

Disciplinare tecnico

Indagini in galleria - Servizi professionali e diagnostici

1	Obiettivi delle indagini	3
2	Georadar con antenna a doppia frequenza.....	4
2.1	<i>Metodologie di indagine e riferimenti normativi.....</i>	<i>4</i>
2.2	<i>Caratteristiche delle attrezzature</i>	<i>5</i>
2.3	<i>Modalità esecutive.....</i>	<i>5</i>
2.4	<i>Modalità di analisi e restituzione.....</i>	<i>7</i>
3	Georadar con antenna ad alta frequenza.....	9
3.1	<i>Caratteristiche delle attrezzature</i>	<i>9</i>
3.2	<i>Modalità esecutive.....</i>	<i>9</i>
3.3	<i>Modalità di analisi e restituzione.....</i>	<i>9</i>
4	Microcarotaggio e prove di laboratorio	10
4.1	<i>Metodologie di indagine e riferimenti normativi.....</i>	<i>10</i>
4.1.1	<i>Norma di riferimento.....</i>	<i>10</i>
4.2	<i>Caratteristiche delle attrezzature</i>	<i>10</i>
4.3	<i>Modalità esecutive.....</i>	<i>10</i>
4.3.1	<i>Modalità di analisi e restituzione CAROTAGGI STANDARD.....</i>	<i>10</i>
4.3.2	<i>Modalità di analisi e restituzione CAROTAGGI INTEGRATIVI DIFETTOLOGICI.....</i>	<i>10</i>
5	Tomografia ad ultrasuoni	13
5.1	<i>DESCRIZIONE DELLA METODOLOGIA DI INDAGINE</i>	<i>13</i>
5.2	<i>Modalità DI LETTURA DEL TOMOGRAMMA</i>	<i>14</i>
5.3	<i>STRUMENTAZIONE UTILIZZATA.....</i>	<i>15</i>
5.3.1	<i>Specifiche dei trasduttori.....</i>	<i>15</i>
5.3.2	<i>Specifiche del sistema.....</i>	<i>15</i>
5.4	<i>STAZIONAMENTI DA ESEGUIRE IN FASE ESECUTIVA.....</i>	<i>15</i>
5.5	<i>Modalità di analisi e restituzione.....</i>	<i>16</i>
6	Prove di pull-out.....	18
6.1	<i>Metodologie di indagine e riferimenti normativi.....</i>	<i>18</i>
6.1.1	<i>Norma di riferimento.....</i>	<i>18</i>
6.2	<i>Caratteristiche delle attrezzature</i>	<i>18</i>
6.3	<i>Modalità esecutive.....</i>	<i>18</i>
6.4	<i>Modalità di analisi e restituzione.....</i>	<i>19</i>
7	Prove di martinetto piatto semplice	20
7.1	<i>Metodologie di indagine e riferimenti normativi.....</i>	<i>20</i>
7.1.1	<i>Norma di riferimento.....</i>	<i>20</i>
7.2	<i>Caratteristiche delle attrezzature</i>	<i>20</i>
7.3	<i>Modalità esecutive.....</i>	<i>21</i>
7.4	<i>Modalità di analisi e restituzione.....</i>	<i>21</i>
8	TURNI DI LAVORO	22
9	NUMERO MINIMO DI SQUADRE RICHIESTE PER L'ESECUZIONE DEI SERVIZI	23
10	NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	24

1 OBIETTIVI DELLE INDAGINI

Nel presente documento vengono riportate le indicazioni per indagini diagnostiche sulle gallerie autostradali.

La campagna di indagine si pone i seguenti obiettivi:

- 1) Caratteristiche geometriche e costruttive del rivestimento
- 2) Analisi criticità del rivestimento definitivo
 - a. Presenza di possibili vuoti a tergo del rivestimento
 - b. Presenza di discontinuità/lesioni all'interno dello spessore del rivestimento
 - c. Presenza di situazioni di degrado o disomogeneità all'interno dello spessore del rivestimento
 - d. Analisi dello stato corticale del rivestimento (primi 30cm)
- 3) Caratteristiche meccaniche del calcestruzzo su tutto spessore del rivestimento e nella parte corticale intradosso per la verifica degli ancoraggi di sovrastrutture (impianti, reti di protezione, onduline, impianti, etc..)
- 4) Definizione dello stato tensionale del rivestimento definitivo ed eventuale monitoraggio di situazioni critiche
- 5) Analisi indirette (geofisiche) dell'ammasso a tergo del rivestimento e/o tra i forni

Nel presente documento viene descritto quanto segue:

- metodologie diagnostiche per ogni obiettivo indicato
- descrizione delle modalità di indagine di cui all'elenco prezzi aggiuntivo
 - modalità esecutive
 - strumentazione e attrezzature minime per i rilievi indicati
 - modalità di elaborazione dei dati e restituzione delle informazioni

2 GEORADAR CON ANTENNA A DOPPIA FREQUENZA

Il metodo georadar viene qui applicato come metodologia non distruttiva di screening con i seguenti obiettivi:

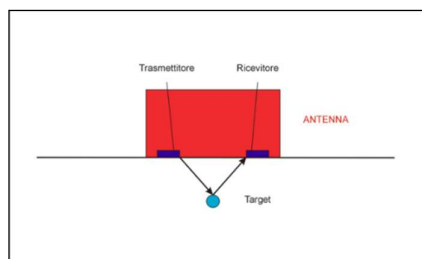
1. mappatura degli spessori del rivestimento di galleria
2. definizione della presenza di armature in intradosso
3. individuazione presenza e posizione centinatura (per gallerie)
4. verifica della presenza e posizione di possibili vuoti a tergo del rivestimento
5. verifica della presenza e posizione di eventuali fenomeni di anomalia all'interno dello spessore del rivestimento
6. altre ulteriori applicazioni per gallerie artificiali

Il rilievo viene previsto con antenne a doppia frequenza. Come prima scelta viene prevista antenna da 400-900MHz e, qualora il rivestimento presenti spessori particolari o in presenza di particolari quantità d'acqua sarà possibile utilizzare antenna con frequenze 200-600MHz.

