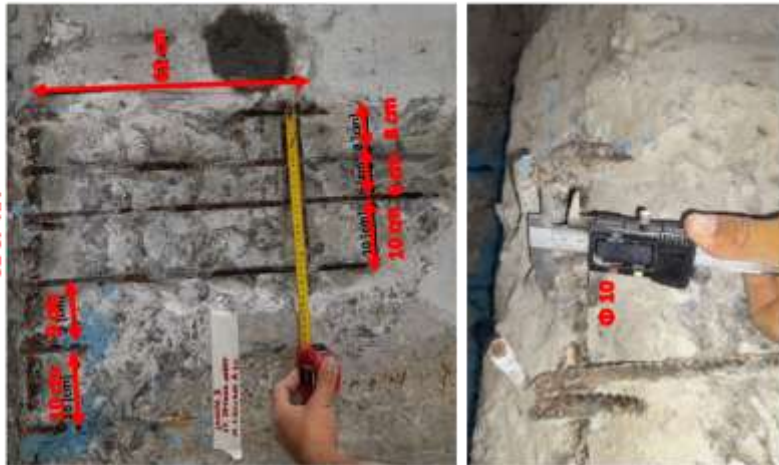
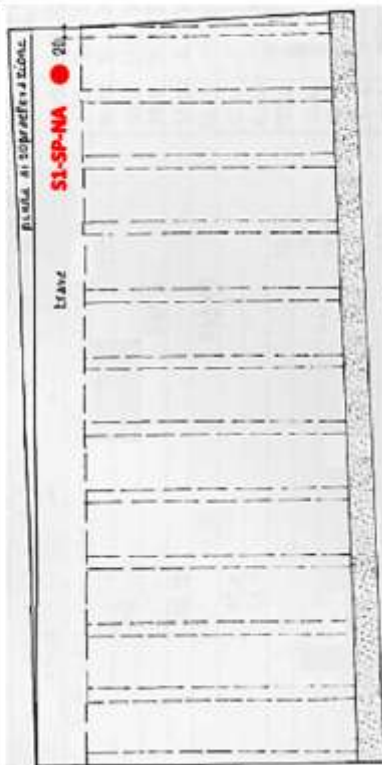
Documentazione fotografica														
Saggio Visivo – Spalla lato NA	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="width: 10%;">N°</th> <th style="width: 15%;">Elemento indagato</th> <th style="width: 15%;">Identificazione e campioni</th> <th style="width: 60%;">Descrizione</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">1</td> <td style="text-align: center;">Spalla</td> <td style="text-align: center;">S1-SP-NA</td> <td>Armatura costituita da: n° 4 staffe ad a.m. di diametro $\phi 10$ mm con copriferro pari a 3,5 cm; n° 2 barre longitudinali ad a.m. di diametro $\phi 16$ mm e $\phi 22$ mm con copriferro pari a 5,5 cm.</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">[]</td> <td></td> <td style="text-align: center;">[]</td> <td></td> </tr> </table>		N°	Elemento indagato	Identificazione e campioni	Descrizione	1	Spalla	S1-SP-NA	Armatura costituita da: n° 4 staffe ad a.m. di diametro $\phi 10$ mm con copriferro pari a 3,5 cm; n° 2 barre longitudinali ad a.m. di diametro $\phi 16$ mm e $\phi 22$ mm con copriferro pari a 5,5 cm.	[]		[]	
N°	Elemento indagato	Identificazione e campioni	Descrizione											
1	Spalla	S1-SP-NA	Armatura costituita da: n° 4 staffe ad a.m. di diametro $\phi 10$ mm con copriferro pari a 3,5 cm; n° 2 barre longitudinali ad a.m. di diametro $\phi 16$ mm e $\phi 22$ mm con copriferro pari a 5,5 cm.											
[]		[]												
	Prospetto Spalla 													

Figura 31 – Ubicazione prove in pianta e documentazione fotografica – Saggi diretti

5.5 Prove non distruttive sui calcestruzzi

5.5.1 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.

5.5.2 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.

5.5.3 Normativa di riferimento e Bibliografia

- UNI EN 12504-2:2012 "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 12504-4:2005 "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;

5.5.4 Strumentazione e attrezzatura

- Pacometro
- gruppo elettrogeno
- fotocamera digitale.

Ultrasuoni

- Strumento per misure ultrasoniche su calcestruzzo, avente le seguenti caratteristiche:
 - frequenza delle sonde compresa tra 40 e 60 KHz;
 - visualizzazione del segnale su oscilloscopio dotato di funzioni zoom;
 - misurazione del tempo di ritardo manuale con marker sull'oscilloscopio;
 - visualizzazione del tempo di ritardo su display digitale con risoluzione 0.1 μ s;
- barra di taratura delle misure ultrasoniche;
- gel siliconico;

Sclerometro

- sclerometro con le caratteristiche indicate al §4.1 della UNI EN 12-502:2; si raccomanda di utilizzare il tipo ed il formato dello sclerometro idoneo alla classe di resistenza e il tipo di calcestruzzo per il quale è stato progettato;
- incudine di acciaio di riferimento per la taratura per sclerometro, con area di impatto avente durezza minima 52 HRC, massa 16 Kg e diametro 150 mm ;
- pietra abrasiva;

Pull-Out

- Dispositivo a disco e stelo, post-inserito nel calcestruzzo indurito: disco con testa circolare pari a circa $(25 \pm 0,1)$ mm di diametro) e stelo con diametro non maggiore di 0,6 volte il diametro del disco;
- Anello portante, collocato in modo simmetrico rispetto allo stelo con diametro interno di $(55 \pm 0,1)$ mm) e diametro esterno pari a $(70 \pm 0,1)$ mm);
- Sistema di carico, in grado di applicare una forza di trazione sull'inserito in modo da trasmettere la reazione sulla superficie di cls attraverso l'anello portante; deve, inoltre garantire che l'anello portante sia concentrico allo stelo e che il carico sia applicato perpendicolarmente al piano inserito; infine, deve includere un indicatore della forza massima applicata con tolleranza del $\pm 2\%$;
- Dispositivo che registri la forza massima applicata.
- Mazzetta.

5.5.5 Individuazione della zona di misura

- a. generalmente il rapporto tra zone di prova non distruttiva e prelievo di carote sarà pari a 3:1; delle 3 zone di prove non distruttive, una dovrà essere localizzata in corrispondenza della carota prelevata e le altre 2 in altre zone non interessate dal prelievo.
- b. la zona deve essere caratterizzata da una superficie esente da lesioni, microfessurazioni, vespai, distacchi, polveri, ecc.;

- c. rilievo delle barre di armatura mediante pacometro, con tracciamento delle stesse sulla superficie del calcestruzzo;
- d. siglare in maniera univoca e progressiva la zona di misura.

5.5.6 Scelta delle metodologie di indagini

Su ogni tipo di elemento strutturale tipo (spalle, travi, solette, ecc.) bisognerà procedere a un'unica modalità di prova combinata (o Sonreb - ultrasuoni/sclerometro, o pullout-sclerometro). 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).

5.5.7 Modalità di esecuzione delle misure ultrasoniche

L'esecuzione delle misure ultrasoniche avverrà secondo le seguenti modalità.

- 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) oppure per per trasmissione indiretta (con i due trasduttori applicati sulla stessa faccia dell'elemento da saggiare).

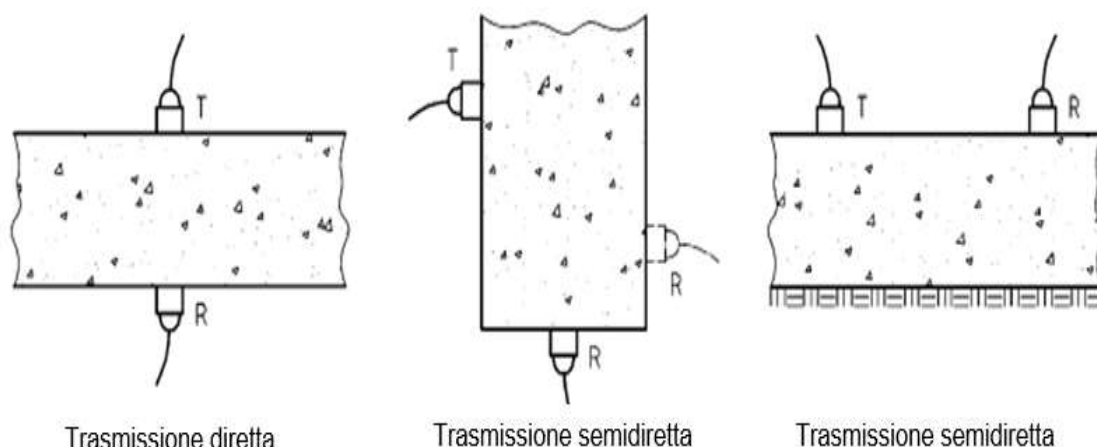


Figura 32 - Modalità di propagazione delle onde ultrasoniche

- b. tracciamento dei punti di misura: in ogni zona di indagine vanno effettuate 9 misure ultrasoniche per trasmissione diretta o semidiretta; i punti sulle 2 facce, ubicati lungo 2 allineamenti verticali, 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: $D = \sqrt{h^2 + d_1^2 + d_2^2}$.

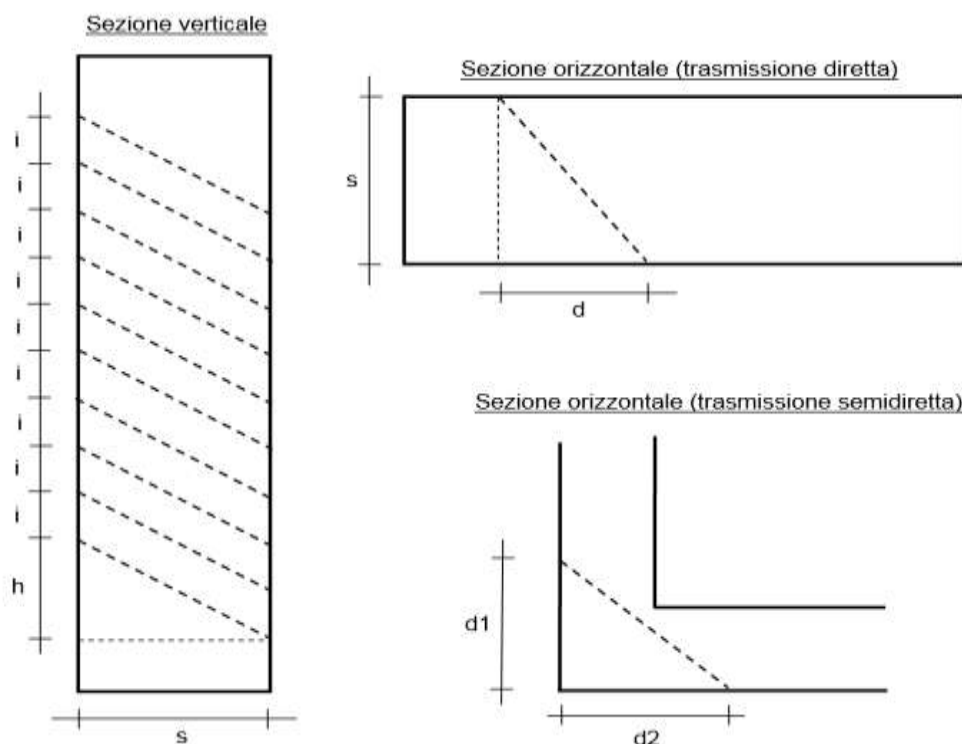


Figura 33 - Schema misure ultrasoniche

- Misure per la trasmissione indiretta: si faccia riferimento all'APPENDICE A della UNI EN 12504-4:2005.
- c. i punti di misura non devono sovrapporsi alle barre di armatura;
 d. pulire e spianare la superficie con la apposita pietra abrasiva;
 e. rilevare con la massima precisione possibile le distanze dei percorsi ultrasonici, utilizzando strumenti di misura idonei;
 f. eseguire le 9 misure ultrasoniche sulla zona individuata seguendo quanto sotto descritto:
- posizionare i trasduttori sulle superfici di misura, interponendo tra i trasduttori e la superficie di cls. uno strato di gel siliconico e premendo con forza i trasduttori in modo tale che il grasso in eccesso possa rifluire dallo spazio tra cls e sensori;
 - la misura del tempo di ritardo T va eseguita individuando sull'oscilloscopio il punto in cui la tangente alla curva inizia a crescere e rilevando il tempo in microsecondi (μs) visualizzato sul display (vedi figura seguente); è necessario utilizzare le funzioni zoom dell'oscilloscopio per ottenere una maggiore precisione;

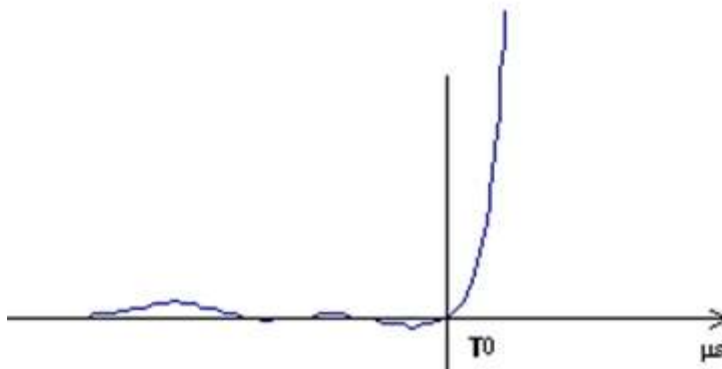


Figura 34 - Individuazione del tempo di ritardo sull'oscilloscopio

- g. annotare sui fogli di campagna la distanza dei percorsi D, i tempi di ritardo T, lo schema grafico delle misure;
- h. documentazione fotografica della zona di misura.

Modalità di esecuzione della prova differenti da quella sopra indicata dovranno essere sufficientemente spiegate all'interno del report di prova, restituito dal laboratorio.

5.5.8 Modalità di esecuzione delle misure sclerometriche

L'esecuzione delle misure sclerometriche avverrà secondo le seguenti modalità.

- a. individuare una zona di misura di 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, ecc.;
- b. pulire ed allisciare 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.
- c. eseguire almeno cinque impatti sull'incudine di riferimento e del pistone; se le misure dei cinque impatti non sono dentro + o -3 del valore fornito dal fabbricante, ripetere l'operazione preliminare;
- d. se sono soddisfatti i requisiti del punto c, eseguire battute sclerometriche in direzione preferibilmente orizzontale all'interno della zona di misura, con lo sclerometro mantenuto perpendicolare alla superficie di misura; nel caso in cui tale superficie non sia verticale appuntare sul foglio di campagna l'angolo α di inclinazione dello strumento rispetto all'orizzontale. 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. annotare sui fogli di campagna i valori dell'indice di rimbalzo I rilevati;
- f. effettuare la documentazione fotografica della zona di misura.

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

5.5.9 Modalità di esecuzione delle prove pull-out

L'esecuzione delle prove pull-out avverrà secondo le seguenti modalità.

- a. Rilevamento della griglia di armatura mediante pacometro
- 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, ecc.; in caso contrario bisognerà pulire ed allisciare la superficie con la apposita pietra abrasiva, per permettere il regolare posizionamento del martinetto.
- c. Ognuna delle tre estrazioni dovrà essere eseguita con la seguente procedura:
 - esecuzione del foro, che deve risultare il più possibile ortogonale alla superficie del calcestruzzo, approfondendolo fino alla fine-corsa della punta del trapano;
 - esecuzione dell'alesatura sotto squadra facendo eseguire non più di 2 ampie rotazioni al trapano;
 - pulizia del foro;
 - inserimento del tassello nel foro e sua espansione utilizzando un martello e l'apposito punzone;
 - posizionamento del martinetto sul calcestruzzo, ed inserimento del tirante nel foro del martinetto avvitandolo con forza nel tassello;
 - centraggio del martinetto rispetto al tassello ed esecuzione della prova di estrazione; la velocità di estrazione non deve superare 1KN/sec;
 - 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. Effettuazione delle 3 estrazioni, e calcolo della media tra i 3 valori di F. Qualora uno dei 3 valori 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.

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 200mm.

5.5.10 Taratura degli strumenti

Taratura dello strumento per ultrasuoni

La taratura dello strumento ad ultrasuoni va eseguita all'inizio di ogni giornata di lavoro, ed ogni qualvolta vi siano dubbi sulla corretta taratura dello strumento, effettuando una misura di propagazione longitudinale sull'apposita barra 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 procedura di misura è la medesima descritta nel paragrafo "modalità di esecuzione delle misure ultrasoniche"; la misura deve essere eseguita utilizzando il medesimo gel siliconico impiegato per i rilievi sul calcestruzzo, e deve essere ripetuta almeno una volta, invertendo la posizione dei trasduttori e verificando la coincidenza tra i due tempi T_0 misurati; Il valore di taratura T_0 deve essere annotato sui fogli di campagna.

Taratura dello sclerometro

La verifica della taratura dello sclerometro sull'apposita incudine deve essere effettuata all'inizio di ogni giornata lavorativa, ed ogni qualvolta vi siano dubbi sulla corretta taratura dello strumento. L'indice di rimbalzo dello sclerometro, posto in verticale a contatto con l'incudine poggiata per terra, deve risultare compreso tra 78 e 82. 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/ It . 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 Pull-out, costituito da martinetto, tubi, pompa e manometro, dovrà essere sottoposto a taratura presso un laboratorio SIT con cadenza annuale.

5.5.11 Presentazione dei risultati

Misure ultrasoniche

L'elaborazione delle prove ultrasoniche consiste essenzialmente in due fasi:

- calcolo delle velocità V , in m/s, 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;

- calcolo statistico dei valori della velocità V di ciascuna zona di misura: valore massimo, minimo, medio e coefficiente di variazione percentuale; il valore medio deve essere calcolato sulle sette velocità residue, avendo scartato le velocità minima e massima; tutti i valori di velocità devono essere espressi in m/s senza cifre decimali; il coefficiente di variazione percentuale deve essere espresso con una cifra decimale.
 - la correlazione tra la velocità di propagazione delle onde elastiche V e la resistenza a compressione R_c è definita da una relazione esponenziale

$$R_c = A * e^{BV}$$

in cui i coefficienti A e B sono opportunamente calibrati mediante prove distruttive su carote.

Il resoconto di prova dovrà contenere:

- identificazione dell'elemento/struttura di calcestruzzo;
- identificazione dell'area di prova;
- indicazione del numero di 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);
- indicazione dei coefficienti di correlazione A e B ;
- Velocità di propagazione massima. Minima e media e resistenza del calcestruzzo associata.
- dichiarazione della persona direttamente responsabile che la prova sia stata eseguita in conformità alla UNI EN 12504-4:2012.

Un esempio di restituzione tabellare da inserire nella relazione di prova è riportato di seguito.

N°	Elemento indagato	Zona di rilievo	Coefficienti di correlazione								Velocità di propagazione degli ultrasuoni [m/sec]			Resistenza a compressione
[-]		[-]	A_1	A_2	A_3	A_4	B_1	B_2	B_3	B_4	V_{media}	V_{min}	V_{max}	R_c
1	Travi	ULT-T3-DX-CM1												
2		ULT-T2-DX-CM2												
3														
[...]														

Il codice di identificazione dei campioni dovrà corrispondere all'ubicazione delle prove in pianta, riportata nel seguito. L'ubicazione di ogni prova eseguita dovrà essere univocamente indicata mediante il codice di identificazione campioni su piante/profili rappresentanti gli elementi strutturali indagati.

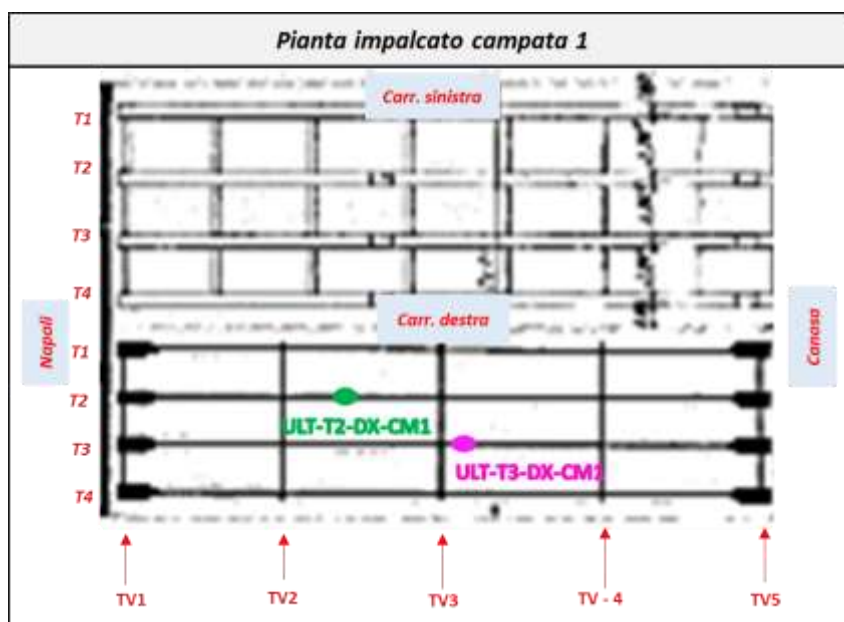


Figura 35 – Ubicazione prove in pianta e documentazione fotografica – Prove ultrasoniche

Misure sclerometriche

L'elaborazione delle misure sclerometriche consiste essenzialmente in due fasi:

- correzione degli indici di rimbalzo misurati I in funzione dell'angolo d'azione dello strumento, utilizzando la tabella fornita dal costruttore dello strumento; nel caso di direzione d'urto orizzontale, il fattore correttivo è pari a 1.
- calcolo statistico dei valori dell'indice di rimbalzo di ciascuna zona di misura: valore massimo, minimo, medio e coefficiente di variazione percentuale; il valore medio deve essere calcolato sui sette indici residui, avendo scartato gli indici minimo e massimo, e deve essere espresso con una cifra decimale; il coefficiente di variazione percentuale deve essere espresso con una cifra decimale.