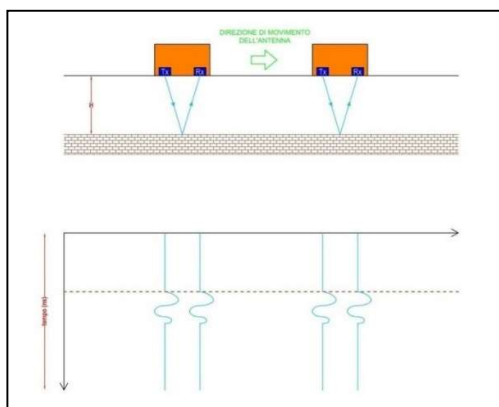
2.1 METODOLOGIE DI INDAGINE E RIFERIMENTI NORMATIVI

La prospezione georadar (GPR Ground Penetrating Radar) è una metodologia di indagine geofisica che si basa sulla propagazione di onde elettromagnetiche ad elevata frequenza.

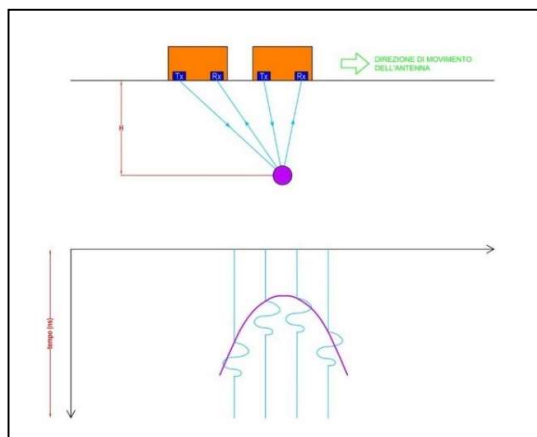
L'indagine prevede l'immissione di un breve impulso elettromagnetico in un materiale per mezzo di un'antenna la cui frequenza può variare da 10 a 2.600 MHz. L'impulso si propaga nel materiale con una velocità che dipende principalmente dalla costante dielettrica del materiale stesso. Quando l'impulso incontra un'interfaccia con proprietà dielettriche differenti dal mezzo che la circonda viene parzialmente riflesso in superficie.



Quando l'impulso incontra un'interfaccia continua rispetto alla direzione di movimento dell'antenna, la riflessione viene identificata sulla radargrafia come un elemento lineare:



Quando l'impulso incontra un'interfaccia di limitata estensione laterale rispetto alla direzione di movimento dell'antenna, la riflessione viene identificata sulla radargrafia come un'iperbole. Tipico esempio di interfaccia di limitata estensione laterale è rappresentato in galleria dalle barre di armatura o dalle centine (quando la linea di rilievo è perpendicolare alla direzione di sviluppo degli stessi).



2.2 CARATTERISTICHE DELLE ATTREZZATURE

Il rilievo dovrà essere eseguito con la seguente strumentazione:

- Unità di acquisizione multicanale con le seguenti caratteristiche minime:
 - numero minimo di canali acquisibili: 4
 - pulse repetition frequency: 400KHz
 - range: 0 – 9999 nsec
 - numero min di scan/secondo: 400
 - alimentazione: 12 Volt
- rotella encoder per la misurazione delle distanze a contatto
- antenna a doppia frequenza 400-900MHz

Poiché, in funzione della situazione di ogni singola galleria indagata, l'eventuale presenza di notevoli quantità d'acqua determina un forte assorbimento del segnale radar con diminuzione della profondità di penetrazione dell'indagine, dovrà essere disponibile un'ulteriore antenna con doppia frequenza 200-600MHz.

2.3 MODALITÀ ESECUTIVE

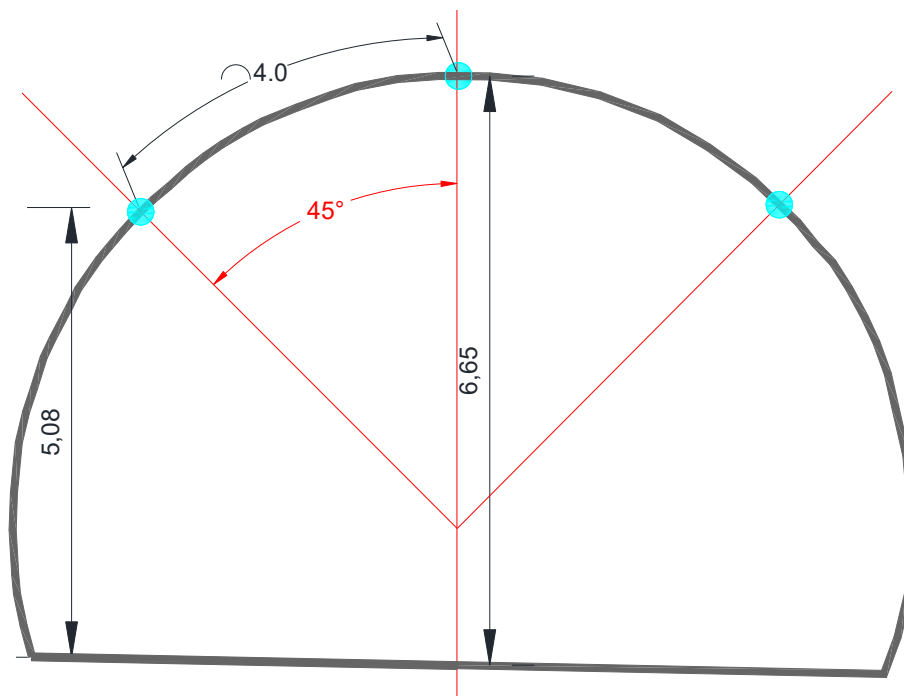
Il rilievo georadar sarà previsto su un numero minimo di profili longitudinali con densità (numero di profili) variabile in funzione delle dimensioni della galleria. In base alla prassi usualmente adottata, sulle gallerie oggetto di indagine è stato convenuto con ASPI e i progettisti di indagare almeno i seguenti profili:

- Per le gallerie a 2 corsie di marcia: l'indagine georadar interesserà n. 3 profili longitudinali sulla porzione a +/-45° dalla chiave di calotta;
- Per le gallerie a 3 corsie di marcia: l'indagine georadar interesserà n. 5 profili longitudinali sulla porzione a +/-45° dalla chiave di calotta.
- Per le gallerie artificiali da definire in funzione della geometria e delle caratteristiche strutturali dell'opera

Gli schemi di rilievo sono quelli riportati di seguito, elaborati sulle sezioni di galleria fornite da ASPI per i due casi di galleria rispettivamente a 2 e a 3 corsie di marcia / artificiali.

Il suddetto numero di profili da indagare è da intendersi quale numero minimo e potrà essere integrato su richiesta dei progettisti in funzione delle eventuali anomalie riscontrate nella prima fase di indagine.

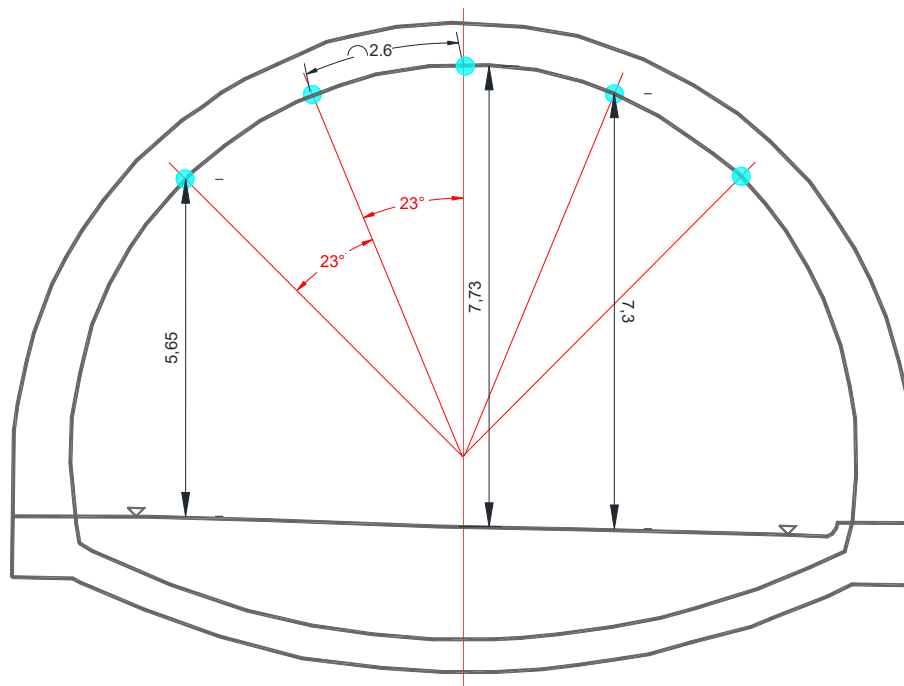
Galleria a 2 corsie – n.3 profili



Si prevedono n.3 profili longitudinali (cerchio azzurro) con antenna a doppia frequenza 400-900MHz (200-600MHz opzionale in caso di forte presenza di acqua). Con tale geometria la distanza tra i profili sullo sviluppo della volta è pari a circa 4,0m (45°).

Nello schema sono riportate le altezze dal pavimentato per ogni profilo ai soli fini logistici (mezzo in elevazione). Le altezze variano da un minimo di 5,1m ad un massimo di 6,7m.

Galleria a 3 corsie – n.5 profili



Si prevedono n.5 profili longitudinali (cerchio azzurro) con antenna a doppia frequenza 400-900MHz (200-600MHz opzionale in caso di forte presenza di acqua); rispetto alla geometria precedente vengono quindi inseriti ulteriori 2 profili a 22,5° dalla posizione di chiave a migliorare la densità del rilievo sulla sezione a 3 corsie (maggiore diametro).

Con tale geometria la distanza tra i profili sullo sviluppo della volta è pari a circa 2,6m (22,5°).

Nello schema sono riportate le altezze dal pavimentato per ogni profilo ai soli fini logistici (mezzo in elevazione). Le altezze variano da un minimo di 5,7m ad un massimo di 7,8m.

Al fine di individuare le posizioni effettive di esecuzione del rilievo georadar longitudinale, si richiede il tracciamento delle linee di esecuzione (un segno ogni 1,5m circa) mediante vernice trasparente e catarifrangente tipo Stickerslab/VMD.



2.4 MODALITÀ DI ANALISI E RESTITUZIONE

I profili longitudinali verranno acquisiti su sezioni distinte di lunghezza pari a 50m o in numero di conci non inferiori a 5. Sarà ovviamente possibile derogare in relazione alle situazioni logistiche di ogni singolo fornice. In ogni caso dovrà essere univocamente definita la posizione del rilievo al fine da consentire, nella fase di post-elaborazione, il corretto posizionamento delle anomalie riscontrate.

Qualora i giunti tra i conci siano chiaramente e univocamente individuabili in sito si ritiene preferenziale il rilievo secondo il numero dei conci.