- La resistenza a compressione finale si ricava tramite una legge esponenziale:

$$R_c = A * N^B$$

in cui i coefficienti A e B sono opportunamente calibrati mediante prove distruttive su carote.

Il resoconto di prova dovrà contenere:

- identificazione dell'elemento/struttura di calcestruzzo;
- identificazione dell'area di prova;
- indicazione del numero di batture sclerometriche eseguite per punta di prova;
- indicazione dell'indice sclerometrico;
- dettagli del calcestruzzo (se noti) e sua preparazione;
- indicazione su resistenza a compressione individuata e corrispondente espressione utilizzata per la correlazione tra R_c e indice sclerometrico;
- dichiarazione della persona direttamente responsabile che la prova sia stata eseguita in conformità alla UNI EN 12504-2:2012.

Un esempio di restituzione tabellare da inserire nella relazione di prova è riportato di seguito.

In caso di prove di controllo della trave da monitorare, realizzare di prove opportune analoghe:												
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												
[...]												

Il codice di identificazione dei campioni dovrà corrispondere all'ubicazione delle prove in pianta, riportata nel seguito. L'ubicazione di ogni prova eseguita dovrà essere univocamente indicata mediante il codice di identificazione campioni su piante/profili rappresentanti gli elementi strutturali indagati.

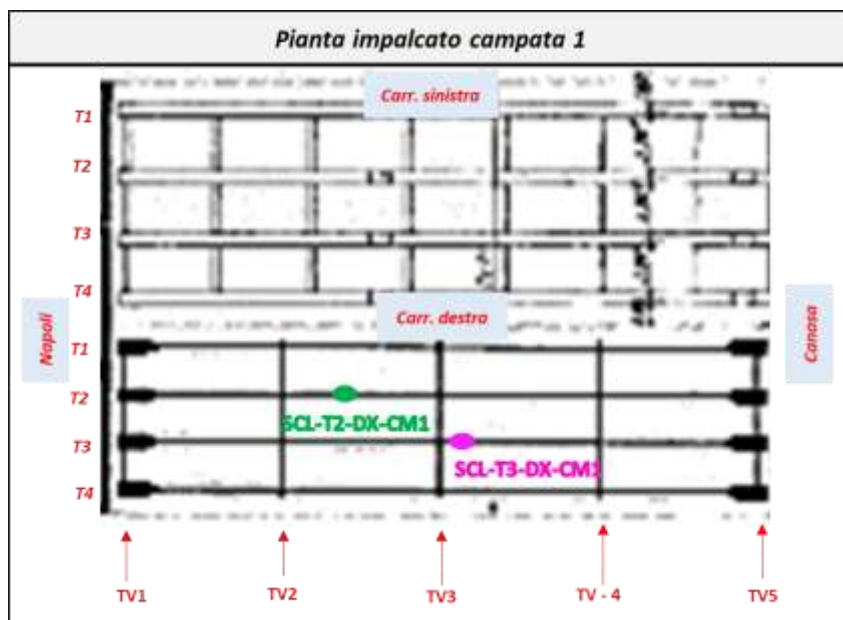


Figura 36 – Ubicazione prove in pianta e documentazione fotografica – Prove sclerometriche

Prove Pull-Out

L'elaborazione della prova consiste essenzialmente:

- valutazione della forza di estrazione del tassello;
- correlazione tra la forza d'estrazione F, ricavata dalla pressione misurata al martinetto e la resistenza cubica Rc e del tipo:

$$R_c = A + B F$$

- in cui i coefficienti A e B sono opportunamente calibrati mediante prove distruttive a compressione su carote estratte dalle strutture (rif. UNI EN 12504-1:2009).

Il resoconto di prova dovrà contenere:

- identificazione inequivocabile della posizione area/prova dell'elemento/struttura di calcestruzzo;

- data della prova;
- tipo di apparecchiatura e tipologia di tassello utilizzata;
- dichiarazione di pulizia del foro;
- numero di letture eseguite;
- informazioni sulla posizione delle armature adiacenti;
- singole misurazioni di forze registrate, espresse in kN;
- resistenza a compressione del calcestruzzo e relativa espressione utilizzata per il calcolo;
- dichiarazione della persona direttamente responsabile che la prova sia stata eseguita in conformità alla UNI EN 12504-3:2005;

Un esempio di restituzione tabellare da inserire nella relazione di prova è riportato di seguito.

N°	Zona di rilievo	Letture	Esecuzione pulizia foro	Tipo di tassello	Forza di estrazione	R _c	R _c MEDIA
					[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				

Il codice di identificazione delle prove dovrà corrispondere all'ubicazione delle prove in pianta, riportata nel seguito.

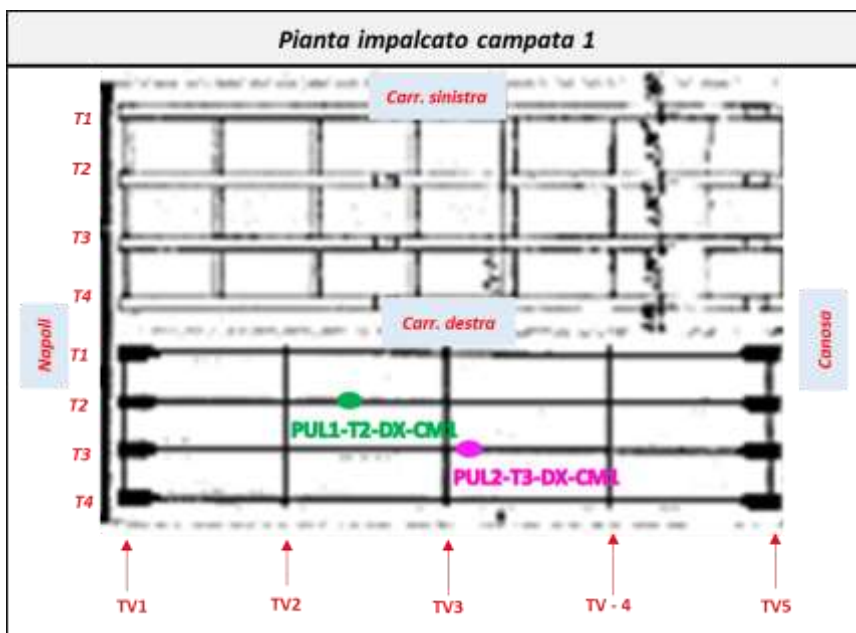


Figura 37 – Ubicazione prove in pianta e documentazione fotografica – Prove di pull out

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:

$$R_S = 1.25 S - 23 \text{ (per } 20 \leq S \leq 24) \quad - \quad R_S = 1.73 S - 34.5 \text{ (per } 24 \leq S \leq 50)$$

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.

Calibrazione del metodo combinato

In presenza di prove di compressione a rottura su un numero limitato n di carote prelevate in sito in corrispondenza di zone sulle quali siano state preventivamente eseguite le misure non distruttive, si potrà procedere ad una calibrazione dei risultati sull'insieme delle misure non distruttive seguendo la procedura sotto descritta:

- a. valutazione della resistenza a compressione R_{SONREB} o R_{FS} per ciascuna delle zone di esecuzione delle prove non distruttive, utilizzando la correlazione di cui sopra;
- b. per ognuna delle n carote, calcolo del rapporto K tra resistenza cubica convenzionale R_c misurata in laboratorio e la corrispondente resistenza R_{SONREB} o R_{FS} ;
- c. calcolo del valore medio del rapporto K : K_{MEDIO} ;
- d. per ogni zona oggetto delle prove non distruttive, ma non di prelievo di carote, valutazione della resistenza a compressione mediante la relazione $K_{MEDIO} \times R_{SONREB}$ (oppure R_{FS}).

Per ogni zona sottoposta a prova non distruttiva dovrà essere prodotta una scheda contenente:

— identificazione della zona di misura,



ISTRUZIONE TECNICA
PPR1 – REALIZZAZIONE PROGETTUALE
PROCEDURE DI ESECUZIONE E MODALITA' DI
RESTITUZIONE DI INDAGINI CONOSCITIVE

Rif: PO-PPR1-PNT-005
Rev: 1
Data:
Pagina 73 di 137

- ubicazione della zona di misura,
- per la presentazione dei risultati in forma tabellare si faccia riferimento a quanto riportato nei rispettivi metodi ultrasonico, pull-out e sclerometrico.
- Valore stimato della resistenza R_{SONREB} (oppure R_{FS}).
- documentazione fotografica della zona di misura.

5.6 Prove di durezza sulle barre di armatura

5.6.1 Oggetto

La presente procedura ha come oggetto la definizione delle modalità di esecuzione delle misure di durezza superficiale (*Scala Brinell, Rockwell e Vickers*) delle barre di armatura di elementi strutturali in c.a., con lo scopo di valutarne l'omogeneità e la resistenza a trazione.

5.6.2 Principio fisico del metodo

La durezza definisce la resistenza che un materiale oppone a una deformazione permanente della sua superficie, provocata dalla penetrazione di un corpo

PROVA DI DUREZZA BRINELL

. La prova di durezza Brinell degli acciai prevede l'uso di un penetratore a sfera, o di carburo di tungsteno, di diametro 10 mm, da comprimere ortogonalmente contro la superficie da provare con una forza di 3000 Kgf. Il valore della durezza Brinell (HB), pari al rapporto tra la forza applicata e l'area della calotta dell'impronta lasciata sul provino, è proporzionale alla resistenza a trazione dell'acciaio.

PROVA DI DUREZZA VICKERS

La prova di durezza Vickers si esegue applicando sul provino un carico mediante un opportuno penetratore a forma piramidale e misurando la superficie di impronta. La durezza Vickers è proporzionale al rapporto tra il carico di prova e la superficie dell'impronta (F in Newton, S in mm²)

PROVA DI DUREZZA ROCKWELL

Le prove di durezza Rockwell differiscono da quelle Brinell e Vickers, in quanto si sottopone il materiale ad un carico in due tempi mediante un penetratore sferico o conico. La prova consiste nel misurare l'aumento residuo h della profondità dell'impronta sotto il carico iniziale (precarico) F_0 dopo la rimozione del carico aggiuntivo F_1 . In questo modo si tiene conto del ritorno elastico del materiale.

5.6.3 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 6508-1:2018 "Materiali metallici - Prova di durezza Rockwell - Parte 1: Metodo di prova".
- UNI EN ISO 18265:2013 "Metallic materials - Conversion of hardness values"

5.6.4 Strumentazione e attrezzatura

- Martello demolitore;
- smerigliatrice angolare con mola abrasiva a grana grossa e disco abrasivo a lamelle a grana fine, di diametro 115 mm;
- gruppo elettrogeno;
- fotocamera digitale;
- durometro portatile dinamico, dotato di incudine di taratura e di puntali intercambiabili, ed avente le seguenti caratteristiche:
 - lettura della misura: su display digitale
 - angolo di utilizzo: $\pm 90^\circ$, $\pm 45^\circ$, 0° rispetto all'orizzontale;
 - fondo scala: > 800 HV (Vickers)
 - precisione: $\pm 1\%$

5.6.5 Taratura

All'inizio di ogni settimana lavorativa dovrà essere eseguita la verifica della taratura dello strumento, utilizzando l'apposita incudine e seguendo le indicazioni riportate nel manuale dello strumento.

5.6.6 Modalità di esecuzione

PROVA DI DUREZZA BRINELL

Le misure dovranno essere eseguite su barre di diametro superiore a 20 mm, previa preparazione della superficie laterale in maniera tale da consentire l'esecuzione delle misure mantenendo il durometro in posizione orizzontale. Per una maggiore semplicità esecutiva, sarà opportuno eseguire le prove sulle barre di spigolo. In particolare, si dovrà seguire la seguente procedura:

- Individuazione della barra mediante pacometro;
- demolizione locale del copriferro mediante martello demolitore elettrico, con messa a nudo della barra di armatura per una lunghezza di almeno 40 cm; nel corso delle operazioni di demolizione bisognerà assolutamente evitare di isolare completamente la barra dal calcestruzzo retrostante, in maniera tale da mantenere un supporto rigido e continuo alla barra (vedi figura seguente); nel caso in cui la barra non risultasse lateralmente ammortata in maniera adeguata, bisognerà forzare dei cunei metallici o in legno tra barra e calcestruzzo per bloccare lateralmente la barra stessa;

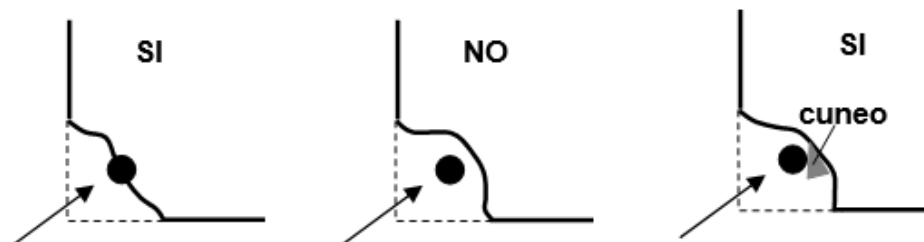


Figura 38 - Schema demolizione copriferro - sezione trasversale

- spianatura della superficie laterale della barra mediante smerigliatrice angolare elettrica con mola abrasiva a grana grossa di diametro 115 mm, con eliminazione degli eventuali risalti nel caso di barre a aderenza migliorata, in maniera tale da ottenere una superficie piana di larghezza pari ad almeno 10 mm e lunghezza pari ad almeno 150 mm;
- levigatura e lucidatura della superficie precedentemente spianata mediante smerigliatrice angolare con disco abrasivo a lamelle a grana fine di diametro 115 mm;



Figura 39 - Preparazione della barra

- esecuzione delle misure, mantenendo saldamente lo strumento ortogonale alla superficie della barra precedentemente spianata (vedi figura seguente); in ciascuna zona di misura dovranno essere eseguite almeno 9 misure, mantenendo almeno 10 mm tra un punto di misura e il successivo; valori di durezza Brinell (HB) caratterizzati da uno scarto superiore a $\pm 15\%$ rispetto alla media dei valori rilevati, dovranno essere scartati e ripetuti;
- documentazione fotografica della zona di prova;
- ripristino del copriferro demolito mediante malta fibrorinforzata premiscelata, tixotropica, leggermente espansiva.



Figura 40 - Esecuzione della misura

PROVA DI DUREZZA VICKERS

La prova deve essere eseguita su una superficie liscia, libera da ossidazione ed esente da alterazioni dovute, ad esempio, a riscaldamento o incrudimento.

La finitura della superficie deve essere tale da permettere un'accurata misurazione delle diagonali dell'impronta.

I carichi possono variare da 1.9 a 980.7 N

- Il penetratore viene premuto sul materiale con un carico F gradualmente crescente, in un tempo variabile tra 2 e 10 s e mantenuto per 10-15 s.
- Una volta rimosso il carico, si visualizza su un apposito schermo l'impronta (che ha forma quadrata) e si misurano le lunghezze delle due diagonali, la cui media aritmetica viene impiegata per il calcolo della superficie S dell'impronta.

PROVA DI DUREZZA ROCKWELL

La prova consiste nel misurare l'aumento residuo h della profondità dell'impronta sotto il carico iniziale (precarico) F0 dopo la rimozione del carico aggiuntivo F1. In questo modo si tiene conto del ritorno elastico del materiale.

Esistono differenti tipi di scala Rockwell, ognuna caratterizzata da un preciso valore del carico da applicare e da un determinato tipo di penetratore. Il valore della durezza Rockwell viene calcolato usando la formula dove N è il numero specifico della scala (vale 100 o 130 a seconda che si impieghi un penetratore in diamante o in acciaio, e l'unità specifica della scala espressa in mm (0.002 mm) ed h l'aumento residuo della profondità di penetrazione sotto il carico iniziale dopo l'eliminazione del carico aggiuntivo

Il penetratore è costituito da un cono di diamante con angolo di apertura 120° e raggio di curvatura, in corrispondenza della punta, di 0.2 mm

- Si porta il penetratore a contatto con la superficie del pezzo da provare e si applica un precarico di 98.07 N; si azzerà l'indicatore di profondità e, in un tempo compreso tra 2 e 8 s, si aggiunge il carico addizionale pari a 1373 N, in modo da avere un carico totale di 1471 N.
- Trascorsi 4 s, il carico addizionale viene rimosso e si misura sull'indicatore la profondità di penetrazione h , mantenendo il precarico iniziale.
- Si calcola il valore della durezza mediante l'espressione $HRC=100-(h/e)$
- Nell'eseguire le prove di durezza Rockwell bisogna fare in modo che lo spessore del provino sia almeno pari a $10h$ per prove effettuate con l'indentatore conico ed almeno $15h$ per prove effettuate con il penetratore sferico.
- La distanza tra i centri di due impronte adiacenti deve essere di almeno 2mm e la distanza tra il centro dell'impronta ed il bordo del provino almeno 1 mm.

5.6.7 Presentazione dei risultati

La correlazione tra indici di durezza e resistenza a trazione è regolata dalla UNI EN ISO 18265:2013. Si richiede per ogni tipologia di prove (Brinell, Vickers, Rockwell) di esplicitare la relazione utilizzata per tale valutazione.

Ad esempio, per la prova di durezza Brinell la resistenza a trazione dell'acciaio potrà essere valutata con la relazione seguente, dove HB è la durezza Brinell media della zona di misura, calcolata sulle sette misure residue dopo aver scartato i valori minimi e massimi:

$$f_{t, \text{BRINELL}} \text{ (MPa)} = 12.452 + 3.277 \text{ HB}$$

In presenza di prove di trazione a rottura 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 Brinell, si potrà procedere ad una calibrazione dei risultati sull'insieme delle misure di durezza seguendo la procedura sotto descritta:

- e. valutazione della resistenza a trazione $f_{t, \text{BRINELL}}$ di ciascuna delle n barre, in funzione della durezza Brinell media, utilizzando la relazione sopra riportata;
- f. per ognuna delle n barre calcolo del rapporto K tra resistenza a trazione f_t misurata in laboratorio e la corrispondente resistenza $f_{t, \text{BRINELL}}$ valutata dalle prove Brinell;
- g. calcolo del valore medio del rapporto K : K_{MEDIO} ;
- h. per ogni barra oggetto delle prove Brinell in sito, ma non di prelievo per le prove di laboratorio, valutazione della resistenza a trazione mediante la relazione delle $K_{\text{MEDIO}} \times f_{t, \text{BRINELL}}$.

I risultati delle misure eseguite con le tre prove sopra descritte sulle barre saranno riportati in un'apposita tabella contenente:

- sigla della barra,
- ubicazione dell'elemento strutturale contenente la barra,
- ubicazione, diametro e tipo della barra,
- valori di durezza misurati,
- valore di durezza medio,
- resistenza a trazione stimata.

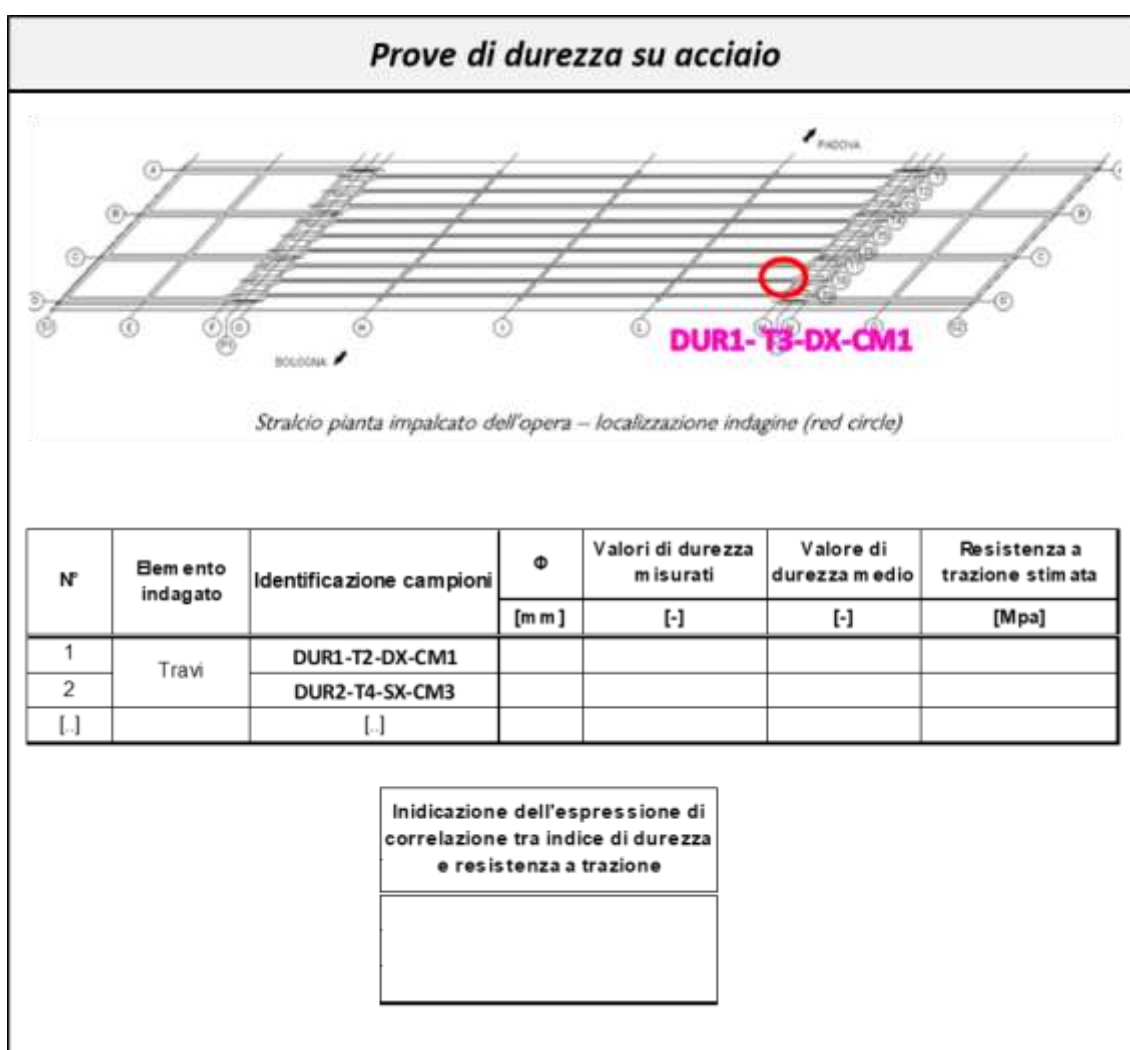


Figura 41 – Ubicazione prove in pianta e documentazione fotografica – prove di durezza acciaio

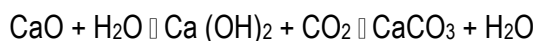
5.7 Misura della profondità di carbonatazione

5.7.1 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.

5.7.2 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, che protegge le armature dai fenomeni ossidativi. Quindi, nel momento in cui la carbonatazione raggiunge l'armatura interviene un pericolo di corrosione, mentre la parte di armatura in ambiente intatto non viene aggredita. Inoltre, la carbonatazione fornisce un aumento della durezza superiore alla carota, che potrebbe ingannare i metodi di determinazione della resistenza a compressione misurati con lo sclerometro.

La misura della profondità di carbonatazione viene eseguita sulle carote di calcestruzzo, appena estratte, utilizzando una soluzione indicatrice che cambia colore se a contatto con materiali aventi PH maggiori di circa 9 (assenza di carbonatazione), mentre resta incolore per valori di PH inferiori a 9 (presenza di carbonatazione).

5.7.3 Normativa di riferimento

EN 14630:2006 "Products and systems for the protection and repair of concrete structures - Test methods - Determination of carbonation depth in hardened concrete by the phenolphthalein method".

5.7.4 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);
- pennello;
- fotocamera digitale;
- metro.

5.7.5 Modalità di esecuzione

Le misure dovranno essere eseguite seguendo la procedura descritta:

- a. esecuzione del carotaggio;
- b. siglatura in maniera univoca ed indelebile del campione; individuazione del punto di prelievo sui documenti grafici a disposizione;

- c. sciacquatura della carota con acqua pulita per eliminare ogni traccia di detriti e di fango, e successiva asciugatura con un panno pulito; tale operazione deve essere eseguita immediatamente dopo l'ultimazione delle operazioni di prelievo;
- d. applicazione della soluzione: ad asciugatura avvenuta, coricare la carota orizzontalmente ed applicare, con un pennello pulito, la soluzione di fenolftaleina sulla superficie laterale superiore, lungo una generatrice, procedendo dal bordo esterno verso quello interno e con un'unica mano; 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. misura della profondità del fronte di carbonatazione mediante un decimetro millimetrico, rilevando, con la precisione di un millimetro, la distanza media e massima del fronte colorato (zona non carbonatata) rispetto al bordo esterno della carota (vedi figura).



Figura 42 - Schema misura carbonatazione

- f. documentazione fotografica delle prove: ogni carota deve essere disposta orizzontalmente su una superficie preferibilmente scura (utilizzare un telo nero o eventualmente la pavimentazione stradale in asfalto), ed in maniera tale da mostrarne la sigla; a fianco delle carote, ed in parallelo, va adagiato un decimetro, preferibilmente di dimensioni tali che le tacche centimetriche e le relative cifre risultino ben visibili;
- g. ripristino del foro del carotaggio mediante malta fibrorinforzata premiscelata, tixotropica, leggermente espansiva.

5.7.6 Presentazione dei risultati

Per ogni carota sottoposta a misura della profondità di carbonatazione dovrà essere prodotta una scheda contenente:

- ubicazione del prelievo,
- sigla della carota,
- dimensioni della carota (diametro Φ e lunghezza H);
- profondità di carbonatazione media;
- profondità di carbonatazione massima;
- documentazione fotografica della misura.

Le informazioni sopra riportate dovranno essere inserite all'interno di una tabella riepilogativa, avente il seguente formato e 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					
[..]		[..]					

Il codice di identificazione dei campioni dovrà corrispondere all'ubicazione delle prove in pianta, riportata nel seguito. L'ubicazione di ogni prova eseguita dovrà essere univocamente indicata mediante il codice di identificazione campioni su piante/profilati rappresentanti gli elementi strutturali indagati. Un esempio è riportato di seguito.

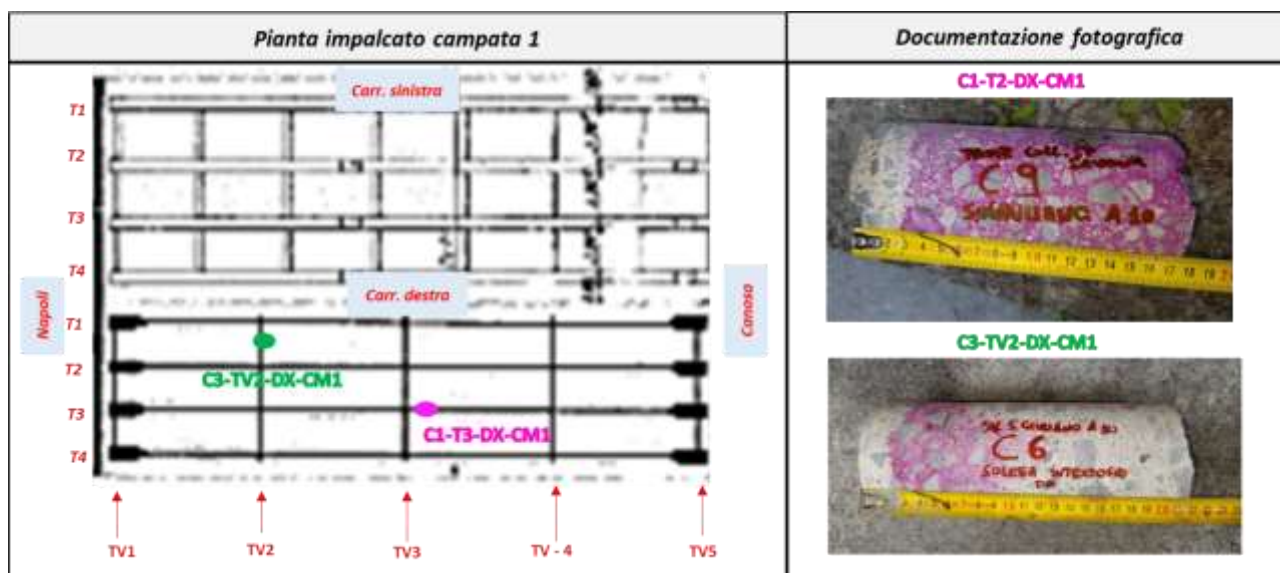


Figura 43 – Ubicazione prove in pianta e documentazione fotografica – Misure della profondità di carbonatazione

5.8 Profondità di penetrazione ioni cloruro

5.8.1 Oggetto

Il presente paragrafo ha come oggetto la definizione delle procedure per l'esecuzione delle prove per l'analisi quantitativa degli ioni cloruro presenti in carote di calcestruzzo prelevate in sito.

5.8.2 Normativa di riferimento

- UNI EN 206-1: 2006 "Calcestruzzo - Parte 1: Specificazione, prestazione, produzione e conformità".
- 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.

5.8.3 Descrizione del metodo

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 catalizzatori nella reazione di ossidazione del ferro e può portare alla distruzione del film di passività che ricopre il metallo nelle condizioni originarie, e quindi alla propagazione 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.

5.8.3.1

La diagnosi del degrado

La presenza di ioni cloruri nel calcestruzzo è stabilita mediante **analisi chimiche** di laboratorio; si può considerare naturale un contenuto di ioni cloruro attorno allo 0,2-0,4% (come indicato nelle linee guida del Servizio Tecnico del Ministero delle Infrastrutture – Tabella 1) rispetto al peso di cemento; in presenza di percentuali maggiori, 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

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.

Tabella 2: Limiti imposti da UNI EN 206:2016

Oltre all'analisi chimica è possibile effettuare altre due prove:

1. **Prova colorimetrica alla fluoresceina e nitrato di argento** (norma UNI 111747);
2. **Analisi per diffrazione dei raggi X.**

La *prova colorimetrica* consiste nello spruzzare una carota prelevata con una soluzione di fluoresceina e nitrato di argento. La parte di cls penetrata dai cloruri si colorerà di grigio chiaro, mentre la parte sana diventerà grigio scuro. La linea che demarca il cambio di colore indica lo spessore di calcestruzzo degradato e quindi se i cloruri hanno raggiunto i ferri d'armatura.

La *prova di diffrazione* evidenzia i prodotti sviluppati dai cloruri all'interno del calcestruzzo.

I cloruri che provengono dai sali disgelanti, sono di due tipi, cloruro di sodio (NaCl) e cloruro di calcio (CaCl₂), il primo può portare ad una reazione alcali-aggregato e al fenomeno del pop-out sulla pavimentazione. Il secondo, ormai poco utilizzato, dà origine alla formazione di ossicloruro, prodotto fortemente degradante per il calcestruzzo in quanto crea l'asportazione della matrice cementizia assimilabile al degrado da dilavamento.

5.8.4 Reagente chimico e attrezzatura

- Soluzione di fluoresceina e nitrato di argento, in accordo con §5.1.1 di UNI-EN11747;
- Attrezzature di laboratorio indicate al §5.2 di UNI-EN11747;
- pennello per *prova colorimetrica*;
- fotocamera digitale;
- metro.

5.8.5 Modalità di esecuzione

Il metodo più efficace per la valutazione della profondità di penetrazione degli ioni cloro consiste nell'asportare un campione di calcestruzzo mediante carotaggio meccanico, eseguito conformemente alla UNI 6131/2002 e UNI EN 12504-1/2002, e spruzzare la soluzione reagente per verificare lo stato del degrado.

La profondità di carotaggio viene stabilita in relazione allo spessore di calcestruzzo che si ritiene possa influenzare lo stato dell'armatura, tale profondità non dovrebbe comunque interessare più del doppio dello spessore del copriferro. Le dimensioni delle carote sono stabilite in relazione agli scopi dell'indagine, tenendo conto delle dimensioni degli aggregati presenti nel calcestruzzo.

Per la determinazione del profilo di penetrazione degli ioni cloruro sono sufficienti anche prelievi di piccolo diametro (D40 mm, o inferiore); non esiste un diametro minimo, bisogna tuttavia considerare che al di sotto di un diametro minimo e con calcestruzzi poco compatti, il campione si potrebbe frantumare già in fase di carotaggio od estrazione.

Questo tipo di prova permette di eliminare dubbi dovuti alla matrice degli aggregati presenti nel cls, infatti eseguendo dei fori puntuali si rischia spesso di incorrere nell'aggregato, se di dimensioni significative, e non studiare lo stato di fatto della struttura.

In alternativa l'analisi dello stato di penetrazione si esegue attraverso il prelievo di piccoli campioni di calcestruzzo da portare in laboratorio o la perforazione con l'ausilio di piccoli utensili.

In tal caso è opportuno che i campioni abbiano uno spessore minimo non minore dello spessore del copriferro e che la perforazione avvenga attraverso l'impiego di un trapano con punta (della quale è necessario assicurarsi la pulizia) di diametro non minore di 20 mm; il calcestruzzo viene perforato a profondità crescenti, fermandosi di volta in volta a valori di profondità prefissati (per es. 1,0 cm, 2,0 cm, 3,0 cm, oppure 1,5 cm, 3,0 cm, 4,5 cm, ecc.). Il prelievo di campioni che verranno sottoposti all'indagine, dovrà essere accompagnato da misure dello spessore effettivo del copriferro, in prossimità del prelievo.

Il rilievo della profondità di penetrazione deve essere eseguito come indicato al §7.3 della UNI 11747:2019.

5.8.6 Presentazione dei risultati

Per ogni carota sottoposta a misura della penetrazione cloruri dovrà essere prodotta una scheda contenente:

- sigla della carota;
- ubicazione del prelievo;
- Dimensione dei provini;
- Eventuali difettosità presenti sulla superficie di frattura dei provini;
- La concentrazione della soluzione di contatto, se diversa da quella riportata nel 5.1.1 della UNI 11747:2019;
- contenuto di cloruri nel campione;
- Valore medio della profondità di penetrazione;
- documentazione fotografica della misura

Le informazioni sopra riportate dovranno essere inserite all'interno di una tabella riepilogativa, avente il seguente formato e 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				
[..]		[..]				

Il codice di identificazione dei campioni dovrà corrispondere all'ubicazione delle prove in pianta, riportata nel seguito.

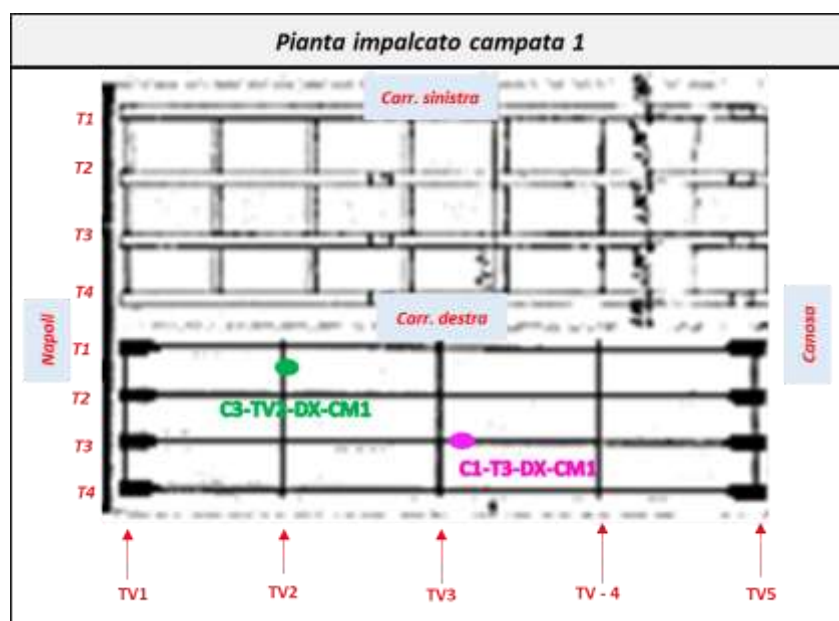


Figura 44 – Ubicazione prove in pianta e documentazione fotografica – Profondità di penetrazione di ioni cloruro

5.9 Misure di mappatura del potenziale

5.9.1 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, apparentemente non visibili, in atto sulle armature inglobate nel getto.

5.9.2 Descrizione del metodo

Il metodo della mappatura del potenziale è una tecnica non distruttiva per l'indagine dello stato corrosivo delle armature lente di elementi in calcestruzzo armato o in cemento armato precompresso. Più precisamente, la mappatura del potenziale consente di valutare la situazione di corrosione, cioè se le armature siano o meno sottoposte ad un attacco corrosivo, sia esso generalizzato che localizzato, ma 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.

5.9.3 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"

5.9.4 Strumentazione e attrezzatura

- Elettrodo di riferimento Rame/solfato di rame (Cu/CuSO_4) saturo;
- milivoltmetro digitale ad alta impedenza di ingresso ($100 \text{ M}\Omega$) ed una risoluzione di almeno 1 mV ;
- cavi di collegamento, continui e protetti da una guaina isolante, di sezione maggiore di 1 mm^2 e lunghezza maggiore di 150 m ;
- morsetto per il collegamento del cavo alla barra di armatura;
- nebulizzatore per acqua;
- pacometro;

- martello demolitore;
- gruppo elettrogeno;
- fotocamera digitale.

5.9.5 Modalità di esecuzione

Le prove saranno eseguite seguendo la procedura seguente.

- Preparazione dell'elettrodo, mediante riempimento con acqua demineralizzata e polvere di cristalli di solfato di rame (che devono rimanere in sospensione dovendo la soluzione essere satura); applicazione dell'apposita spugnetta sulla pietra porosa dell'elettrodo;
- individuazione e preparazione della zona di misura, di superficie pari ad almeno 3 mq, caratterizzata da assenza di fenomeni di corrosione evidenti delle barre di armatura;
- rilievo della maglia di armatura tramite pacometro e suo tracciamento direttamente sulla superficie dell'elemento;
- Individuazione dei punti di misura, da ubicare in corrispondenza dei nodi della griglia delle barre di armatura precedentemente rilevate, secondo una maglia regolare il cui passo può variare tra 15 e 50 cm;
- collegamento alla barra di armatura: messa a nudo e spazzolatura di una barra di armatura per una lunghezza di 5 cm, esecuzione del collegamento mediante utilizzo di un morsetto;
- esecuzione dei contatti elettrici: connessione della maglia di armatura al terminale positivo, e dell'elettrodo di riferimento al terminale negativo del voltmetro (vedi figura).

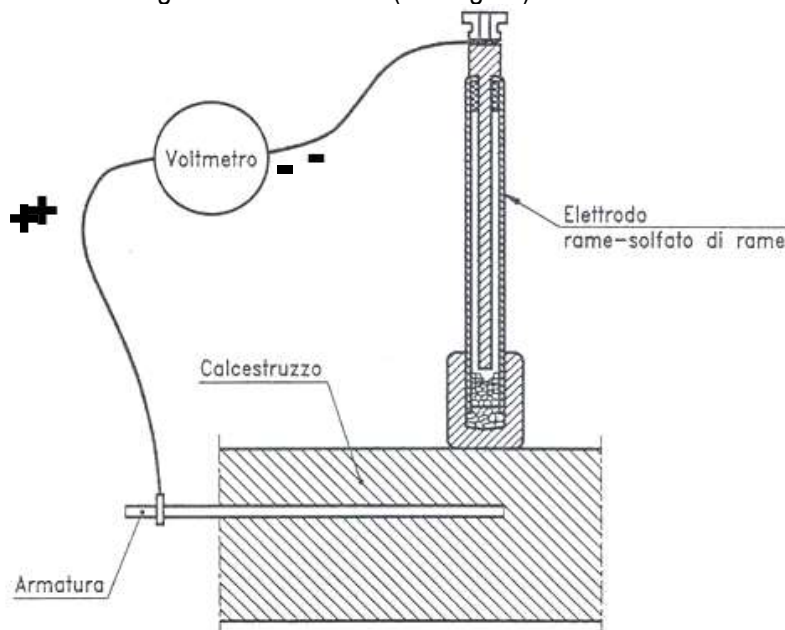


Figura 45 - Misure di mappatura di potenziale - schema della procedura di misura

- umidificazione dei punti di misura con una soluzione di acqua e tensioattivi (sapone liquido per piatti), in maniera tale da assicurare un buon collegamento elettrico tra l'elettrodo di riferimento e il calcestruzzo;
- premere fortemente l'elettrodo di misura in corrispondenza del punto di misura e rilevare la tensione sul voltmetro; attendere la stabilizzazione della lettura ed annotare il valore.

5.9.6 Presentazione dei risultati

La norma ASTM C876 fornisce le seguenti correlazioni sperimentali tra potenziale elettrico (riferito ad un elettrodo di riferimento Cu/CuSO₄ saturo) e stato della 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%.

L'elaborazione delle misure di potenziale comprende:

- una tabella contenente i valori di potenziale rilevati, disposti secondo la griglia di misura;
- un diagramma bidimensionale a curve di livello con toni di grigio, per evidenziare graficamente la distribuzione del potenziale nella zona di misura.

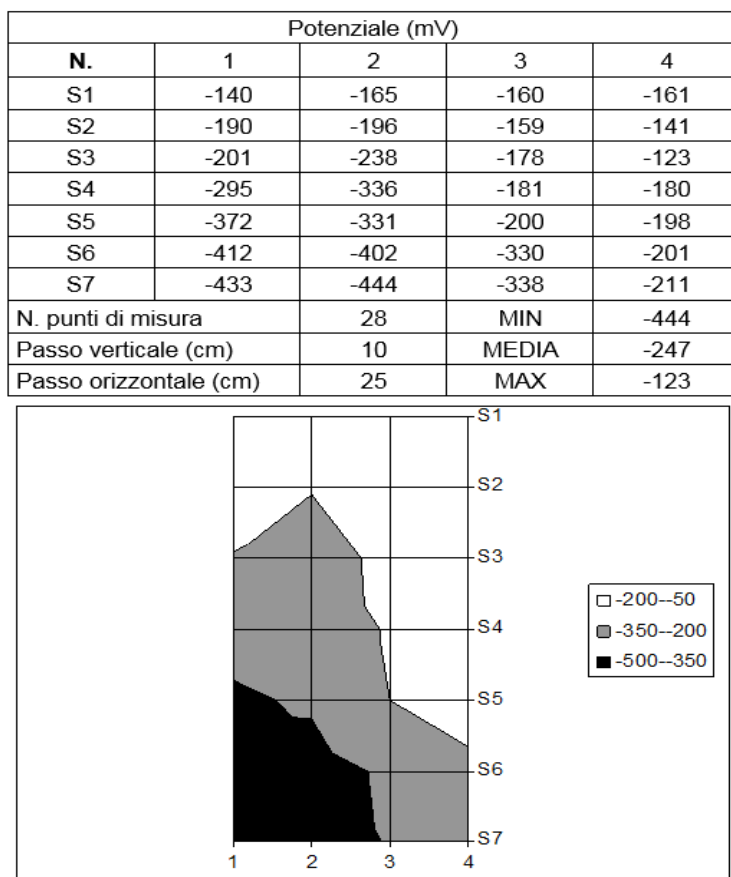


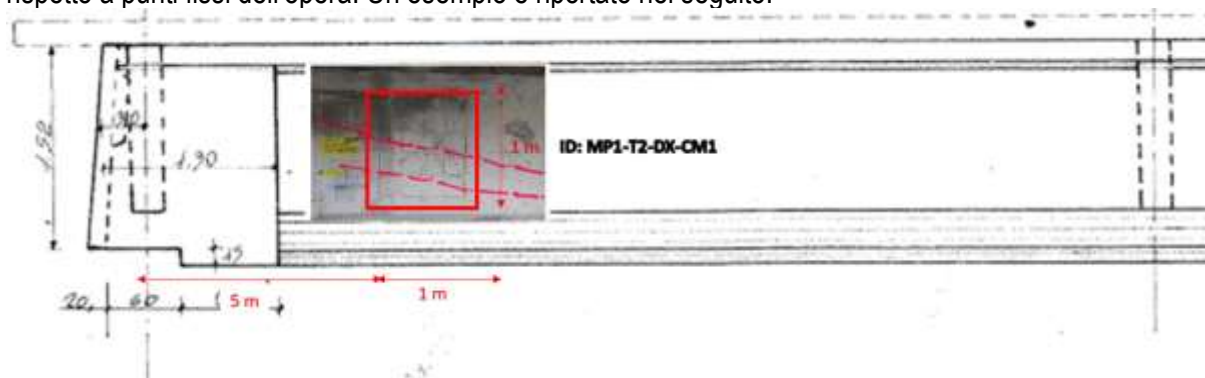
Figura 46 - Misure di mappatura di potenziale – presentazione dei dati

Entrambe devono essere esplicitamente riportate nel report di prova, restituito dal laboratorio.