Durante la fase di rilievo dovrà essere redatto verbale di cantiere con indicazione di:

- ragione sociale fornitore
- data rilievo
- tecnico operatore (cognome e nome)
- wbs o nome galleria
- antenna radar utilizzata
- posizione del profilo
- pk inizio e fine sezione
- nome file
- eventuali note

Il dato radar dovrà essere elaborato secondo gli step di processing di seguito descritti per ognuna delle frequenze impiegate per il rilievo:

- correzione della posizione di zero
- eventuale filtraggio in frequenza
- correzione del gain
- definizione del valore di velocità del segnale radar con le seguenti possibilità di affinamento successive
 - da letteratura per calcestruzzo (impostazione durante la fase di rilievo); si avrà cura di impostare il valore di velocità secondo le condizioni del calcestruzzo (wet/dry...)
 - da calcolo/elaborazione in caso di presenza di riflessioni iperboliche
 - da dati di taratura diretta: n° 1 VE ogni 50 m in posizioni alternate (1° VE: RS - 2° VE: CH - 3° VE: RD e così via); per gallerie di lunghezza inferiore di 150m bisognerà comunque eseguire almeno n.3 VE (n°1 ogni L/3).
- la prima elaborazione prevede l'impiego di parametri di processing identici per singolo fornice
- conversione del radargramma in formato jpg in scala di grigi

Gli step di processing dovranno essere indicati nel report di restituzione (vedi paragrafo 6).

La restituzione delle risultanze del rilievo sarà così strutturata:

- relazione generale completa dei datasheet delle strumentazioni e attrezzature utilizzate e delle modalità e quantità di rilievo
- per ogni fornace indagato:
 - tavola base - (formato A3 – file pdf ed editabile dwg completo di file jpg inseriti): contenenti le radargrafie in scala di grigio su grafico distanze-profondità
 - tavole tipo A (formato A3 – file pdf ed editabile dwg completo di file jpg inseriti): contenenti le radargrafie in scala di grigio su grafico distanze-profondità con elementi interpretativi individuati su layer separato per tema (vedi in seguito). Ogni tavola conterrà il dato elaborato sulle varie posizioni (con antenna 400-900MHz).
 - tavole tipo B (formato A3 – file pdf ed editabile dwg): contenente le sole sezioni interpretative e le posizioni di taratura (con stratigrafia individuata direttamente da videoendoscopia)

Si specifica che per il rilievo con antenna a doppia frequenza il dato dovrà essere elaborato per entrambe le frequenze radar (con uscita in formato jpg); sulle tavole (tipo A e tipo B) verrà rappresentata la frequenza ritenuta maggiormente risolvibile ai fini degli obiettivi delle indagini.

Gli elementi interpretativi da riportare sulle tavole sono i seguenti:

- elementi lineari
 - spessore del rivestimento
 - eventuali discontinuità
 - zone con presenza di armatura di intradosso
- elementi puntuali
 - posizione delle centine
 - VE taratura
- elementi anomali
 - possibile presenza di vuoti
 - anomalie (fenomeni di diffrazione) nello spessore del rivestimento

Gli elementi così individuati saranno riportati su differenti layer (con diverse colorazioni e spessori dei tratti e denominati come sopra riportato nell'elenco elementi interpretativi). Qualora l'identificazione dei singoli elementi sia di natura dubbia gli stessi lineamenti dovranno essere riportati con elementi tratteggiati.

Sulle tavole di tipo B (sezioni interpretative) dovranno essere inoltre identificate le posizioni di esecuzione delle tarature con videoendoscopia e per ognuna di esse dovrà essere schematizzata sul profilo la stratigrafia individuata.

Tutti i dati originali rilevati con metodologia georadar dovranno essere forniti su formato digitale (pre-processing).

In funzione dei dati di taratura diretti (carotaggi e videoendoscopie) viene prevista una rielaborazione del dato radar tramite l'emissione delle tavole tipo C (formato A3 – file pdf ed editabile dwg).

In funzione dei dati di taratura diretti (carotaggi e videoendoscopie) viene prevista una rielaborazione del dato radar.

La restituzione dei GPR Longitudinali dovrà avvenire in versione definitiva entro 72 ore dall'esecuzione dell'acquisizione.

La restituzione dei GPR Trasversali dovrà avvenire in versione definitiva entro 72 ore dall'esecuzione dell'acquisizione.

Qualora non saranno rispettate le scadenze sopra esposte e i requisiti qualitativi richiesti, saranno applicate penali da definire in fase di contratto.

3 GEORADAR CON ANTENNA AD ALTA FREQUENZA

Il rilievo con antenna radar ad elevate frequenza (>2MHz) è previsto per la verifica della porzione corticale (circa 30cm da intradosso rivestimento).

Per metodolgiea di indagine e strumentazione prevista si fa riferimento a quanto riportato in precedenza per il rilievo con antenne a doppia frequenza tranne che per l'antenna

3.1 CARATTERISTICHE DELLE ATTREZZATURE

Il rilievo dovrà essere eseguito con la seguente strumentazione:

- Unità di acquisizione multicanale con le seguenti caratteristiche minime:
 - numero minimo di canali acquisibili: 4
 - pulse repetition frequency: 400KHz
 - range: 0 – 9999 nsec
 - numero min di scan/secondo: 400
 - alimentazione: 12 Volt
- rotella encoder per la misurazione delle distanze a contatto
- antenna ad elevata frequenza: si richiede antenna con frequenza superiore a 2GHz

3.2 MODALITÀ ESECUTIVE

Il rilievo con antenna ad elevate frequenza sarà eseguito su profili longitudinali e/o trasversali nelle porzioni di galleria dove da ispezione visive viene rilevata una possibile debolezza corticale del calcestruzzo o la presenza di stao fessurativo significativo.

Il rilievo verrà eseguito anche in adiacenza alle zone di fissaggio delle reti metalliche di protezione della volta.

3.3 MODALITÀ DI ANALISI E RESTITUZIONE

Le modalità di analisi e restituzione sono identiche a quanto previsto per il rilievo con antenne georadar a doppia frequenza.

La restituzione dei GPR Longitudinali dovrà avvenire in versione definitiva entro 72 ore dall'esecuzione dell'acquisizione.

La restituzione dei GPR Trasversali dovrà avvenire in versione definitiva entro 72 ore dall'esecuzione dell'acquisizione.