Per ogni zona di misura dovrà essere prodotta una scheda contenente:

- Sigla di identificazione della zona di misura,
- ubicazione della zona di misura,
- tabella e diagramma a curve di livello dei valori di potenziale rilevati;
- giudizio motivato dell'operatore sul processo di corrosione in atto;
- documentazione fotografica della zona di misura.

L'ubicazione della zona di misura deve essere univocamente individuata mediante indicazioni geometriche rispetto a punti fissi dell'opera. Un esempio è riportato nel seguito.



Il codice di identificazione dei campioni, come riportato nell'immagine precedente, dovrà corrispondere all'ubicazione delle prove in pianta, riportata nel seguito.

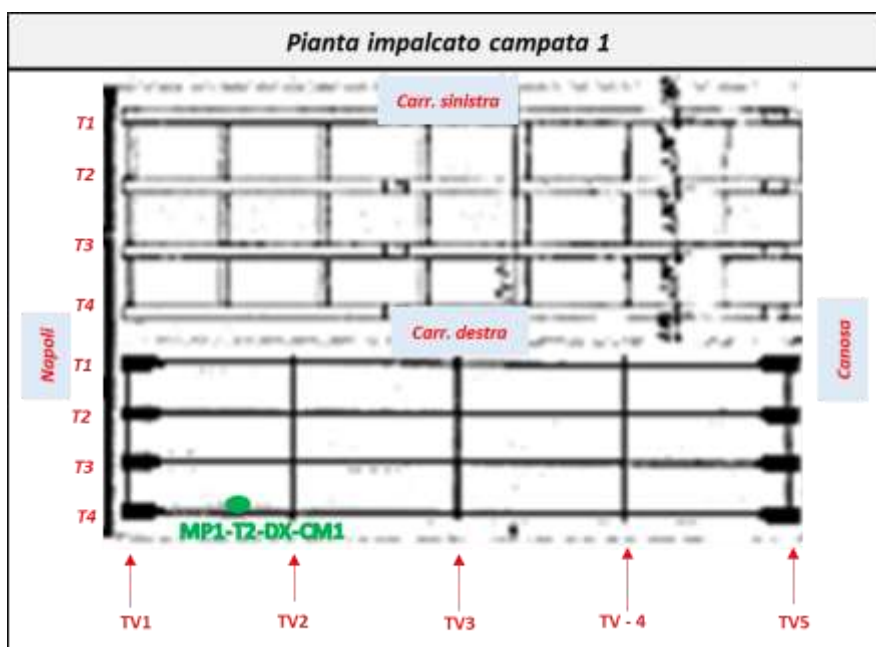
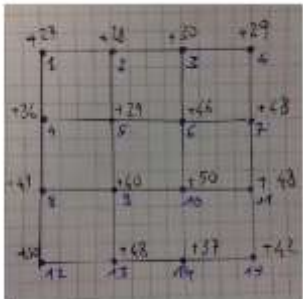
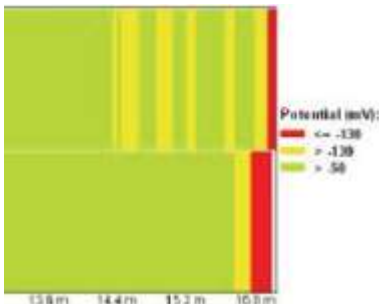


Figura 47 – Ubicazione prove in pianta e documentazione fotografica – Misura di mappatura di potenziale

La tabella e il diagramma delle curve di livello rappresentante i valori di potenziale rilevati dovranno presentare la seguente forma e contenuto:

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

5.10 Prove ecometriche sui pali di fondazione

5.10.1 Oggetto

Il presente paragrafo ha come oggetto la definizione delle procedure per l'esecuzione delle prove ecometriche sui pali di fondazione, con lo scopo di valutarne l'integrità e la lunghezza.

5.10.2 Principio fisico del metodo

Il metodo ecometrico consiste nell'immettere onde elastiche di compressione nell'elemento da investigare, mediante un impulso meccanico fornito con un apposito martello antirimbalo e nel rilevare la risposta dell'elemento stesso mediante un sensore di vibrazione. L'onda elastica che viene a generarsi percorre l'elemento con una velocità V che dipende dalla densità del mezzo attraversato, e che diminuisce lungo il percorso per l'attrito molecolare interno del calcestruzzo e per dissipazione lungo la superficie di contatto palo - terreno. Nel caso in cui l'onda elastica incontri nel suo percorso di andata una variazione di continuità ha luogo una riflessione di parte dell'energia verso la sorgente, mentre l'altra prosegue nel suo percorso.

Misurando il tempo t tra l'istante di partenza dell'onda elastica e la sua ricezione, e nota la velocità di propagazione V , è possibile valutare la distanza L della variazione che ha prodotto la riflessione mediante la relazione: $L = Vt/2$.

5.10.3 Normativa di riferimento

- NF P94-160-2:1993 "Sols: reconnaissance et essais – Auscultation d'un élément de fondation – Partie 2: Méthode par réflexion"
- ASTM D5882-16: Standard Test Method for Low Strain Impact Integrity Testing of Deep Foundations.

5.10.4 Strumentazione e attrezzatura

- Martello (mazzetta) con testa in plastica dura;
- geofono avente sensibilità superiore a 25 V/m/s e banda passante compresa almeno tra 10 e 300 Hz;
- cavi coassiali a basso disturbo;
- unità di condizionamento del segnale di velocità proveniente dal geofono (amplificazione e filtraggio in frequenza);
- unità di digitalizzazione ed acquisizione del segnale di velocità, caratterizzata da una risoluzione di almeno 12 bit, guadagni variabili x1, x10, x100, massima frequenza di campionamento pari ad almeno 100KHz
- fotocamera digitale.

5.10.5 Modalità di esecuzione

Le prove saranno eseguite secondo la procedura seguente.

Esecuzione delle opere di scavo necessarie per mettere alla luce le strutture di fondazione. Una prima serie di prove dovrà essere eseguita dall'estradosso del plinto, in corrispondenza di un plausibile asse palo situato lungo la bisettrice di uno spigolo del plinto, verificando di volta in volta le lunghezze stimate per il palo; infatti, in particolari condizioni favorevoli (rapporto tra spessore del plinto e diametro del palo inferiore a 1.5, ripresa di getto tra palo e plinto di buona qualità e senza soluzione di continuità, coincidenza dell'asse palo dal

punto di misura), le misure eseguite dall'estradosso del plinto forniscono un'attendibile stima della lunghezza del palo. Qualora le misure eseguite dall'estradosso del palo non diano risultati attendibili, bisognerà procedere dal fianco del palo, immediatamente al di sotto dell'intradosso del plinto, previa realizzazione di una piccola nicchia di dimensioni 10 x 10 x 10 cm sulla superficie laterale del palo ad una distanza di circa 50 cm dal plinto, nella quale alloggiare il sensore e fornire l'impulso verticale (vedi figura riportata di seguito);

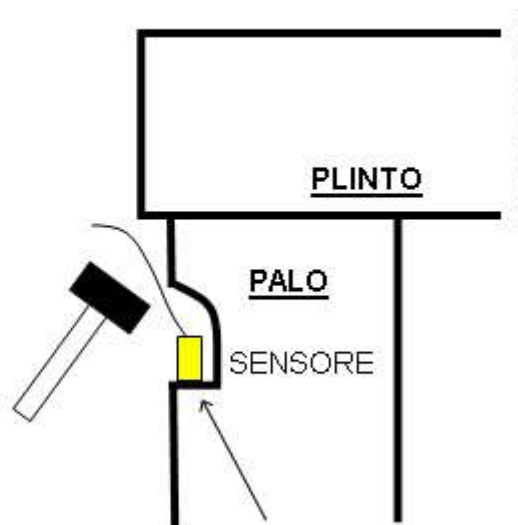


Figura 48 - Schema di esecuzione della misura

- regolarizzazione del punto di misura mediante molatura o mediante incollaggio di una piastrina metallica con resina epossidica;
- posizionamento del trasduttore nel punto di misura interponendo un mezzo di accoppiamento per assicurare la propagazione delle onde meccaniche (p.es. grasso siliconico);
- verifica dell'assenza di sorgenti di vibrazioni esterne che potrebbero indurre disturbi durante l'esecuzione delle misure;
- immissione di almeno cinque impulsi utili sul palo, in prossimità del punto di misura, con contemporanea acquisizione dei segnali di velocità, verificandone in tempo reale l'omogeneità della forma sul monitor dello strumento; eventuali segnali di forma anomala dovranno essere scartati e sostituiti da nuovi segnali prodotti da successivi impulsi;
- ripristino della nicchia praticata sul fianco del palo mediante malta fibrorinforzata premiscelata, tixotropica, leggermente espansiva;
- ritombamento dello scavo.

5.10.6 Presentazione dei risultati

- a. L'elaborazione del segnale ecometrico implica una serie di operazioni complesse, quali filtraggio in frequenza, moltiplicazione del segnale per una finestra temporale esponenziale, individuazione dell'eco temporali di fondo e del relativo tempo T rispetto all'istante di applicazione dell'impulso (vedi figura seguente);

- b. calcolo della distanza L tra il punto di misura ed il fondo del palo mediante la relazione $L = VT/2$, dove T è l'intervallo di tempo tra immissione dell'impulso e eco di fondo, e V la velocità di propagazione delle onde soniche nel calcestruzzo; di regola, per V vengono adottati i 2 valori limite 3600 m/s e 3900 m/s all'interno dei quali si colloca ipoteticamente l'effettiva velocità di propagazione delle onde soniche nello specifico palo, e pertanto vengono calcolati 2 valori limite per la lunghezza dell'elemento.

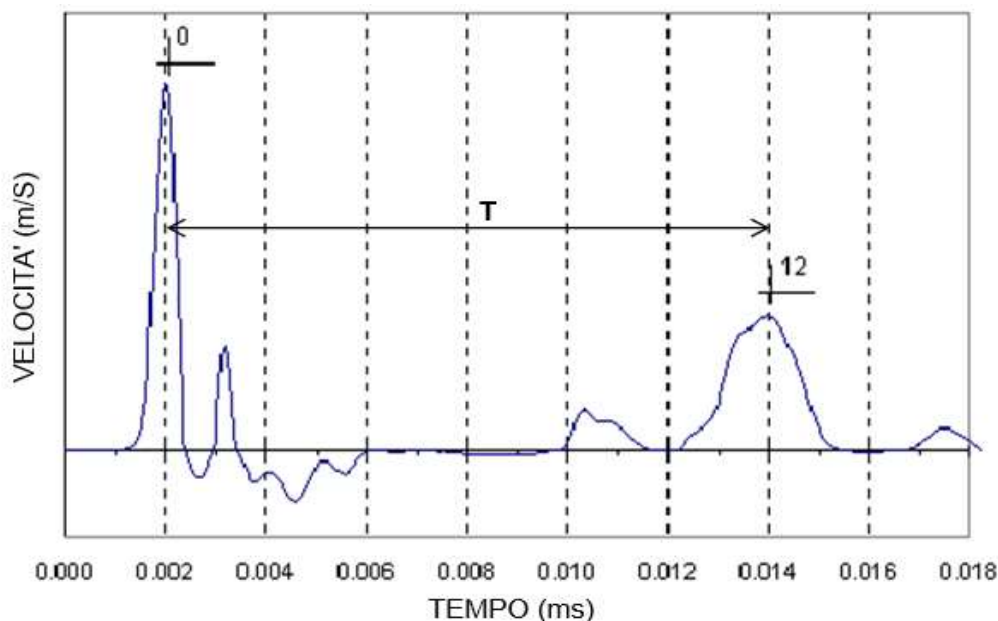
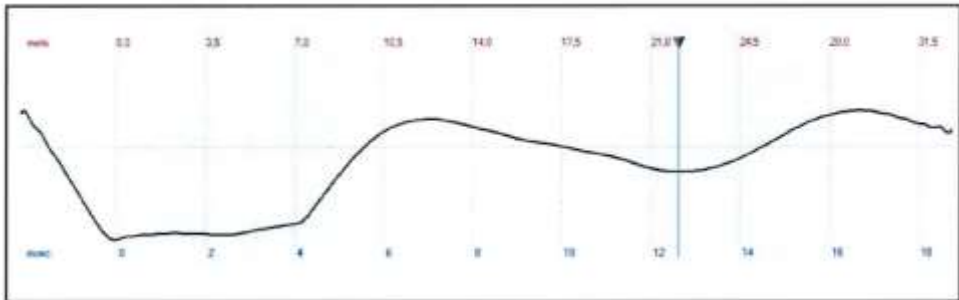


Figura 49 - Analisi del segnale ecometrico

- c. per una migliore interpretazione del segnale ecometrico, è opportuno analizzare una stratigrafia dettagliata dei terreni;
- d. Per ogni palo sottoposto a prova ecometrica dovrà essere prodotta una scheda contenente:
- identificazione del palo;
 - ubicazione del palo sulla pianta delle fondazioni;
 - distanza del punto di misura rispetto all'intradosso del palo;
 - tempo T tra immissione dell'impulso ed eco di fondo;
 - lunghezze del palo L calcolate per le 2 velocità 3600 e 3900 m/s;
 - giudizio motivato dell'operatore rispetto l'integrità del palo;
 - segnale ecometrico;
 - documentazione fotografica.

Un esempio di quanto sopra indicato è riportato nel seguito.

N°	Zona di rilievo	Tempo T	Velocità	Lunghezza L prevista	Lunghezza L misurata	Giudizio dell'operatore
[-]	[-]	[s]	[m/s]	[m]	[m]	[-]
1	ECO1-PL8					
Segnale ecometrico						
						

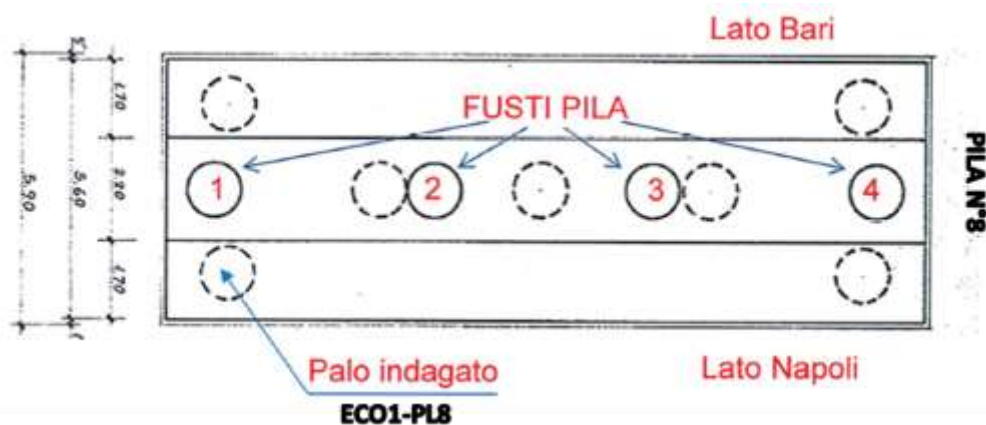


Figura 50 – Ubicazione prove in pianta e documentazione fotografica – Prova ecometrica

6 Indagini per elementi in acciaio

Il presente capitolo contiene le procedure e le modalità di esecuzione delle indagini rivolte agli elementi in carpenteria metallica; è suddiviso in prove sugli elementi di carpenteria e controlli non distruttivi sulle saldature.

6.1 Prove sugli elementi di carpenteria

6.1.1 Prelievo elementi in acciaio da carpenteria metallica

L'obiettivo del prelievo di campioni di acciaio da carpenteria (spezzoni di profilati, bulloni, ecc.) è l'esecuzione dei successivi test chimici, fisici e/o meccanici da eseguirsi in un laboratorio certificato.

Modalità di esecuzione

6.1.1.1 prelievi dei campioni d'acciaio dovranno essere eseguiti con la seguente procedura:

- Eseguire il taglio mediante smerigliatrice provvedendo a raffreddare l'elemento con getti d'acqua per impedire alterazioni delle caratteristiche chimiche e meccaniche dell'acciaio.
- fotografare il provino dopo il prelievo su un piano di colore neutro insieme a un cartellino (indicante la sigla del campione) e a un metro semirigido per attestarne la lunghezza.

Nel caso di spezzoni di profilato il prelievo deve essere eseguito in zone di scarsa sollecitazione e condotto in modo da creare il minor disturbo possibile al manufatto e ai suoi elementi costitutivi.

Una volta prelevati e catalogati, i campioni dovranno essere trasportati presso un laboratorio ufficiale o autorizzato ai sensi della Legge 1086/71 e della Circolare 346/STC1999, per la preparazione dei provini e l'esecuzione delle prove di trazione a rottura, con determinazione delle grandezze sottoelencate ed emissione del relativo certificato:

- Resistenza allo snervamento f_y
- 6.1.1.2 Resistenza a rottura f_t
- Allungamento percentuale a rottura.

6.1.1.3 Normativa di riferimento

- UNI EN ISO 6892-1:2020 "Materiali metallici - Prova di trazione - Parte 1: Metodo di prova a temperatura ambiente".

Strumentazione e attrezzatura

- Smerigliatrice o cesoia pneumatica,
- calibro,
- metro,
- fotocamera digitale.

Presentazione dei risultati

Il resoconto di prova deve includere:

- nome dell'operatore;
- data e ora dell'estrazione;
- 6.1.1.4 identificazione inequivocabile della posizione di estrazione (su piante e/o prospetti dell'elemento);
- caratteristiche geometriche del provino.
- documentazione fotografica
- determinazione delle grandezze sottoelencate e conseguente emissione del certificato:
 - ✓ Resistenza allo snervamento f_y
 - ✓ Resistenza a rottura f_t
 - ✓ Allungamento percentuale a rottura

6.1.2 Prove di durezza su carpenteria metallica

Per le modalità di esecuzione si rimanda a quanto indicato per gli elementi in cemento armato nel paragrafo 5.6 del presente elaborato.

Nel caso della carpenteria metallica, l'area di indagine deve preventivamente essere preparata eliminando la vernice, lucidandola con carta abrasiva.

6.1.3 Misure di spessore con ultrasuoni

La prova consente la misura dello spessore di materiali metallici per contatto diretto, basata sulla misurazione del tempo di volo di impulsi ultrasonici. Lo scopo della prova consiste nella misura dello spessore (ad esempio per la verifica dello stato di usura o corrosione) di elementi ai quali si può accedere da un solo lato, senza necessità di smontare le parti oggetto dell'indagine. Il controllo prevede l'utilizzo di un misuratore di spessori digitale a ultrasuoni.

Normativa di riferimento

- 6.1.3.1 - UNI EN ISO 16809:2019 "Prove non distruttive - Misurazione dello spessore mediante ultrasuoni".

Modalità di esecuzione

6.1.3.2

Le misure ultrasoniche saranno effettuate secondo la seguente procedura

- Pulire la superficie da indagare. In caso di pezzi verniciati o zincati è necessaria la pulitura meccanica tramite smerigliatrice o carta abrasiva.
- Tarare lo strumento su un blocco campione di caratteristiche analoghe al materiale oggetto dell'indagine.
- Posizionare la sonda sull'elemento da misurare interponendo un sottile velo di olio o gel accoppiante per ultrasuoni tra la sonda e la superficie di contatto. Leggere sul display e registrare il valore rilevato.

- 6.1.3.3 L'operazione va diretta da personale qualificato e certificato, è raccomandato un tecnico certificato secondo la UNI EN ISO 9712 di almeno livello 2 per il metodo ultrasonoro.

Strumentazione e attrezzatura

- Misuratore di spessore a ultrasuoni,
- sonde,
- gel accoppiante,
- blocchi campione di taratura,
- 6.1.3.4 calibro.

La scelta del tipo di sonda è fondamentale e dipende dalle caratteristiche del pezzo e dal tipo di tecnica applicata. Utilizzando sonde piane e la tecnica a eco multiplo è possibile eseguire misure anche su superfici verniciate rilevando il solo spessore dello strato di metallo.

Presentazione dei risultati

Il resoconto di prova deve includere:



ISTRUZIONE TECNICA
PPR1 – REALIZZAZIONE PROGETTUALE
PROCEDURE DI ESECUZIONE E MODALITA' DI
RESTITUZIONE DI INDAGINI CONOSCITIVE

Rif: PO-PPR1-PNT-005
Rev: 1
Data:
Pagina 99 di 137

- nome dell'operatore;
- data e ora dell'estrazione;
- identificazione inequivocabile delle posizioni di misura su piante e/o prospetti;
- caratteristiche tecniche principali della strumentazione utilizzata;
- velocità specifica degli ultrasuoni nel materiale (V);
- tempo impiegato dall'impulso (andata e ritorno) ad attraversare il materiale (t);
- valori di spessore rilevati (H).