Qualora non saranno rispettate le scadenze sopra esposte e i requisiti qualitativi richiesti, saranno applicate penali da definire in fase di contratto.

4 MICROCAROTAGGIO E PROVE DI LABORATORIO

4.1 METODOLOGIE DI INDAGINE E RIFERIMENTI NORMATIVI

Al fine di caratterizzare dal punto di vista meccanico il calcestruzzo costituente il rivestimento viene previsto il prelievo di carote e successivamente prove di laboratorio per la determinazione della resistenza a compressione.

4.1.1 NORMA DI RIFERIMENTO

UNI EN 12504-1:2009 "Prove sul calcestruzzo nelle strutture - Parte 1: Carote - Prelievo, esame e prova di compressione"

4.2 CARATTERISTICHE DELLE ATTREZZATURE

I prelievi delle carote dovranno essere eseguiti con sistema di carotaggio diamantato per uso intensivo con motore ad alta frequenza e unità di alimentazione automatica per foratura con telaio:

- modalità di funzionamento: sistema di perforazione su supporto
- livello di pressione sonora (A) misurato 95 dB (A) 1
- val. vibr. triassiali per carotature in cls (ad acqua) con corona diamantata (ah,DD) 2.5 m/s²
- sistema di aspirazione polveri
- sistema di alimentazione e ricircolo acqua

Il telaio dovrà essere fissato al rivestimento mediante tasselli ad espansione.

4.3 MODALITÀ ESECUTIVE

Il prelievo della carota dovrà essere eseguito, ovviamente con utilizzo di acqua, e con velocità di rotazione media e costante per tutta la durata della fase di perforazione.

- Riportare nel verbale eventuali problemi durante il carotaggio o interruzioni (descrivere il motivo).
- Qualora vengano incontrate zone di vuoto (durante o al termine della perforazione) dovrà essere riportata su prelievo posizione ed estensione del vuoto.
- Le misurazioni dovranno venire eseguite con metro riferendosi alla penetrazione del carotiere rispetto alla posizione di inizio perforazione.
- In caso di rottura di carota durante l'estrazione (o durante il carotaggio) occorre segnalarlo nel verbale di prelievo.
- Nel caso durante il carotaggio venga incontrato elemento metallico (centina) evitarne il carotaggio
- Acquisire foto del fondo foro tramite endoscopio

4.3.1 MODALITÀ DI ANALISI E RESTITUZIONE CAROTAGGI STANDARD

Il carotaggio dovrà essere eseguito con carotiere diametro 100mm e lunghezza 50cm (da prelevare 3 carote ogni 50 m di sviluppo fornice: piedritto dx, piedritto sx e chiave)

I campioni estratti dovranno essere inviati a laboratorio autorizzato e certificato presso il quale procedere con prova di rottura a compressione per la determinazione della resistenza a compressione. Si prevede un certificate di prova unico per fornice con le risultanze di ogni singolo campione prelevato e analizzato.

I campioni da sottoporre a prova dovranno avere rapporto H/D 1:1 salvo diverse indicazioni del D.L. o RUP.

4.3.2 MODALITÀ DI ANALISI E RESTITUZIONE CAROTAGGI INTEGRATIVI DIFETTOLOGICI

Il carotaggio dovrà essere eseguito con carotiere diametro 100mm per l'intero spessore del rivestimento.

In caso di utilizzo di prolunghe si dovrà procedere con primo carotiere da 100cm e successivamente con il secondo da 50cm. Nella scheda di prelievo si dovrà segnalare la lunghezza del carotiere utilizzato

Verbale di prelievo:

Sul verbale di prelievo va indicato quanto segue:

- Lunghezza totale della perforazione
- Lunghezza totale della carota estratta
- Lunghezza dei singoli spezzoni di carota con indicazione di eventuali zone di vuoto
- Eventuali rotture anomale durante carotaggio o durante estrazione dal carotiere (descrivere il motivo se possibile)
- Segnalare su verbale eventuale presenza di acqua e misurare la durata della venuta (come per ve)

Prima di procedere (in sito) a redazione della stratigrafia e fotografie la carota dovrà essere posizionata su cassetta catalogatrice dotata di marcatori (tacca bianco-nero) ogni 10cm. La carota dovrà essere posizionata tenendo conto della eventuale presenza di vuoti (i singoli spezzoni dovranno essere spaziati di conseguenza).

Redazione stratigrafia – cosa indicare (con posizionamento lungo la carota):

- presenza di fratture o lesioni (non da problemi durante prelievo): indicare se la frattura è aperta e se è presente del materiale di riempimento. Descrizione dei bordi della carota in corrispondenza della lesione (arrotondati o vivi, etc)
- variazioni di colorazione
- dimensione media (approssimativamente) degli inerti e dimensione massima
- variazioni di granulometria lungo la carota
- presenza e ampiezza di zone vespaiose
- presenza e ampiezza di zone con vacuoli e dimensione tipica degli stessi
- presenza di vuoti (vedi sopra) con dimensione del vuoto (lunghezza lungo il foro di carotaggio)
- indicare se a fondo foro del carotaggio viene incontrata roccia (meglio prelevare qualche centimetro) o metallo (centina)

Redatta la stratigrafia e realizzate foto la carota dovrà essere ruotata intorno al proprio asse longitudinale di 180°. A questo punto dovranno essere ripetute le fotografie

Modalità di acquisizione documentazione fotografica carote

le fotografie dovranno essere realizzate con buona illuminazione. In presenza di luce artificiale (gialla) si dovrà provvedere a illuminare la cassetta con lampada a led a luce fredda. Le foto dovranno essere scattate posizionandosi sulla verticale della cassetta dove è alloggiata la carota con cartello con indicazione del codice prelievo. Le foto dovranno essere orientate verticalmente (dimensione maggiore lungo asse carota).