6.1.4 Verifica della coppia di serraggio dei bulloni

Per un corretto funzionamento, i bulloni non devono essere poco serrati e quindi inefficaci o serrati eccessivamente al fine di evitare che un eccessivo serraggio causi lo snervamento o la possibile rottura della vite. Il controllo del loro serraggio, mediante una chiave dinamometrica, consente di verificare l'efficienza della giunzione.

Normativa di riferimento

- DM 17/01/2018: "Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni»

Modalità di esecuzione

6.1.4.1

I bulloni saranno controllati con la seguente procedura.

6.1.4.2

- Marcare dado e bullone con un pennarello per identificare la loro posizione relativa.
- allentare il dado con una rotazione almeno pari a 60° oppure per i bulloni ad alta resistenza utilizzare il metodo incrementale;
- applicare la coppia prescritta e riserrare il dado controllando che la coppia prescritta riporti il dado nella posizione originale.

Deve essere utilizzata una chiave dinamometrica con certificato di taratura. Se in un giunto anche un solo bullone non risponde alle prescrizioni circa il serraggio, tutti i bulloni del giunto devono essere controllati.

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

6.1.4.3

Strumentazione e attrezzatura

- Chiave dinamometrica

6.1.4.4 eventuale moltiplicatore di coppia.

Presentazione dei risultati

Il resoconto di prova deve includere:

- nome dell'operatore;
- data e ora dell'esecuzione della prova;
- caratteristiche tecniche principali della strumentazione utilizzata;
- identificazione su piante e/o prospetti dei bulloni controllati e di quelli non rispondenti alle prescrizioni di serraggio.

6.1.5 Video-endoscopie e controlli visivi remotizzati

La videoendoscopia è un esame visivo remoto che viene eseguito quando l'esame diretto non risulta possibile per problemi di accessibilità.

Per l'esame visivo remoto si utilizzano strumenti ausiliari quali endoscopi e videoendoscopi a fibre ottiche, abbinati a macchine fotografiche e ad altri strumenti adeguati.

Nel videoendoscopio l'immagine è trasmessa dalla telecamera al sistema di visione mediante dei cavi che trasportano segnali elettrici.

Strumentazione e attrezzatura

- Martello perforatore combinato con attacco tipo SDS Plus ed energia di impatto non superiore a 3.6 J, con punte tipo SDS plus per cls. di diametro 8, 10, 20, 27 mm
- 6.1.5.1 lampada da ispezione a batteria, diametro 4 mm;
- compressore elettrico portatile senza serbatoio;
- fotocamera digitale impermeabile con obiettivo di diametro 20 mm;
- videoendoscopio HD (almeno 1200 x 720 pixel), con sonda di diametro 6 - 10 mm.

Modalità di esecuzione

6.1.5.2 Operativamente le prove vengono eseguite con la seguente procedura:

1. esecuzione di un foro nella carpenteria metallica ed eventuale pulitura;
2. pulitura del foro con aria compressa, se necessario;
3. esecuzione dell'ispezione visiva mediante videoendoscopio, con registrazione del filmato e/o dei fotogrammi più significativi; in alternativa, esecuzione dell'ispezione visiva mediante fotocamera digitale in modalità macro ed illuminando il foro con la lampada di ispezione.

6.1.5.3

Presentazione dei risultati

Il resoconto di prova deve includere:

- Ubicazione della prova su piante e profili longitudinali con indicazioni geometriche rispetto a punti fissi dell'opera;
- giudizio dell'operatore sui risultati dell'ispezione in termini di stato di conservazione;
- documentazione fotografica d'insieme della videoendoscopia e di dettaglio dei fili ispezionati/raggiunti.

6.2 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 tecnica di indagine è rimandata al piano di indagine corrispondente.

- Il personale addetto a tali controlli non distruttivi deve essere certificato secondo le UNI EN ISO 9712.

6.2.1 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.

Normativa di riferimento

- DM 17/01/2018: "Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni"
- UNI EN ISO 9712 - 2012: "Prove non distruttive - Qualificazione e certificazione del personale addetto alle prove non distruttive"
- UNI EN ISO 5817 - 2014: "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"

Modalità di esecuzione

Pulire la superficie da residui, che possano sminuire il risultato del controllo, con spazzola metallica, solventi o smerigliatrice. 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. Eseguire il controllo su tutte le superfici accessibili del giunto saldato con marcatura di tutte le zone che presentano dei difetti. Valutare l'accettabilità del difetto in base ai limiti indicati nelle tabelle presenti nella norma UNI EN ISO 5817. Procedere eseguendo le foto dei difetti riscontrati sull'elemento ispezionato.

L'esame visivo può essere diretto o remotizzato attraverso telecamere o droni. Può talvolta essere agevolato o integrato, oltre che da lampade, da strumenti quali teleobiettivi e endoscopi. L'esecuzione e l'interpretazione dei risultati deve essere effettuata da personale qualificato e certificato.

Strumentazione e attrezzatura

- Calibro da saldatura,
- calibro a corsoio,
- lenti di ingrandimento,
- 6.2.1.3 — lampada portatile,
- spazzola metallica,
- smerigliatrice,
- prodotti per la pulizia della superficie.

Presentazione dei risultati

- Il resoconto di prova deve includere:
- 6.2.1.4 — 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;
 - livelli di qualità/accettabilità secondo le UNI EN ISO 5817;
 - caratteristiche tecniche principali della strumentazione utilizzata;
 - risultati dell'ispezione con riferimento ai criteri di accettabilità (esaustiva documentazione fotografica dei difetti riscontrati sull'elemento ispezionato).

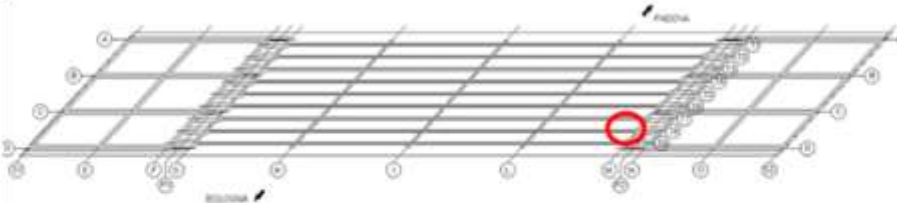
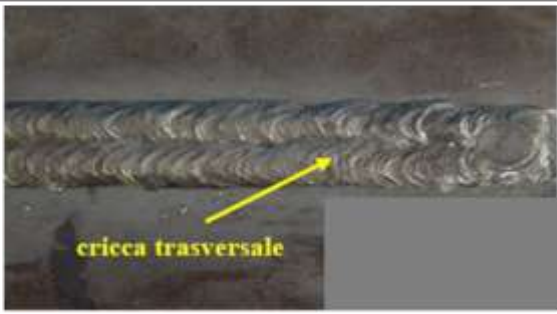
Indagini sulle saldature esame visivo	
 <p style="text-align: center; font-style: italic;">Stralcio pianta impalcato dell'opera – localizzazione indagine (red circle)</p>	
Informazioni richieste –nome dell'operatore; –data e ora dell'esecuzione della prova; –identificazione del componente ispezionato su piante e/o prospetti; –materiale del componente analizzato; –spessore del materiale; – –caratteristiche tecniche principali della strumentazione utilizzata;	Giudizio Operatore livelli di qualità/accettabilità secondo le UNI EN ISO 5817 e giudizio motivato operatore
Documentazione fotografica	
	

Figura 51 – Esempio scheda di restituzione – Indagini sulle saldature con metodo visivo

6.2.2 Controllo delle saldature con liquidi penetranti (PT)

L'esame con liquidi penetranti consente di rilevare difettosità superficiali non rilevabili 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 e pertanto è particolarmente versatile per l'esame di aree difficilmente raggiungibili.

Normativa di riferimento

- 6.2.2.1
 - DM 17/01/2018: "Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni"
 - UNI EN ISO 9712 - 2012: "Prove non distruttive - Qualificazione e certificazione del personale addetto alle prove non distruttive"
 - UNI EN ISO 3452-1 - 2013: "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"

6.2.2.2

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 "come saldato" altrimenti va preparata mediante sabbiatura o solventi o detergenti appositi.

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. Attendere 10-30' e rimuovere il liquido penetrante dalla superficie utilizzando un'idropulitrice ad acqua o manualmente. 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. 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. Procedere annotando la posizione e la dimensione degli eventuali difetti rilevati ed effettuare una foto per ogni difetto.

6.2.2.3

L'esecuzione e l'interpretazione dei risultati deve essere effettuata da personale qualificato e certificato.

Strumentazione e attrezzatura

- Liquido penetrante,

- rivelatore,
- sgrassante / solvente,
- spazzola metallica,
- panni,
- smerigliatrice,
- lampada portatile
- lenti di ingrandimento

Presentazione dei risultati

Il resoconto di prova deve includere:

- nome dell'operatore;
- 6.2.2.4 — 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...)
- risultati dell'ispezione con riferimento ai criteri di accettabilità in base alle indicazioni riscontrate nella UNI EN ISO 23277 (con documentazione fotografica dei difetti riscontrati sull'elemento ispezionato) e giudizio motivato dell'operatore.

Un esempio di restituzione è riportato di seguito.

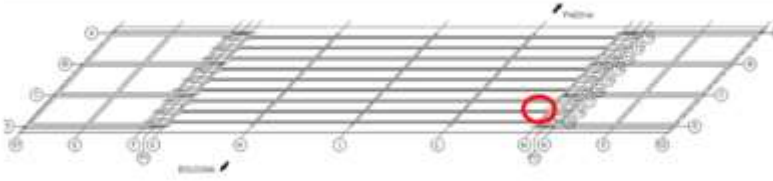



Indagini sulle saldature con liquidi penetranti							
 <p style="font-size: small; text-align: center;">Stralcio pianta impalcato dell'opera – localizzazione indagine (red circle)</p>							
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr style="background-color: #f2f2f2;"> <th style="text-align: center; padding: 2px;">Commenti</th> <th style="text-align: center; padding: 2px;">Giudizio Operatore</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="padding: 5px; vertical-align: top;"> -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="width: 50%;"></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: center; 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 52 – Esempio scheda di restituzione – Indagini sulle saldature con liquidi penetranti

6.2.3 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 subsuperficiali 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 sottili strati di vernice, previo accertamento del livello di sensibilità d'esame. Generalmente è necessario disporre di alimentazione elettrica anche se in casi estremi si può ricorrere all'impiego di magneti permanenti..

6.2.3.1 Normativa di riferimento

DM 17/01/2018: "Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni"

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"

6.2.3.2 UNI EN ISO 23278 - 2015: "Controllo non distruttivo delle saldature - Controllo con particelle magnetiche - Livelli di accettabilità"

Modalità di esecuzione

6.2.3.3 Preparare, se necessario, la superficie per mezzo di spazzolatura meccanica al fine di asportare gli ossidi e la vernice distaccata; spruzzare sul pezzo da controllare la lacca bianca di contrasto. Magnetizzare la superficie con il giogo elettromagnetico seguendo le indicazioni della norma UNI EN ISO 17638. Verificare il campo magnetico e le direzioni di magnetizzazione con una piastrina Asme ottagonale contenente dei difetti campione. Applicare sul pezzo la polvere magnetica. Ripetere l'operazione per le opportune direzioni di magnetizzazione. Ispezionare e valutare le indicazioni, se rilevate, confrontandole con le norme di riferimento e i criteri di accettabilità del difetto rilevato. Se necessario smagnetizzare il pezzo. Procedere effettuando le foto dei difetti riscontrati sull'elemento ispezionato.

L'esecuzione e l'interpretazione dei risultati deve essere effettuata da personale qualificato e certificato.

Strumentazione e attrezzatura

- Giogo elettromagnetico,
- lacca di contrasto,

- piastrina di verifica Asme
- sgrassante / solvente,
- polveri magnetiche
- spazzola metallica,
- smerigliatrice,
- lampada portatile
- lenti di ingrandimento

Presentazione dei risultati

Il resoconto di prova deve includere:

- 6.2.3.4
- nome dell'operatore;
 - data e ora della prova;
 - identificazione del componente ispezionato su piante e profili dell'opera;
 - materiale del componente;
 - tipo di giunzione;
 - spessore del materiale;
 - livelli di accettabilità;
 - apparecchiatura utilizzata per la magnetizzazione;
 - prodotti utilizzati nel controllo (lacca di contrasto, polveri magnetiche ...)
 - risultati dell'ispezione con riferimento ai criteri di accettabilità (con documentazione fotografica dei difetti riscontrati sull'elemento ispezionato).

Per il formato di restituzione si faccia riferimento alla scheda riportata nel paragrafo precedente.

6.2.4 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 superficiali
- difetti interni
- misurare lo spessore dei materiali
- misurare la distanza e la dimensione delle difettosità.

Gli ultrasuoni sono onde acustiche con frequenze superiori alla soglia dell'udito (0,5 - 25 MHz). L'impulso ultrasonoro viene trasmesso nel materiale da un apposito trasduttore, detto comunemente sonda. La sonda ad ultrasuoni contiene un cristallo piezoelettrico in grado di trasformare un impulso elettrico in una vibrazione meccanica che genera onde sonore nel componente da controllare. L'eventuale eco riflesso viene di nuovo captato dalla sonda, trasformato da vibrazione meccanica in impulso elettrico, e, attraverso un cavo di collegamento, riportato ad un apparecchio che ne amplifica il segnale e lo rende visibile su uno schermo. Il segnale di partenza degli ultrasuoni ("eco di partenza") e quello riflesso dalla superficie opposta a quella d'entrata ("eco di fondo") sono visualizzati sullo schermo con dei picchi la cui distanza risulta proporzionale al tempo che gli ultrasuoni impiegano a percorrere il percorso tra la sonda e la superficie riflettente all'interno del materiale.

Se durante tale percorso il fascio ultrasonoro incontra delle discontinuità sarà riflesso, assorbito, deviato o diffratto secondo le leggi comuni ai fenomeni di propagazione delle onde. Sullo schermo, tra i due precedenti picchi (eco di partenza ed eco di fondo), ne compariranno altri che rappresentano delle indicazioni relative al tipo di discontinuità incontrate.

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.

6.2.4.1 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.

Normativa di riferimento

- DM 17/01/2018: "Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni"
- 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"

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.

Preparare, se necessario, la superficie per mezzo di spazzolatura meccanica al fine di asportare gli ossidi e la vernice distaccata. 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, ecc.). 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 segnalato nel rapporto di prova. La sonda deve essere spostata sulla superficie di controllo con una sovrapposizione fra una passata e l'altra non inferiore al 50% della larghezza della sonda.

L'esecuzione e l'interpretazione dei risultati deve essere effettuata da personale qualificato e certificato.

Strumentazione e attrezzatura

- 6.2.4.3
 - Rilevatore di difetti a ultrasuoni,
 - trasduttori,
 - gel accoppiante
 - sgrassante / solvente,
 - polveri magnetiche
 - spazzola metallica,
 - smerigliatrice,
 - blocchi campione previsti dalla normativa
- 6.2.4.4

Presentazione dei risultati

Il resoconto di prova deve includere:

- nome dell'operatore;
- data e ora della prova;
- identificazione del componente ispezionato;
- materiale del componente;
- tipo di giunzione;
- spessore del materiale;
- livelli di accettabilità;
- apparecchiatura utilizzata per la magnetizzazione;
- prodotti utilizzati nel controllo (gel di accoppiamento, ...)
- risultati dell'ispezione con riferimento ai criteri di accettabilità (con documentazione fotografica dei difetti riscontrati sull'elemento ispezionato).

Per il formato di restituzione si faccia riferimento alla scheda riportata nel paragrafo precedente.

7 Indagini per strutture in cemento armato precompresso

7.1 Rilievo del tracciato e della sezione dei cavi

7.1.1 Oggetto

La presente procedura ha come oggetto la definizione delle modalità di esecuzione dei rilievi per individuare il tracciato dei cavi di precompressione sulle travi e determinare il numero e il diametro dei trefoli costituenti i cavi stessi.

Il rilievo dell'armatura di precompressione ha generalmente come oggetto l'individuazione delle seguenti grandezze:

- tracciato dei cavi di precompressione
- definizione del numero di trefoli / fili presenti nei singoli cavi
- determinazione della sezione dei trefoli / fili.

In alcuni casi il rilievo può essere limitato all'individuazione puntuale del cavo, finalizzata ad ulteriori indagini (sondaggi endoscopici, tomografie, ecc.).

7.1.2 Normativa di riferimento

- ASTM D 6432-99 Standard guide for using the surface ground penetrating radar method for subsurface investigation.

7.1.3 Descrizione del metodo

Il rilievo del *tracciato dei cavi di precompressione* viene normalmente effettuato operando sulle superfici della trave ubicate lungo il probabile passaggio dei cavi, ed utilizzando:

- misure radar (GPR – *Ground Penetrating Radar*) o XSCAN HILTI, utilizzabili per individuare la posizione sia dei cavi superficiali che di quelli profondi, fino ad una distanza massima di solito compresa tra 50 e 90 cm in funzione dalla frequenza dell'antenna utilizzata.

Per il *rilievo del numero e del diametro dei trefoli/fili* presenti nei cavi si procede abitualmente integrando le indagini con saggi conoscitivi, operando preferibilmente in corrispondenza degli ancoraggi sulle testate delle travi o alternativamente sull'intradosso dell'ala inferiore della trave, in maniera tale da consentire la messa a nudo dell'armatura, il conteggio degli elementi e la misura diretta con calibro.

7.1.4 Strumentazione e attrezzatura

La strumentazione per effettuare i rilievi è generalmente costituita da:

- Georadar con antenna a bassa frequenza (<1600 MHz) per indagare superfici profonde ed ad alta frequenza (>1600 MHz) per indagare spessori più superficiali;
- Martello perforatore combinato, con attacco SDS Plus ed energia di impatto non superiore a 3.6 J, con scalpelli piatti e a punta SDS plus
- Calibro a corsoio;
- Software di post-elaborazione, che permettono la restituzione in formato .dxf.

7.1.5 Modalità di esecuzione

Preliminarmente all'esecuzione dell'indagine dovrà essere indagato un breve tratto campione, il più possibile libero da anomalie di permittività, sul quale dovranno essere tarate le apparecchiature e saranno provate diverse configurazioni di impostazione (velocità di passaggio, distanza sorgente-struttura, frequenza di campionamento, offset delle antenne, ecc.) per determinare la tecnica ottimale in relazione agli obiettivi dell'indagine. 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).

7.1.5.1 Rilievo del tracciato dei cavi di precompressione

Il rilievo del tracciato dei cavi di precompressione consiste nel rilevare l'ubicazione dei cavi in corrispondenza di più sezioni trasversali, misurandone la posizione verticale sull'anima e la posizione orizzontale sull'intradosso del bulbo inferiore.

Operativamente, i rilievi vengono eseguiti con la seguente procedura:

1. individuazione della zona dell'elemento in c.a.p. interessata dal rilievo, ubicata lungo il probabile passaggio dei cavi sia sull'anima che sulle ali, ed estesa generalmente a metà della lunghezza dell'elemento considerando le simmetrie strutturali;
2. suddivisione della zona di indagine in una serie di sezioni trasversali di misura, disposte ad un interasse costante, indicato nei piani di indagine;
3. in corrispondenza di ciascuna delle sezioni di misura, esecuzione dei rilievi sia sull'anima che sul bulbo inferiore dell'elemento, come specificato nel *Piano di Indagine*; nel caso di utilizzo del georadar è possibile procedere sia con scansioni bidimensionali, che con scansioni lineari verticali per tutta l'altezza dell'anima e orizzontali trasversali per tutta la larghezza dell'ala inferiore;
4. per ogni sezione di misura, evidenziazione con marcatore dell'ubicazione dei cavi rilevati sulla superficie della trave, e rilievo metrico della loro posizione mediante coordinate X (distanza orizzontale longitudinale dall'appoggio più vicino), Y (distanza verticale dall'intradosso dell'ala inferiore) e Z (distanza orizzontale trasversale dall'asse longitudinale della trave).

5. Verifica visiva puntuale dell'effettiva presenza dei cavi lungo il tracciato individuato, mediante esecuzione di prospezioni endoscopiche a campione.

Rilievo dei trefoli / fili presenti nei cavi di precompressione

Il rilievo del numero e del diametro dei trefoli / fili presenti nei cavi dovrà essere preferibilmente eseguito in corrispondenza degli ancoraggi ubicati sulle testate delle travi, previa rimozione del calcestruzzo di protezione. Qualora non fosse possibile accedere alle testate delle travi, il rilievo potrà essere effettuato sull'intradosso del bulbo inferiore della trave, in prossimità della sezione di mezzeria, procedendo dapprima alla demolizione del copriferro fino ad isolare la guaina metallica del cavo per una lunghezza di almeno 15 cm, e quindi all'apertura della guaina ed alla rimozione della boiaccia in maniera tale da liberare i trefoli e consentirne il conteggio. La misura del diametro dei trefoli / fili sarà effettuata mediante un calibro a corsoio.

Al termine delle operazioni si procederà al ripristino dei saggi eseguiti mediante protezione dell'armatura di precompressione esposta con vernice passivante, ripristino dell'iniezione asportata con resina epossidica, richiusura dei lembi della guaina metallica e ricostruzione del copriferro con malta fibrorinforzata a ritiro controllato.



Figura 53 - Saggio per il rilievo del numero e del diametro dei trefoli

7.1.6 Presentazione dei risultati

Per ogni trave sottoposta al rilievo dei cavi di precompressione dovrà essere prodotta una scheda contenente:

- identificazione dell'elemento mediante codice alfanumerico e ubicazione in pianta della zona di indagine,
- profilo longitudinale dell'elemento in c.a.p. investigato contenente l'ubicazione delle sezioni di misura con sovrapposto il tracciato dei cavi o restituzione in formato .xdx dell'elemento e dei cavi,
- tabella con le coordinate X, Y Z dei cavi rispetto ad un sistema di riferimento esplicitamente indicato;
- sezioni trasversali della trave con ubicazione dei cavi individuati (facoltativo);
- indicazione sul numero e sul diametro (se eseguiti saggi) dei trefoli / fili alloggiati in ciascun cavo,

- giudizio motivato dell'operatore rispetto la rispondenza con gli elaborati di progetto;
- radargrammi allegati al report della prova;
- documentazione fotografica della prova.

Un esempio del formato di restituzione richiesto nei punti sopra elencati è riportato di seguito. Il codice di identificazione dei campioni dovrà corrispondere all'ubicazione delle prove in pianta. L'ubicazione di ogni prova eseguita dovrà essere indicata mediante il codice di identificazione campioni su piante/profilati rappresentanti gli elementi strutturali indagati. Un esempio è riportato di seguito.

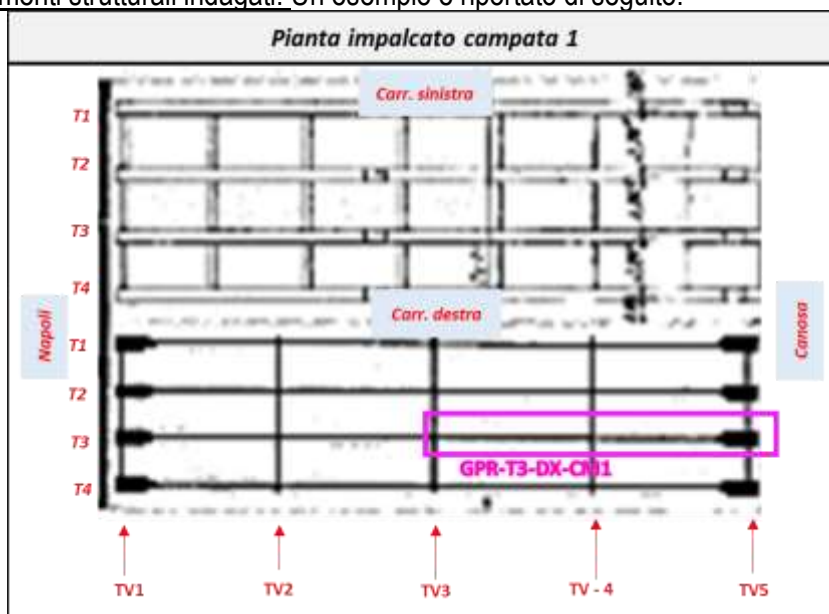


Figura 54 – Ubicazione prove in pianta e documentazione fotografica – Prove Georadar

La restituzione dell'andamento del tracciato dei cavi può avvenire in due modalità, a seconda che l'indagine sia richiesta per tutta l'estensione della trave o per una porzione limitata.

- **Indagine eseguita su tutta la lunghezza della trave:** si riporta il profilo longitudinale dell'elemento in c.a.p. investigato, contenente l'ubicazione delle sezioni di misura con sovrapposto il tracciato dei cavi o restituzione in formato .xdf dell'elemento e dei cavi; le coordinate X, Y Z dei cavi rispetto al sistema di coordinate devono essere inserite nella tabella mostrata di seguito.

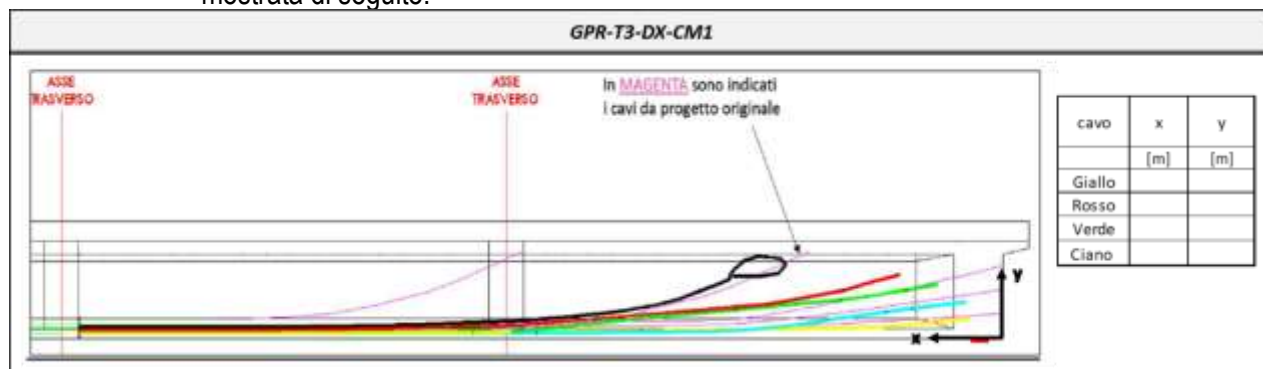


Figura 55 – Profilo longitudinale trave con sovrapposto l'andamento dei cavi – Prove Georadar

- **Indagine eseguita su una porzione della trave:** si riporta il profilo longitudinale dell'elemento in c.a.p. investigato, con sovrapposta la griglia acquisita con l'indagine e il tracciato dei cavi registrato; l'ubicazione della griglia dovrà essere univocamente determinata rispetto l'appoggio più vicino e rispetto l'intradosso dell'elemento; le coordinate X, Y Z dei cavi rispetto al sistema di coordinate devono essere esplicitate in una tabella riepilogativa.

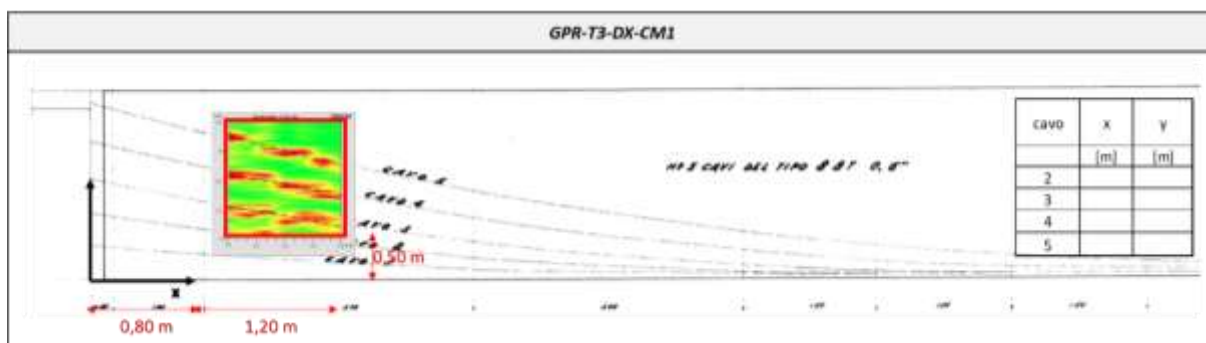


Figura 56 – Profilo longitudinale trave con sovrapposto l'andamento dei cavi – Prove Georadar

Nel caso in cui nel piano di indagine siano richiesti saggi visivi, per tarare l'efficacia della prova georadar, si dovrà indicare il punto di localizzazione sull'elemento, come riportato nel seguito. E' richiesta la fotografia del saggio eseguito e un commento dell'operatore circa la corrispondenza tra quanto indicato dal Georadar e quanto mostrato dal saggio diretto.

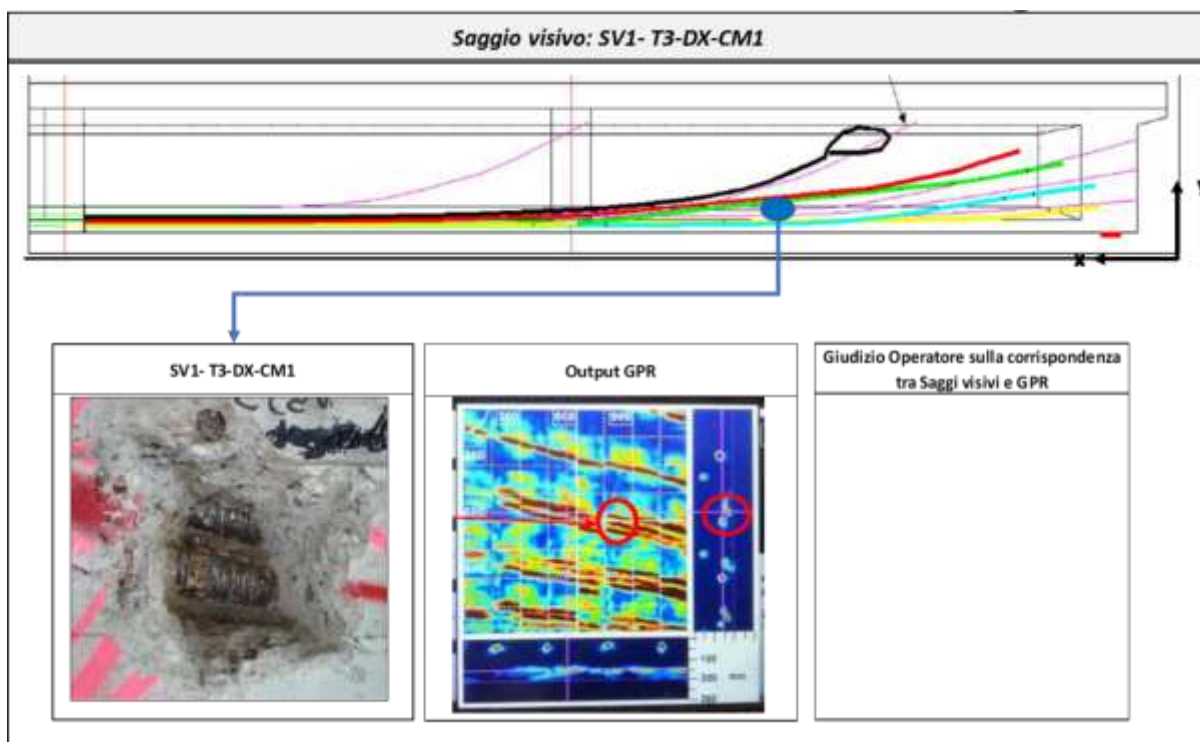


Figura 57 – Profilo longitudinale trave con sovrapposto l'andamento dei cavi – Prove Georadar

7.2 Misure di mappatura del potenziale

Si rimanda a quanto indicato per gli elementi in cemento armato nel paragrafo 5.9 del presente elaborato.

7.3 Tomografia Ultrasonica

7.3.1 Oggetto

La presente procedura ha come oggetto la definizione delle modalità di esecuzione della tecnica di indagine tomografica ultrasonica, che permette di stimare l'integrità del materiale indagato. Nello specifico delle strutture in c.a.p, localizza vuoti o microfessure delle malte di iniezione dei cavi e presenza di cavità o delaminazione nel cls.

7.3.2 Descrizione del metodo

I principi fisici della prova ultrasonora sono gli stessi della prova sonica: un impulso viene fatto propagare all'interno di un materiale e ne viene misurata la velocità di attraversamento in base al "tempo di volo".

Il tomografo emette brevi impulsi di onde elastiche che si propagano nel mezzo indagato e che vengono riflesse dalle interfacce presenti all'interno, caratterizzate da impedenze acustiche differenti. In questo modo è possibile identificare la presenza di vuoti nel materiale. Il principio fisico è dunque lo stesso della prova sonica, mentre sono diverse le frequenze utilizzate: gli impulsi ultrasonori non sono udibili ed hanno frequenze superiori a 20000 Hz.

Nella tecnica tomografica ad ultrasuoni vengono utilizzate sorgenti di energia, che generano campi d'onda direzionali. Grazie alla presenza di una serie di otto sensori equi spaziatissimi di emissione e ricezione degli impulsi, lo strumento è in grado di produrre una sezione 2D del manufatto indagato. Le risposte ai segnali inviati vengono prevalentemente determinate dalle caratteristiche fisiche delle superfici riflettenti che possono essere presenti all'interno del mezzo, coinvolgendo proprietà e parametri caratteristici delle superfici di discontinuità. La tomografia con campi d'onda è basata sull'analisi e la ricostruzione dei percorsi dei fronti d'onda all'interno dei volumi indagati. In particolare, l'analisi tomografica viene condotta mantenendo un ordine predeterminato tra le posizioni delle sonde trasmettenti e riceventi sulla superficie del corpo da indagare.

L'intensità delle onde riflesse dalle varie disomogeneità presenti nel mezzo, dipende dal loro contrasto rispetto al materiale di base in termini di impedenza acustica. Alle interfacce tra diversi materiali (calcestruzzo, aria, acciaio...) una parte dell'onda incidente sarà riflessa e una parte rifratta. Ad esempio, l'aria presente nei vuoti ha un'impedenza acustica praticamente nulla e gli impulsi emessi vengono riflessi quasi interamente; in questo modo è possibile individuare i vuoti nel calcestruzzo e nelle guaine contenenti i cavi. Riflessioni più deboli si ottengono invece in corrispondenza di barre di armatura, la cui impedenza acustica è circa quattro volte quella del calcestruzzo.

L'output fornito dalla prova è un grafico d'onda dell'intensità di riflessione su scala cromatica; quest'ultima non ha un'interpretazione in termini assoluti, ma in termini relativi. L'operatore, pertanto, identificherà delle aree di attenzione, cui corrisponde un'intensità di riflessione più elevate rispetto le altre e su cui eseguirà saggi diretti o prove endoscopiche, per sincerarsi dell'entità del difetto (microfessure nella malta o vuoti dovuti a mancanza di iniezione).

7.3.3 Strumentazione e attrezzatura

La strumentazione per eseguire le indagini tomografiche ultrasoniche è generalmente costituita da:

- Georadar con antenna a bassa frequenza o alta frequenza per individuare la posizione dei cavi su cui eseguire la tomografia ultrasonica;
- Centralina di acquisizione dei dati;
- Sistema sorgente e ricevente di onde, equipaggiati con sensori piezoelettrici;
- Unità di visualizzazione, integrata o remota;
- Martello perforatore combinato, con attacco SDS Plus ed energia di impatto non superiore a 3.6 J, con scalpelli piatti e a punta SDS plus
- martello, scalpello, spazzola metallica
- fotocamera digitale.

7.3.4 Modalità di esecuzione

1. Identificazione della postazione con codice alfanumerico;
2. Esecuzione indagine georadar, in modo da esser certi della presenza del cavo, identificandone il tracciato. Laddove l'indagine tomografica sia posizionata su un presunto ammaloramento (e.g. lesioni lungo i cavi), si richiede preliminarmente la battitura con martello, al fine di valutarne la zona di ammaloramento.
3. Identificazione della postazione di indagine in corrispondenza del cavo: l'estensione ed il passo sarà indicato nel Piano di Indagine, ma tipicamente l'estensione è di circa 1,20 m ed il passo di indagine variabile da 0,15 m a 1,00m;
4. L'esecuzione della prova avviene posizionando lo strumento ortogonalmente all'asse del cavo, procedendo con il passo prescritto; ciò garantisce maggiore accuratezza sulla restituzione del risultato. Tale posizionamento dello strumento rispetto al cavo non è applicabile in zone di estensione molto ridotta, quali spigoli; in quest'ultimo caso il tomografo sarà posizionato parallelamente all'asse dei cavi, avendo cura di eseguire il rilievo allineato rispetto l'elemento.
5. La prova restituirà un grafico d'onda, nel quale l'ESECUTORE dovrà indicare l'area di attenzione; i.e. zone con intensità di riflessione maggiore rispetto alle altre; su di esse dovrà eseguire indagini dirette, preferibilmente saggi, per verificare l'effettiva presenza del difetto ed eventualmente la consistenza.

7.3.5 Presentazione dei risultati

Per ogni prova deve essere prodotta una scheda contenente:

- Pianta con ubicazione delle sezioni di indagate identificate da codice alfanumerico;
- profilo longitudinale dell'elemento in c.a.p. investigato contenente l'ubicazione delle sezioni di indagine, sovrapposte al tracciato dei cavi esistente;
- grafico d'onda dell'intensità di riflessione per ogni prova eseguita, con indicazione delle eventuali aree di attenzione; si chiede di esplicitare se l'acquisizione sia avvenuta in modalità B-SCAN o C-SCAN;
- documentazione fotografica e descrizione dei risultati dei rispettivi saggi visivi eseguiti in corrispondenza delle zone di attenzione;
- giudizio motivato dell'operatore riguardo l'esito della prova (e.g. malta assente, presenza microfessure, cavo integro e iniettato)

Un esempio di quanto richiesto è riportato nel seguito.

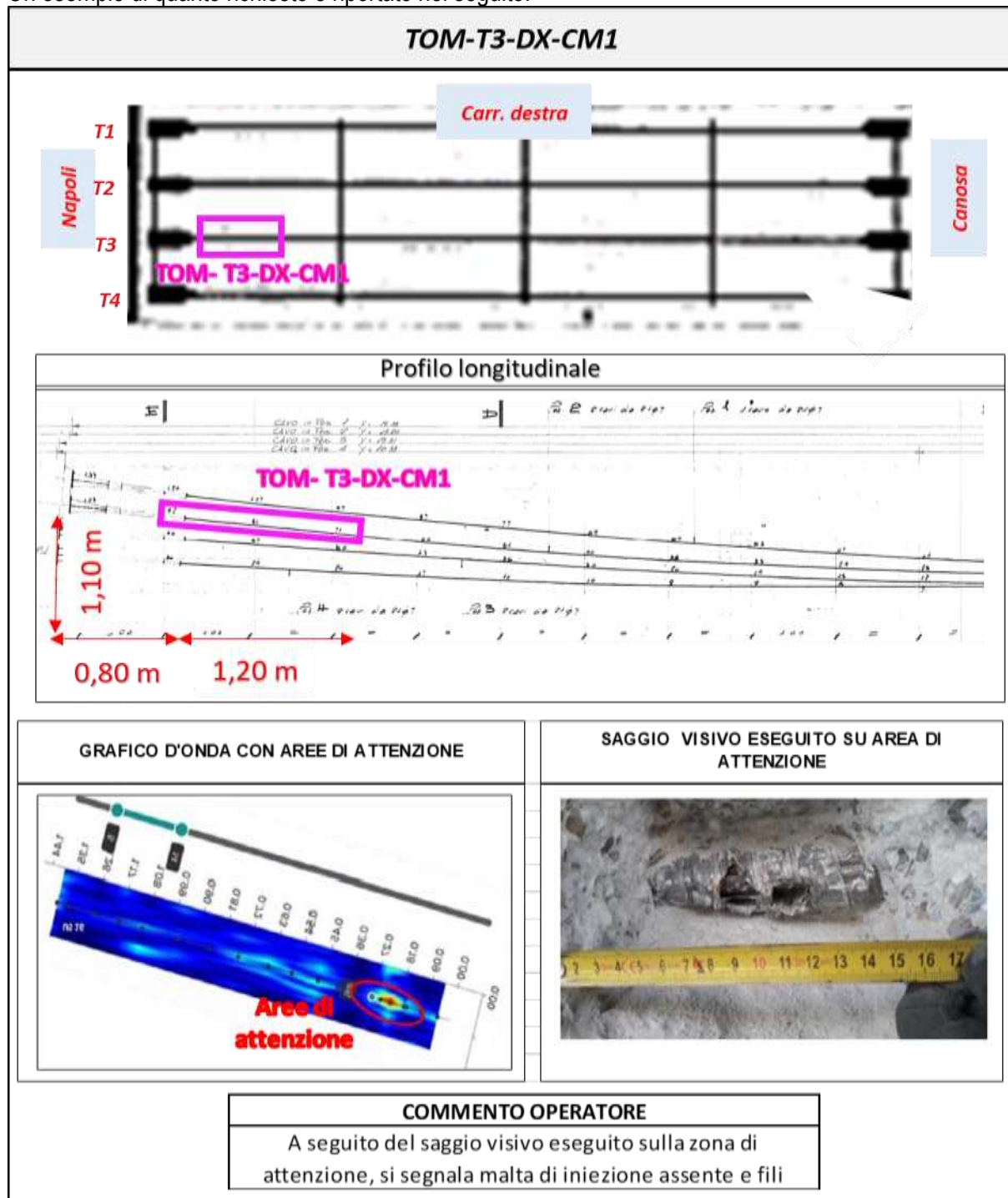


Figura 58 – Esempio scheda di restituzione – Indagini Tomografiche ultrasoniche

7.4 Ispezione endoscopica dei cavi

7.4.1 Oggetto

L'ispezione endoscopica ha come scopo la valutazione locale dello stato di conservazione dei cavi di precompressione, in termini di ossidazione della guaina e dell'armatura di precompressione, completezza e consistenza della boiacca di iniezione, presenza di umidità.

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 Descrizione del metodo

Il metodo consiste nell'eseguire un'ispezione visiva diretta e puntuale di un cavo di precompressione, mediante una sonda endoscopica (o fotocamera macro) inserita in un foro, appositamente praticato sulla superficie del calcestruzzo, per intercettare il cavo stesso.

7.4.4 Strumentazione e attrezzatura

- Martello perforatore combinato con attacco tipo SDS Plus ed energia di impatto non superiore a 3.6 J, con punte tipo SDS plus per cls. di diametro 8, 10, 20, 27 mm
- lampada da ispezione a batteria, diametro 4 mm;
- compressore elettrico portatile senza serbatoio;
- fotocamera digitale impermeabile con obiettivo di diametro 20 mm;
- videoendoscopio HD (almeno 1200 x 720 pixel), con sonda di diametro 6 - 10 mm.