Le foto acquisite dovranno essere codificate con

- AUTOSTRADA
- NOME GALLERIA O WBS
- DIREZIONE
- PK
- POSIZIONE SU VOLTA
- POSIZIONE FOTO - per posizione foto si intenderà A e B con B con carota ruotata di 180° rispetto ad A
- il nome carota e data prelievo
- DATA FOTOGRAFIA anno mese giorno

Codifica

AUTOSTRADA_NOME GALLERIA_DIREZIONE_PK(0+000)_POSIZIONE VOLTA_POSIZIONE FOTO_DATA(AAMMGG)

Esempio:

*prelievo su autostrada A12 Galleria dell'Anchetta sinistra in posizione tra C (chiave) e RS (rene sinistro) alla pk 0+544m
fotografia su prima posizione eseguita il 10 marzo 2020.*

Campioni per laboratorio

Solo su richiesta il campione estratto potrà essere inviato a laboratorio autorizzato e certificato presso il quale procedere con prova di rottura a compressione per la determinazione della resistenza a compressione. Si prevede un certificate di prova unico per fornice con le risultanze di ogni singolo campione prelevato e analizzato.

I campioni da sottoporre a prova dovranno avere rapporto H/D 1:1.

La restituzione dovrà avvenire in versione definitiva entro 48 ore dall'esecuzione della prova.

Qualora non saranno rispettate le scadenze sopra esposte e i requisiti qualitativi richiesti, saranno applicate penali da definire in fase di contratto.

5.1 DESCRIZIONE DELLA METODOLOGIA DI INDAGINE

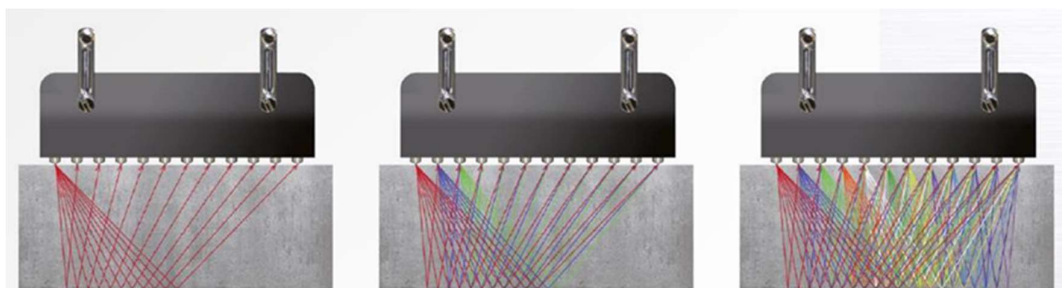
L'utilizzo delle tecniche ultrasoniche diventa tipicamente applicabile alla risoluzione di problematiche relative alla verifica dello stato di conservazione di un manufatto in calcestruzzo (UNI9524-4). L'impiego di sonde emittenti e riceventi ad alta frequenza è infatti utile all'identificazione di oggetti (o anomalie) anche di piccole dimensioni.

Le letture dei tempi di volo, ossia il tempo impiegato dall'impulso ultrasonico generato dalla sonda emittente per raggiungere la sonda ricevente, permettono di calcolare, nota la distanza reciproca tra le sonde, la velocità del materiale, e/o analizzare le caratteristiche di giunti e/o lesioni nel materiale stesso.

La tomografia ha le potenzialità per definire inclinazione ed estensione della lesione analizzata e fa ricorso, diversamente dai metodi classici, all'utilizzo di onde di taglio maggiormente sensibili ai fenomeni indagati. Inoltre, è possibile variare la frequenza ultrasonora in emissione in funzione delle caratteristiche più o meno degradate del calcestruzzo e della profondità di indagine richiesta.

Il metodo ultrasonoro viene applicato in modalità tomografica mediante generazione e acquisizione di onde di taglio da un array di 48 trasduttori ceramici.

La strumentazione impiegata infatti prevede un array di sensori disposti su 4 file e 12 colonne per un totale di 48 sensori.



L'emissione del segnale avviene per singola colonna (4 sensori piezoelettrici) e la ricezione avviene sulle restanti 11 colonne (4 sensori ciascuna). L'acquisizione prevede l'analisi tomografica in real time tra tutte le combinazioni di sensori emittenti e sensori riceventi.

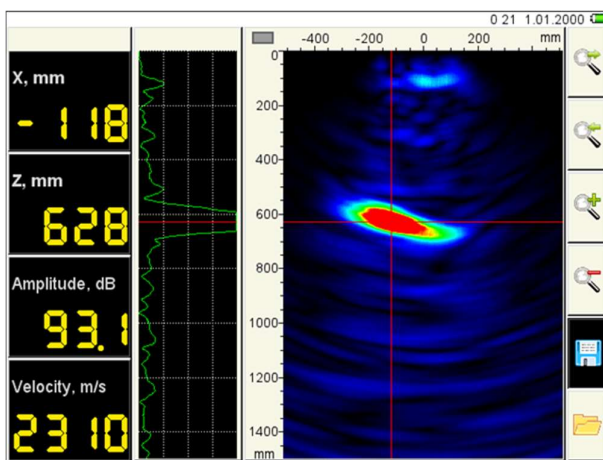
Il fronte d'onda generato dall'emissione contemporanea sui 4 trasduttori piezoelettrici permette l'analisi del materiale indagato in onde di taglio.



esecuzione della misura



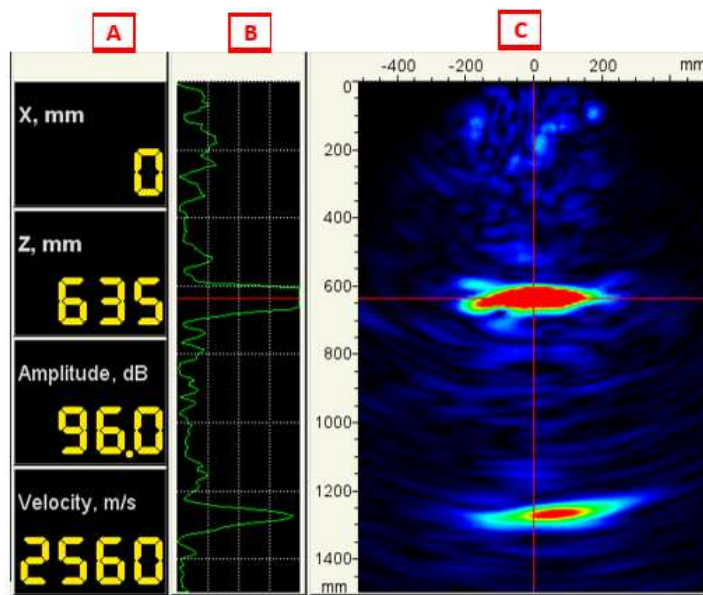
tomogramma acquisito



Esempio di tomogramma acquisito: vengono indicate la posizione di misura – rispetto allo strumento – lo spessore misurato, il livello di gain e la velocità onde S calcolata sul punto

5.2 MODALITÀ DI LETTURA DEL TOMOGRAMMA

Nell'immagine seguente viene rappresentato un tomogramma elaborato e le informazioni desumibili:



La schermata è divisa in 3 parti:

- Finestra con valori numerici
 - X: posizione centrale del crocino rosso (si veda finestra C) di individuazione del punto obiettivo
 - Z: profondità del crocino rosso (vedi X)

- Amplitude: ampiezza in decibel della riflessione nella posizione richiesta con il crocino
 - Velocity: velocità delle onde di taglio calcolata alla profondità indicate da crocino rosso
- B. Finestra con forma d'onda (wigggle): indica la forma d'onda misurata in acquisizione; sono distinguibili i diversi picchi corrispondenti alla riflessione del segnale
- C. Tomogramma: tomogramma in onde di taglio del segnale ultrasonoro. Il dato viene rappresentato in scala colore del parametro misurato in decibel come sopra

5.3 STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

La strumentazione deve avere le seguenti caratteristiche tecniche minime:

- 4x12 trasduttori piezoelettrici con contatto ceramico
- Possibilità di impiego di frequenze differenti (setup da 20kHz a 200kHz)
- Possibilità di regolazione del gain (ampiezza del segnale in ricezione)
- Immagine tomografica in tempo reale a schermo
- Possibilità di focalizzazione del dato misurato



5.3.1 SPECIFICHE DEI TRASDUTTORI

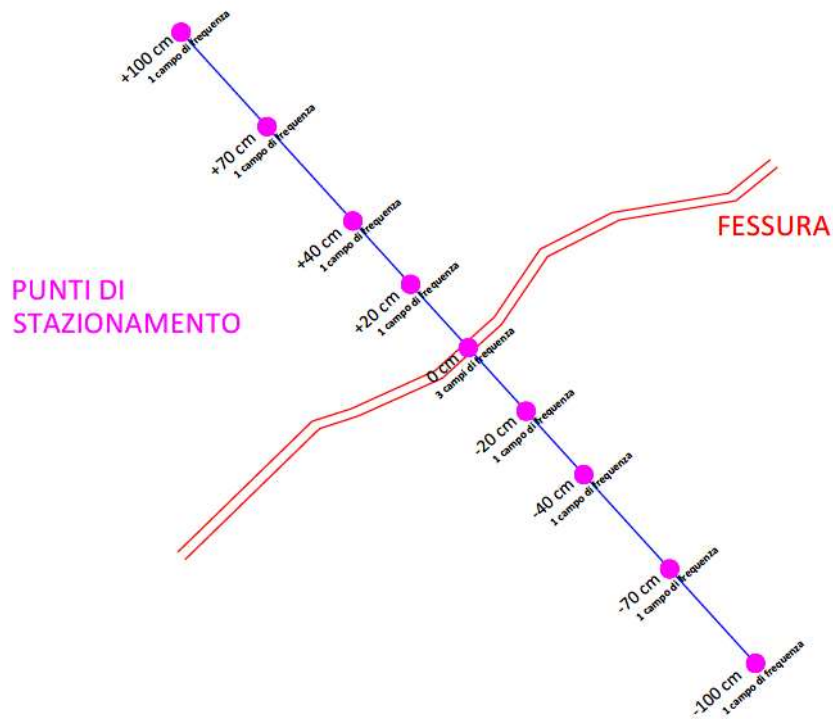
- Dispositivo di scansione: Serie di antenne a matrice incorporata
- Frequenza operativa: 25 – 85 kHz
- Numero di trasduttori: 48
- Tipologia di trasduttori: Trasversale a banda larga e bassa frequenza con “dry-point-contact” e punte in ceramica antiusura

5.3.2 SPECIFICHE DEL SISTEMA

- Intervallo di velocità: da 1000 a 4000 m/s
- Massima profondità di analisi: 2500 mm
- Errore massimo (X= spessore): $\pm (0,05 \cdot X + 10)$ mm
- Dimensione minima dell'anomalia rilevata: una sfera di 20 mm di diametro, ad una profondità tra i 50 e i 400 mm.
- Display: 5,7" TFT, a colori
- Memoria integrata: flash 7Gb
- Alimentazione: batteria rimovibile incorporata

5.4 STAZIONAMENTI DA ESEGUIRE IN FASE ESECUTIVA

La tomografia ad ultrasuoni dovrà essere eseguita su allineamenti di punti trasversali alle lesioni in esame.



Le misure vengono eseguite su un allineamento avente estensione approssimativamente +/-1m dall'intersezione dell'allineamento stesso con la lesione con un passo di misura di 20 o 30cm (n.1 campo di frequenza) direttamente correlato dall'aumentare della distanza di stazionamento dello strumento dalla fessura oggetto di indagine. Durante le misurazioni si ha cura di eseguire una posizione di misura esattamente in corrispondenza della lesione in esame variando opportunamente i campi di frequenza (almeno n.3).