7.4.5 Modalità di esecuzione

Operativamente le prove vengono eseguite con la seguente procedura:

4. Individuazione del cavo di precompressione;
5. mediante il perforatore elettrico, esecuzione del foro preliminare di diametro 10 mm sulla superficie del calcestruzzo, approfondito fino ad intercettare il cavo di precompressione; l'esecuzione del foro dovrà essere eseguita con la massima attenzione per evitare di danneggiare l'armatura di precompressione;
6. pulitura del foro con aria compressa e verifica dell'avvenuta intercettazione del cavo mediante illuminazione del foro con la lampada di ispezione o mediante video endoscopio;
7. allargamento progressivo del foro, prima con punta da 20 mm e poi con punta da 27 mm, ponendo sempre la massima attenzione per evitare di danneggiare l'armatura di precompressione;

8. apertura dei lembi della guaina utilizzando il perforatore senza percussione con punta di diametro 8 mm ed eventualmente un giravite a taglio;
9. pulitura del foro con aria compressa e verifica della visibilità dell'armatura di precompressione; qualora fosse necessario rimuovere ulteriormente la guaina e/o la boiacca procedere nuovamente come ai punti e) ed f);
10. esecuzione dell'ispezione visiva mediante videoendoscopio, con registrazione del filmato e/o dei fotogrammi più significativi; in alternativa, esecuzione dell'ispezione visiva mediante fotocamera digitale in modalità macro ed illuminando il foro con la lampada di ispezione; rilievo dello stato di conservazione del cavo in termini di: ossidazione della guaina metallica e dell'armatura di precompressione, completezza e consistenza dell'iniezione, e presenza di umidità
11. protezione dell'armatura di precompressione esposta con vernice passivante, e richiusura del foro con resina epossidica o con malta fibrorinforzata a ritiro controllato.

7.4.6 Presentazione dei risultati

Per ogni ispezione endoscopica eseguita deve essere prodotta una scheda contenente:

- Ubicazione della prova su piante e profili longitudinali con indicazioni geometriche rispetto a punti fissi dell'opera;
- Numero dei cavi raggiunti e visibili tramite la videoendoscopia;
- Nel caso di prove eseguite nelle sezioni di testata è richiesta la descrizione del sistema di ancoraggio in testata (lamierini, spirulina in acciaio, etc);
- giudizio dell'operatore sui risultati dell'ispezione in termini di:
 - ossidazione della guaina metallica;
 - completezza e consistenza della boiacca di iniezione;
 - presenza di umidità, intensità dei fenomeni ossidativi e valutazione della sezione residua dell'armatura di precompressione;
 - efficacia del sistema di ancoraggio in testata;
 - corrispondenza con gli elaborati di progetto.
- documentazione fotografica d'insieme della videoendoscopia e di dettaglio dei fili ispezionati/raggiunti.

Un esempio della scheda richiesta al laboratorio è riportato di seguito.

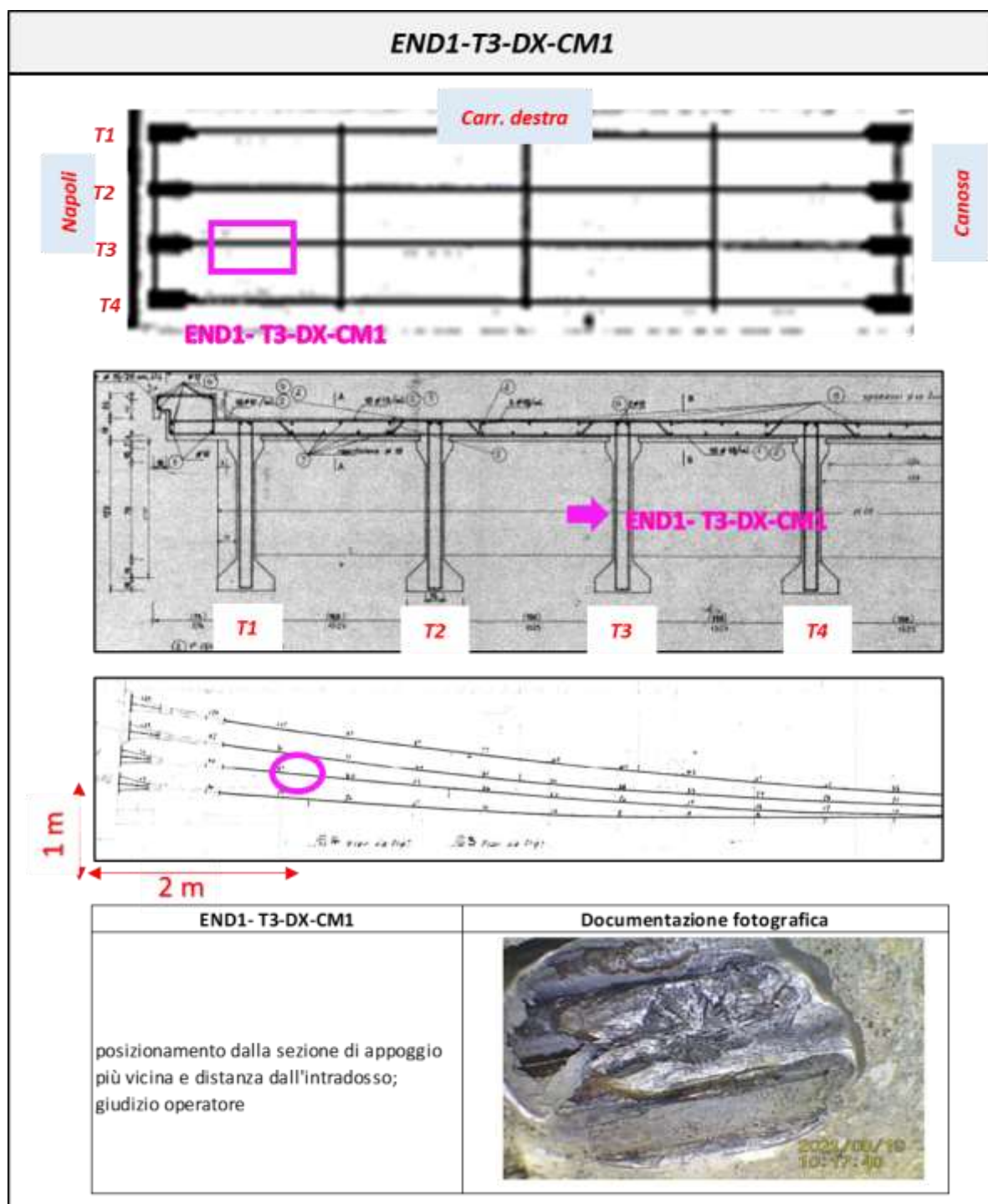


Figura 59 – Esempio scheda di restituzione – Prove endoscopiche

7.5 Saggi conoscitivi sui cavi di precompressione

7.5.1 Oggetto

La pratica distruttiva dei saggi visivi è introdotta all'interno delle campagne di indagine al fine di conoscere il diametro dei cavi e/o dei fili e di valutare direttamente lo stato di conservazione dei cavi di precompressione. I saggi visivi costituiscono l'indagine maggiormente affidabile ai fini della conoscenza dell'opera e del suo grado di difettosità. D'altra parte, essendo tecniche distruttive, invasive e puntuali; l'ubicazione, l'estensione e la quantità devono essere oculatamente ponderati in fase di indagine.

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 Descrizione del metodo

La prova consiste nell'eseguire un'ispezione visiva diretta su una porzione di dimensioni adeguate di uno o più cavi di precompressione, previa rimozione meccanica del copriferro e del materiale degradato (calcestruzzo in distacco, iniezione incoerente, ruggine, ecc.).

Per evitare danneggiamenti all'armatura di precompressione, l'esecuzione dei saggi deve essere eseguita con la massima attenzione. Parimenti, le attività di ripristino devono essere effettuate con particolare cura e materiali idonei, per evitare che l'armatura di precompressione possa essere soggetta a degrado.

7.5.4 Strumentazione e attrezzatura

- Martello perforatore combinato, con attacco tipo SDS Plus ed energia di impatto non superiore a 3.6 J, con scalpelli piatti e a punta SDS plus
- martello, scalpello, spazzola metallica
- fotocamera digitale.

7.5.5 Modalità di esecuzione

Fase 1: rimozione del copriferro

1. Individuazione del cavo di precompressione mediante tecniche georadar;
2. qualora lungo il tracciato del cavo il calcestruzzo risulti in buone condizioni di conservazione e non delaminato, procedere alla demolizione controllata del copriferro in asse cavo su una superficie approssimativamente regolare di dimensioni pari ad almeno 30 x 20 cm, fino a raggiungere la guaina in lamierino e ponendo la massima attenzione a non danneggiare il cavo
3. qualora lungo il tracciato dei cavi il calcestruzzo risulti in cattive condizioni di conservazione o delaminato, procedere alla demolizione controllata di tutta la parte risonante o in distacco che ricopre i cavi di precompressione, fino a raggiungere la guaina in lamierino e ponendo la massima attenzione a non danneggiare i cavi

Fase 2: messa a nudo dell'armatura di precompressione

4. qualora la guaina risulti ancora integra ancorché ossidata, apertura di una finestratura rettangolare di lunghezza pari ad almeno 10 cm, praticando 2 tagli trasversali ed un taglio longitudinale e ripiegando la parte tagliata sul lato longitudinale non tagliato; nel praticare i tagli è necessario porre la massima attenzione a non intaccare l'armatura di precompressione
5. qualora la boiaccia di iniezione risulti ancora presente, rimozione locale della boiaccia mediante leggera scalpellatura manuale, per mettere a nudo una piccola porzione dell'armatura di precompressione senza intaccarla
6. in presenza di cavi di precompressione danneggiati, senza più la guaina, direttamente visibili o messi a nudo in seguito alla rimozione del copriferro in distacco e/o all'esecuzione di saggi, procedere alla completa rimozione della boiaccia degradata e di ogni traccia di ruggine dall'armatura di precompressione, sia mediante battitura controllata (utilizzando come vibratore il martello demolitore) che mediante strofinatura con spazzola metallica.

Fase 3: ispezione visiva

7. documentazione fotografica ed ispezione visiva del cavo, in termini di: ossidazione della guaina metallica, completezza e consistenza della boiaccia di iniezione, presenza di umidità, intensità dei fenomeni ossidativi e valutazione della sezione residua dell'armatura di precompressione

Fase 4: ripristino

8. protezione dell'armatura di precompressione esposta con vernice passivante, ripristino dell'iniezione asportata con resina epossidica, richiusura dei lembi della guaina metallica e ricostruzione del copriferro con malta fibrorinforzata a ritiro controllato.

7.5.6 Presentazione dei risultati

Per ogni saggio conoscitivo deve essere prodotta una scheda contenente:

- Ubicazione del saggio diretto su piante e profili longitudinali con indicazioni geometriche rispetto a punti fissi dell'opera;
- Indicazione delle dimensioni della tasca eseguita;
- Numero dei cavi raggiunti con il saggio visivo;
- Misura del diametro dei fili o dei trefoli (ove richiesto);
- Nel caso dei saggi eseguiti nelle sezioni di testata è richiesta la descrizione del sistema di ancoraggio in testata (lamierini, spiralina in acciaio, etc);
- giudizio dell'operatore sui risultati dell'ispezione in termini di:
 - ossidazione della guaina metallica;
 - completezza e consistenza della boiaccia di iniezione;
 - presenza di umidità, intensità dei fenomeni ossidativi e valutazione della sezione residua dell'armatura di precompressione;
 - efficacia del sistema di ancoraggio in testata;
 - corrispondenza con gli elaborati di progetto.
- documentazione fotografica d'insieme del saggio e di dettaglio dei cavi ispezionati

Un esempio della scheda richiesta al laboratorio è riportato di seguito.


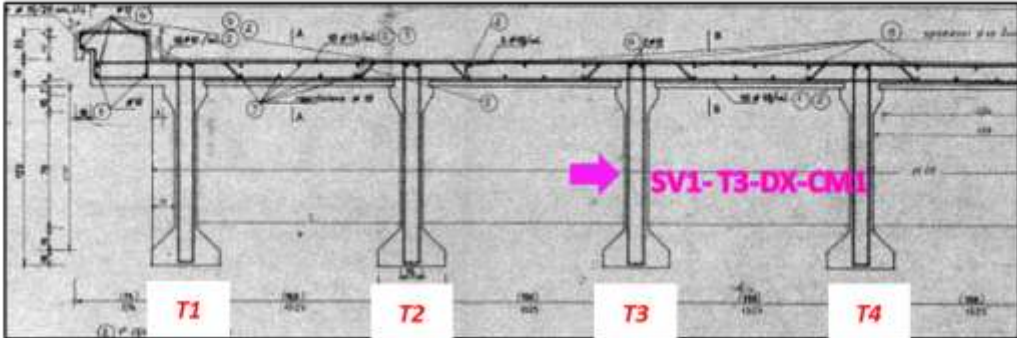
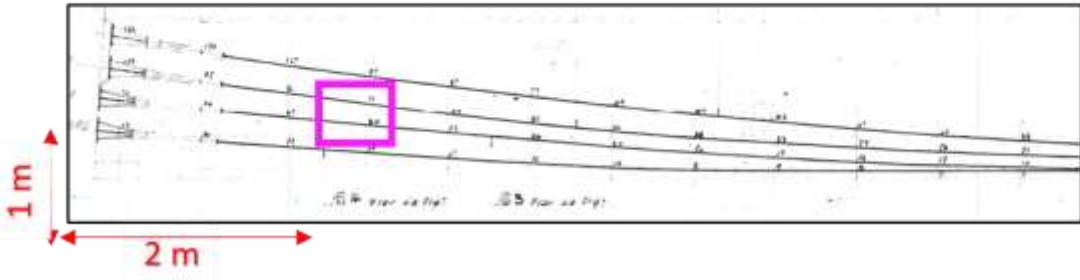

SV1-T3-DX-CM1	
	
	
	
<p>SV1- T3-DX-CM1</p> <p>Inserire dimensione tasca eseguita; Distanza del saggio dalla sezione di appoggio più vicina e distanza dall'intradosso; giudizio operatore</p>	<p>Documentazione fotografica</p> 

Figura 60 – Esempio scheda di restituzione – Saggio visivo

Laddove il saggio sia propedeutico alla taratura di un'altra tecnica di indagine (es. indagine tomografia ultrasonica o indagine georadar), si faccia riferimento alla presentazione dei risultati descritta nel corrispondente capitolo del presente documento.

7.6 Valutazione della tensione di precompressione residua di travi in c.a.p.

Il presente capitolo fa riferimento alle indicazioni per le strutture in cemento armato precompresso presenti [7] *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).

La valutazione della precompressione residua delle travi in c.a.p. può essere eseguita mediante due differenti metodologie:

- prove di detensionamento sui trefoli / fili
- prove di detensionamento sul calcestruzzo, mediante il metodo con carotaggio oppure il metodo Sectioning.

7.6.1 Prove di detensionamento sui trefoli / fili

Oggetto

7.6.1.1 La prova di detensionamento sui trefoli / fili 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 di un trefolo nel caso di precompressione a trefoli, o uno dei fili nel caso di precompressione a fili paralleli, preventivamente strumentato con un estensimetro resistivo e nel rilevare le deformazioni prodotte dal taglio stesso; 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 5 mm e resistenza 120 Ω , precablati con cavo tripolare di lunghezza 3m
- unità di condizionamento ed acquisizione per estensimetri: collegamento degli estensimetri a $\frac{1}{4}$ di ponte con terzo filo, bilanciamento automatico del ponte estensimetrico, risoluzione 24 bit, frequenza massima di campionamento pari ad almeno 100 Hz
- 7.6.1.4 mini-troncatrice elettrica, con accessori: cilindro abrasivo di grana 120, disco da taglio di tipo "heavy duty" di diametro 24 mm
- accessori per l'incollaggio degli estensimetri: garze, acetone puro, collante cianoacrilico professionale.

Modalità di esecuzione

Operativamente le prove vengono eseguite con la seguente procedura:

1. demolizione locale del copriferro e messa a nudo del cavo di precompressione per una lunghezza di almeno 30 cm
2. apertura di una finestratura rettangolare sulla guaina in lamierino metallico di lunghezza pari ad almeno 25 cm, praticando 2 tagli trasversali ed un taglio longitudinale e ripiegando la parte tagliata sul lato

- longitudinale non tagliato; nel praticare i tagli occorre fare la massima attenzione a non intaccare l'armatura di precompressione
3. rimozione locale della boiaccia di iniezione mediante leggera scalpellatura manuale, per mettere a nudo un trefolo / filo senza intaccarlo per una lunghezza di almeno 25 cm
 4. individuazione del punto di installazione dell'estensimetro sul filo/ fili del trefolo (nel seguito semplicemente filo)
 5. pulizia del filo su una lunghezza di circa 2 cm, rimuovendo ogni traccia di ossido e smerigliando la superficie fino a portarla a lucido, utilizzando una mini-smerigliatrice elettrica equipaggiata con cilindro abrasivo di grana 120
 6. sgrassatura della parte lucidata del filo, strofinandone la superficie con una garza imbevuta di acetone, mediante passate successive utilizzando sempre nuove parti pulite di garza fino a quando sulla stessa non restano più tracce sporche; N.B. la superficie sgrassata del filo non deve più essere toccata con le dita
 7. incollaggio dell'estensimetro sul filo mediante collante cianoacrilico professionale; la parte attiva dell'estensimetro (da incollare sul filo) non deve essere toccata con le dita
 8. collegamento dell'estensimetro alla centralina di acquisizione dinamica (collegamento a $\frac{1}{4}$ di ponte con terzo filo), ed attivazione dell'acquisizione con digitalizzazione pari ad almeno 50 Hz (50 campioni al secondo)
 9. dopo almeno 30 secondi dall'avvio della sequenza di acquisizione, esecuzione del taglio del filo mediante mini-smerigliatrice elettrica equipaggiata con disco da taglio tipo "Heavy duty" con diametro 24 mm; il taglio deve essere eseguito ad una distanza di almeno 30 mm dell'estensimetro operando obliquamente (a becco di flauto), 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
 10. a circa 30 secondi dalla rottura, arresto della sequenza di acquisizione; documentazione fotografica della prova
 11. protezione dell'armatura di precompressione esposta con vernice passivante, ripristino dell'iniezione asportata con resina epossidica, richiusura dei lembi della guaina metallica e ricostruzione del copriferro con malta fibrorinforzata a ritiro controllato.

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; pertanto, la prova va eseguita su non più di un filo per trefolo, e su non più di un trefolo (filo nel caso di precompressione a fili paralleli) per cavo; nella medesima sezione trasversale, la sezione di armatura di precompressione recisa non deve essere superiore al 2% della sezione totale
- 7.6.1.5 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 disco di diametro non superiore a 24 mm e ponendo la massima cura nel non intaccare i fili adiacenti.

Elaborazione delle misure

Le misure di deformazione acquisite vengono elaborate come segue:

- calcolo della deformazione media ϵ prodotta dal taglio, generalmente misurata tra 10 e 30 secondi dopo la stabilizzazione del diagramma ϵ -t in seguito alla rottura
- calcolo della tensione di precompressione agente σ (in MPa), pari al prodotto della deformazione media ϵ per il modulo elastico E dell'acciaio (210'000 MPa).

Presentazione dei risultati

Per ogni prova di detensionamento eseguita sull'acciaio deve essere prodotta una scheda contenente:

- 7.6.1.6** schema geometrico di ubicazione della prova, con individuazione della sezione trasversale della trave e del cavo strumentato
- diagramma ϵ -t misurato nel corso della prova
 - valori della deformazione ϵ media in $\mu\epsilon$ (in genere misurata tra 10 e 30 secondi dopo la stabilizzazione del diagramma ϵ -t dopo la rottura), del modulo elastico E (generalmente 210'000 MPa), e della tensione σ agente nel cavo in MPa (calcolata con la relazione $\sigma = -E \epsilon$)
 - documentazione fotografica della prova.

Un esempio del formato di restituzione della scheda è riportato di seguito.

RTA-T3-DX-CM1

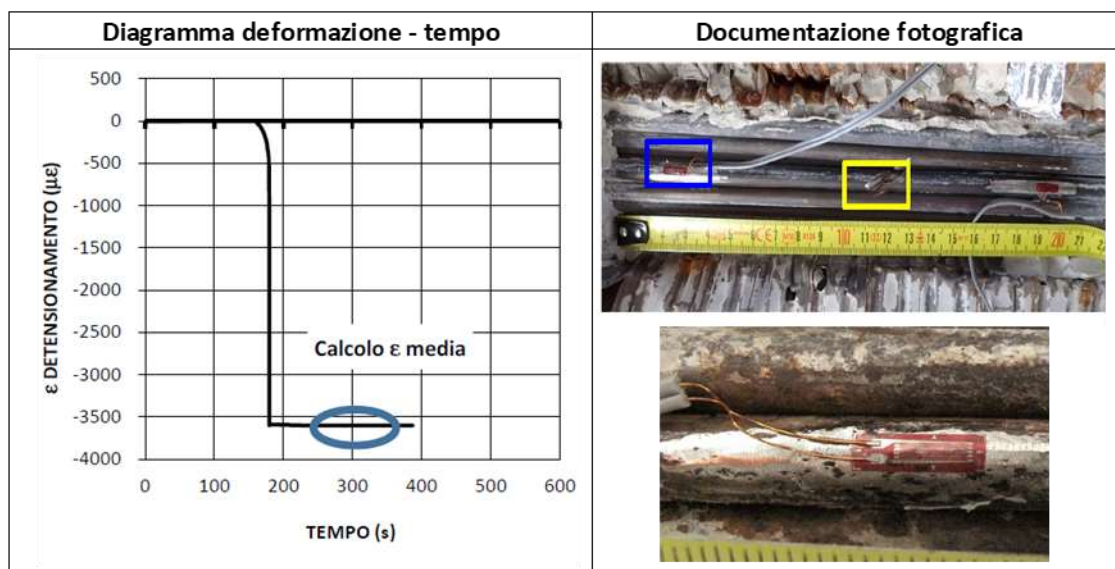
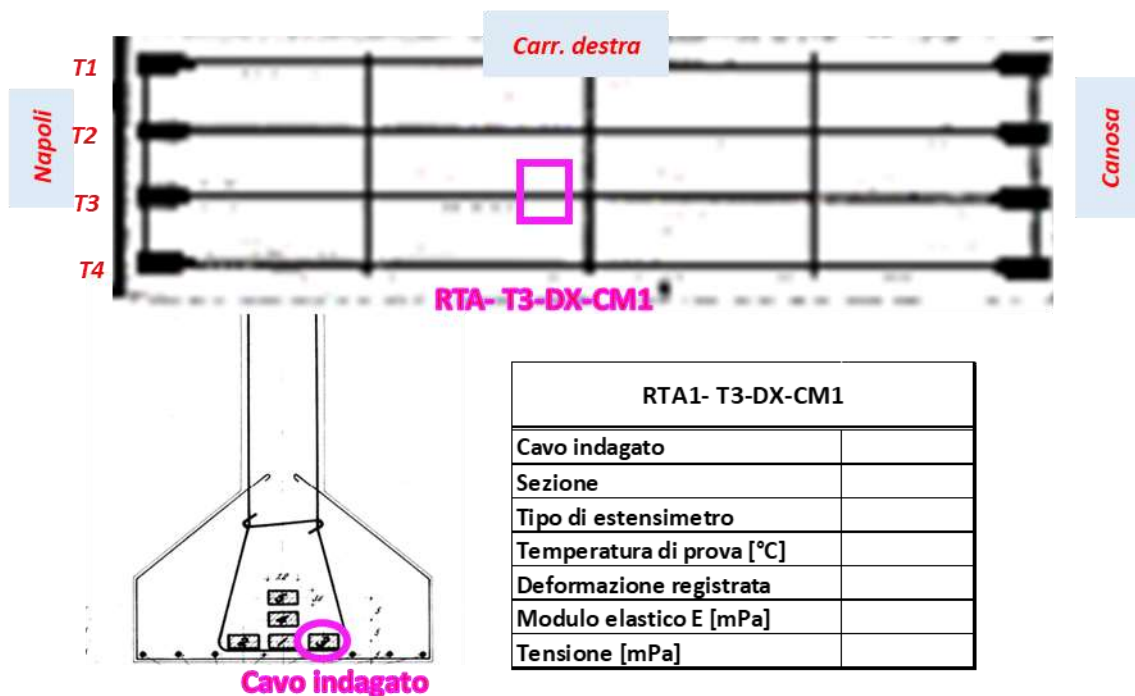


Figura 61 – Esempio scheda di restituzione – Prova di detensionamento su fili

7.6.2 Prove di detensionamento sul calcestruzzo - Carotaggio

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.

Ad oggi non esiste ancora un metodo univoco su come eseguire il taglio per l'isolamento del cls; la tecnica più diffusa è mediante il *Carotaggio*, le cui modalità di esecuzione sono descritte nel seguito.

Descrizione del metodo

La prova consiste nell'isolare parzialmente mediante carotaggio una porzione di un elemento strutturale presollecitato preventivamente strumentata con estensimetri resistivi; la deformazione subita dalla porzione isolata in seguito al taglio è uguale e di segno contrario alla deformazione indotta dalla precompressione e dai carichi permanenti; pertanto, noto il modulo elastico E del cls., è possibile valutare la tensione σ agente nel punto strumentato moltiplicando la deformazione ε rilevata cambiata di segno per il modulo elastico E : $\sigma = E \varepsilon$.

Strumentazione e attrezzatura

- 7.6.2.3 – estensimetri resistivi a filo per cls.: lunghezza 60 mm e resistenza 120 Ω , precablati con cavo tripolare di lunghezza 5 m
- smerigliatrice angolare elettrica, con disco per levigatura a secco per marmo / calcestruzzo
- perforatore elettrico con punta \varnothing 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)
- unità di condizionamento ed acquisizione per estensimetri: almeno 3 canali di misura, collegamento degli estensimetri a $\frac{1}{4}$ di ponte con terzo filo, bilanciamento automatico del ponte estensimetrico, risoluzione 24 bit, frequenza massima di campionamento pari ad almeno 10 Hz
- 7.6.2.4 – carotatrice elettrica con telaio di fissaggio, corona diamantata \varnothing 125 mm L 400 mm e pompa per acqua.

Modalità di esecuzione

Nelle travi semplicemente appoggiate la misura viene eseguita in corrispondenza della sezione di mezzeria (dove il momento flettente dovuto a precompressione e carichi permanenti è massimo mentre il taglio è trascurabile), preferibilmente sulla faccia interna dell'anima (dove il calcestruzzo è di regola meno degradato rispetto alla superficie esterna) e immediatamente al di sopra del bulbo inferiore (dove, non potendo eseguire la prova direttamente sul bulbo inferiore senza rischiare di danneggiare i cavi, le tensioni normali dovute a precompressione e carichi permanenti sono più elevate).

In questo caso, essendo il taglio nullo nella sezione di mezzeria, le tensioni principali assumono le direzioni verticale e orizzontale e pertanto l'analisi della sollecitazione può essere eseguita con due soli estensimetri.

Per contro, sulle travi a mensola la misura viene eseguita in prossimità della sezione di incastro (dove però oltre al massimo valore del momento flettente negativo è presente anche il massimo taglio), preferibilmente sulla faccia interna dell'anima e immediatamente al di sotto dell'ala superiore. In questo caso, non essendo nota la

direzione delle tensioni principali per la contemporanea presenza di momento e taglio, l'analisi delle sollecitazioni deve essere eseguita con tre estensimetri.

Operativamente le prove vengono eseguite con la seguente procedura (nel seguito si fa riferimento alla sola configurazione a tre estensimetri):

1. individuazione della zona di misura, di dimensioni approssimative 50 x 50 cm e caratterizzata da una superficie sufficientemente liscia ed esente da delaminazione, fessure e pori
2. rilievo magnetico delle armature con evidenziazione delle stesse sulla superficie del calcestruzzo
3. delimitazione della zona da carotare, di diametro 125 mm e non ubicata in corrispondenza delle barre
4. installazione della carotatrice, montaggio della corona di diametro 125 mm, ed avanzamento della stessa fino a toccare la superficie del calcestruzzo; disegno della circonferenza della corona sulla superficie del calcestruzzo con pennarello e successivo smontaggio della corona senza rimuovere la carotatrice
5. marcatura mediante cutter di 3 diametri della circonferenza, orientati orizzontalmente, verticalmente e a 45° rispetto all'orizzontale
6. esecuzione di un foro orizzontale passante di diametro 6 mm in corrispondenza del centro di uno dei 2 quadranti della circonferenza non intersecato dal diametro inclinato a 45°
7. molatura meccanica della zona da carotare, mediante smerigliatrice angolare equipaggiata con disco per levigatura a secco per calcestruzzo/marmo, rimuovendo lo strato più degradato del calcestruzzo per uno spessore di almeno 2-3 mm; successiva rimozione della polvere mediante spazzola con setole non metalliche e ripetizione della marcatura di cui al punto 5
8. sgrassatura della superficie molata, strofinando la superficie del cls. con una garza imbevuta di acetone, mediante passate successive utilizzando sempre nuove parti pulite di garza fino a quando sulla stessa non restano più tracce sporche; N.B. la superficie sgrassata del cls. non deve più essere toccata con le dita
9. incollaggio dell'estensimetro orizzontale mediante collante cianoacrilico professionale specifico per estensimetri e per calcestruzzo, mantenendo l'estensimetro premuto per almeno cinque minuti con l'interposizione dell'apposita cartina in teflon; la parte attiva dell'estensimetro (da incollare sul cls.) non deve essere toccata con le dita
10. incollaggio dell'estensimetro verticale sopra quello orizzontale, e quindi dell'estensimetro inclinato a 45° sopra quello verticale, seguendo la medesima procedura
11. infilaggio dei tre cavi di collegamento degli estensimetri nel foro passante e recupero degli stessi dalla parte opposta dell'anima
12. protezione degli estensimetri mediante gli appositi fogli in alluminio rivestiti di stucco plasmabile, avendo cura di coprire tutta e solamente la superficie circolare da carotare senza fuoriuscire dalla circonferenza di 120 mm
13. collegamento dei 3 estensimetri alla centralina di acquisizione (collegamento a ¼ di ponte con terzo filo); dopo almeno 45 minuti dall'incollaggio dell'ultimo estensimetro, attivazione dell'acquisizione con digitalizzazione pari ad almeno 1 Hz (1 campione al secondo)
14. rimontaggio della corona sulla carotatrice, e avvio del carotaggio continuo a circolazione d'acqua dopo almeno 5 minuti dall'inizio dell'acquisizione; il carotaggio deve interrompersi immediatamente prima di carotare l'intero spessore dell'anima (a circa 1 cm dal paramento opposto) per evitare che la carota una volta isolata possa ruotare all'interno della corona e strappare i cavi di collegamento

15. arresto della sequenza di acquisizione dopo almeno dieci minuti dall'ultimazione del carotaggio, e comunque ad avvenuta stabilizzazione delle deformazioni misurate
16. recupero della carota e chiusura del foro del carotaggio con malta fibrorinforzata a ritiro controllato.

Si noti inoltre:

- la posizione del carotaggio deve essere individuata in maniera scrupolosa, evitando zone con calcestruzzo fessurato, delaminato o degradato, e verificando l'assenza di armature e cavi di precompressione con un accurato rilievo pacometrico e/o radar
- 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.

Elaborazione delle misure

Le misure di deformazione acquisite vengono elaborate come segue:

- 7.6.2.5 – calcolo delle deformazioni medie ε prodotta dal carotaggio, generalmente misurate tra 5 e 10 minuti dopo la stabilizzazione dei diagrammi ε -t
- calcolo della tensione di precompressione agente σ_1 (in MPa), secondo le relazioni riportate nella figura seguente in funzione dello schema di misura utilizzato.

dove:

- ν = modulo di Poisson del cls; in assenza di dati sperimentali può essere assunto il valore 0.15
- E = modulo elastico del calcestruzzo, ricavabile dalla carota estratta preferibilmente mediante prova di compressione in laboratorio o, in via subordinata, mediante misure ultrasoniche eseguite lungo l'asse della carota.

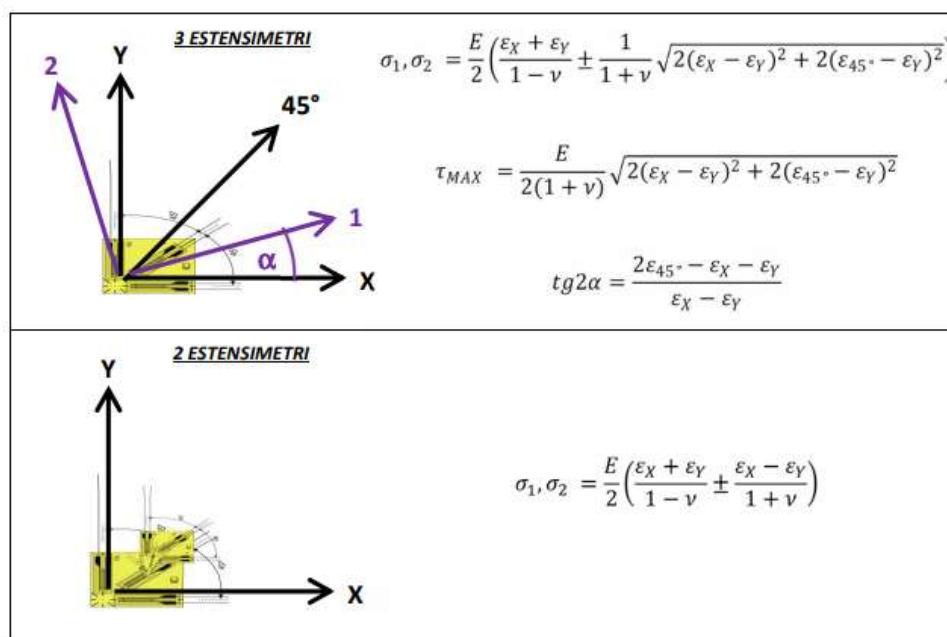


Figura 62 - Prova di detensionamento sul calcestruzzo: calcolo delle tensioni principali

Presentazione dei risultati

Per ogni prova di detensionamento eseguita deve essere prodotta una scheda contenente:

- schema geometrico di ubicazione della prova, con individuazione della sezione, della posizione del carotaggio e dello schema di misura; documentazione fotografica
- valori medi delle deformazioni misurate calcolati dopo la stabilizzazione dei diagrammi, valori del modulo elastico E, del coefficiente di Poisson ν e delle tensioni principali rilevate in seguito al carotaggio
- diagramma delle tensioni principali misurate nel corso della prova.

Un esempio del formato di restituzione della scheda è riportato di seguito.

RTC-T3-DX-CM1

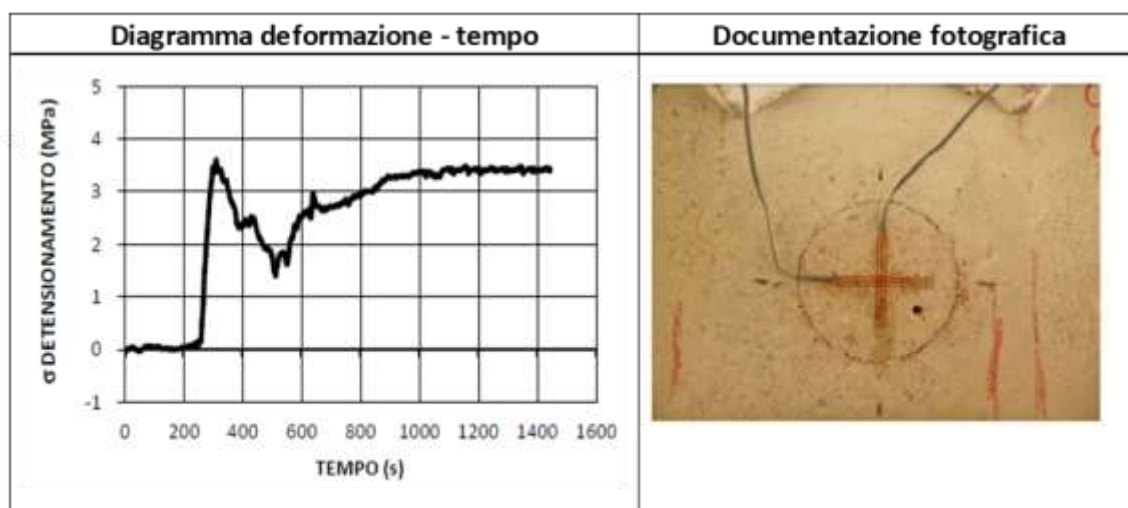
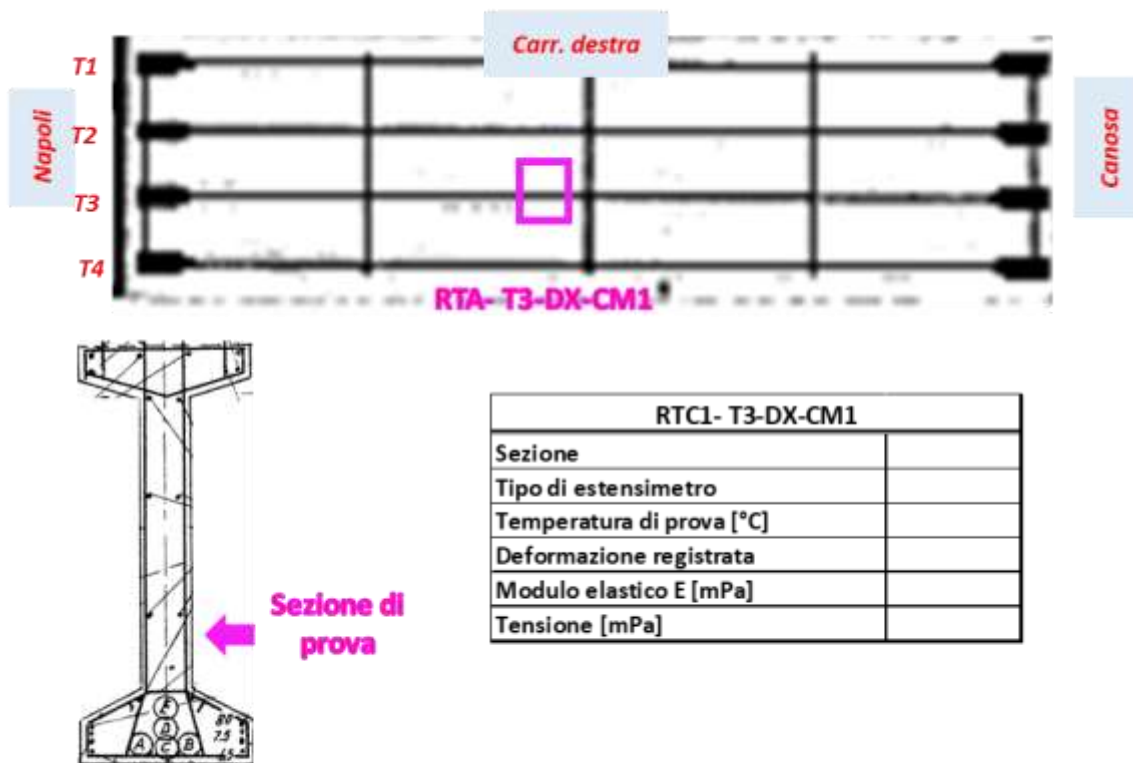


Figura 63 – Esempio scheda di restituzione – Rilascio Tensionale sul Calcestruzzo – Metodo carotaggio

7.6.3 Prove di detensionamento sul calcestruzzo – 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.

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.

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 $\varnothing 115$ perforatore elettrico con punta $\varnothing 6$ 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)
- unità di acquisizione dei dati in continuo.

7.6.3.3

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. Qualora il *Piano di indagine* preveda prove per la determinazione del modulo elastico del calcestruzzo, si dovrà operare o con prove di pull out nello stesso punto in cui sono eseguite le prove di rilascio tensionale oppure mediante prelievi di carote del calcestruzzo in opera. Tale operazione è necessaria per derivare lo stato tensionale a partire dalle deformazioni misurate.

Si noti inoltre:

- la posizione di prova deve essere individuata in maniera scrupolosa, evitando zone con calcestruzzo fessurato, delaminato o degradato, e verificando l'assenza di armature e cavi di precompressione con un accurato rilievo pacometrico e/o radar
- 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.

Presentazione dei risultati

7.6.3.4 Per ogni prova di detensionamento eseguita deve essere prodotta una scheda contenente:

- ubicazione della prova su piante e profili; individuazione della sezione su cui è eseguita la prova (mezzeria o distanza da testata trave) e della posizione del taglio;
- Deformazione orizzontale subita dalla porzione isolata, misurata dagli estensimetri posizionati tra i tagli; si richiede di riportare separatamente le misure deformazione lette dai due estensimetri orizzontali; le misure di deformazione dovranno essere relative ai singoli step di taglio eseguiti (quattro misure in totale per ogni estensimetro)
- **Andamento grafico della deformazione letta in continuo.**
- Posizione area di prova rispetto al lembo inferiore della trave.
- Indicazione peso By-Bridge con cui si sono eseguite le prove e localizzazione sull'impalcato oppure indicazione diretta della tensione generata dal By-Bridge, misurata con centralina antecedentemente all'esecuzione della prova.
- Risultati prove di pull out o dei provini di cls in termini di modulo elastico E;
- documentazione fotografica

Un esempio della scheda richiesta al laboratorio è riportato di seguito. Formati di restituzione non conformi con quanto indicato nel presente capitolo non saranno considerati validi e dovranno essere rieseguiti.

RTA-T3-DX-CM1

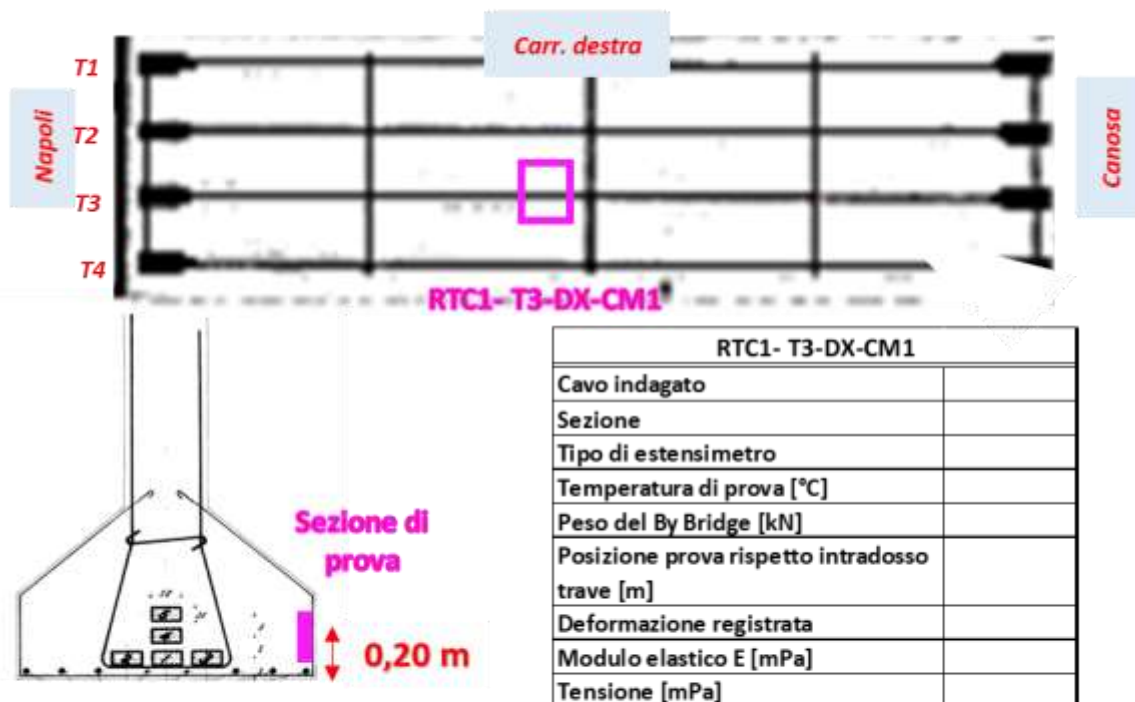


Diagramma deformazione - tempo



Figura 64 – Esempio scheda di restituzione – Rilascio Tensionale sul Calcestruzzo – Metodo Sectioning