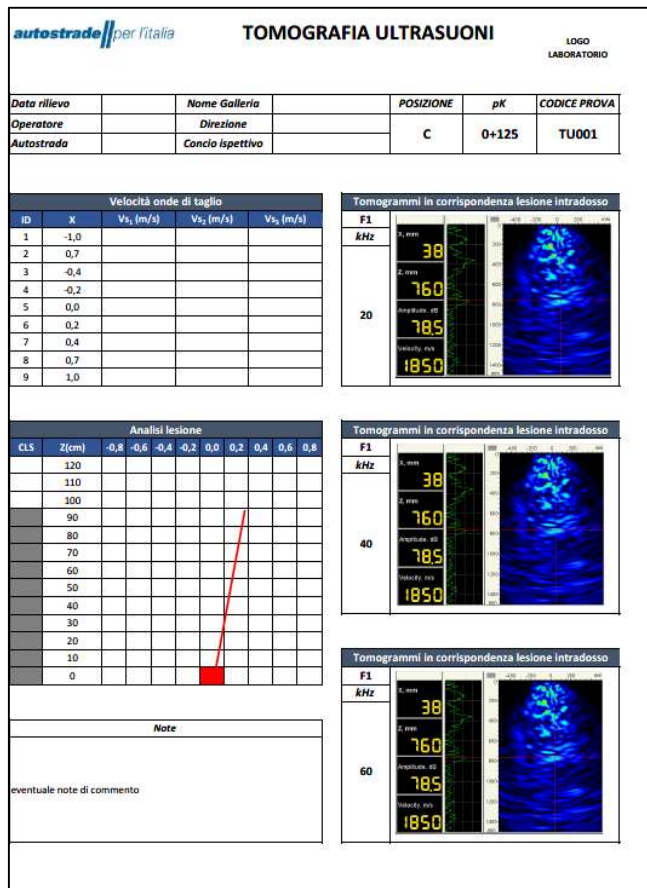
La frequenza sorgente dovrà essere scelta dall'operatore nella banda 20-50kHz in funzione delle caratteristiche del getto e della profondità dell'obiettivo di indagine (stimata da georadar preliminare di fase 1) al fine di ottenere il tomogramma maggiormente risolvibile. In corrispondenza della lesione in esame dovranno essere in ogni caso acquisiti n.3 distinti tomogrammi alle frequenze limite del campo indicato 20 e 50kHz oltre ad una frequenza intermedia che dovrà essere scelta dall'operatore in funzione delle risultanze dei due tomogrammi alle due frequenze indicate.

5.5 MODALITÀ DI ANALISI E RESTITUZIONE

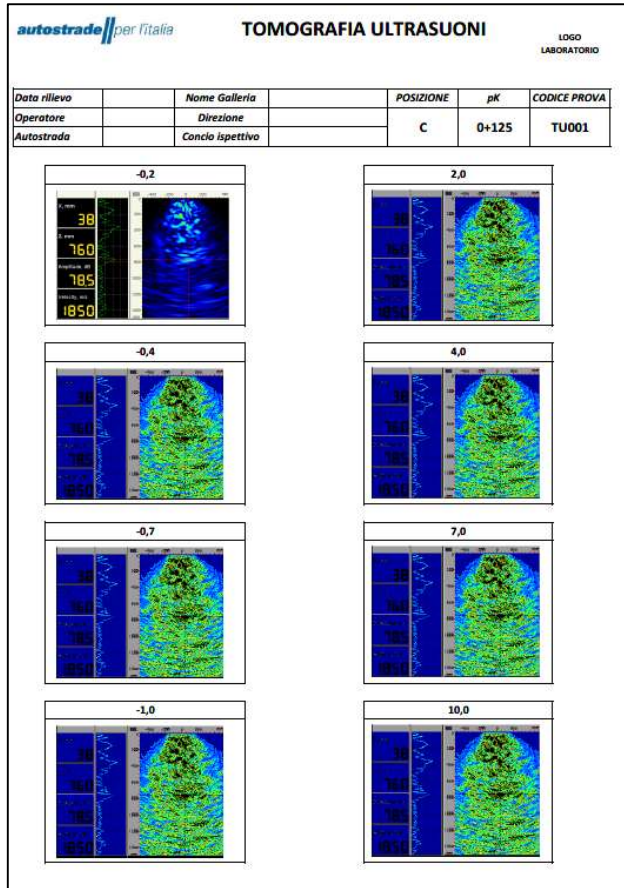
La restituzione dell'attività di indagine dovrà comprendere almeno le seguenti informazioni:

- Concio, pk e posizione di riferimento della fessura
- Grafico contenente, per ogni punto di stazionamento (almeno n.9), andamento delle onde di taglio in funzione della profondità del rivestimento
- Tomogramma (in formato immagine - es. JPEG), per ogni punto di stazionamento (almeno n.9), in onde di taglio del segnale ultrasonoro rappresentato in scala colore

Si riporta di seguito una rappresentazione grafica del report con le indicazioni minime che lo stesso dovrà contenere:



Report restituzione tomografia (Pagina 1)



Report restituzione tomografia (Pagina 2)

La restituzione dovrà avvenire in versione definitiva entro 48 ore dall'esecuzione della prova.

Qualora non saranno rispettate le scadenze sopra esposte e i requisiti qualitativi richiesti, saranno applicate penali da definire in fase di contratto.

6 PROVE DI PULL-OUT

6.1 METODOLOGIE DI INDAGINE E RIFERIMENTI NORMATIVI

Ai fini della caratterizzazione meccanica della porzione corticale del calcestruzzo costituente il rivestimento verranno eseguite prove di pull-out. Tali prove verranno eseguite anche in relazione alle zone di calotta dove sono installate reti di protezione. La prova fornirà in questo caso la forza di estrazione del tassello inserito al fine di valutare l'efficienza del fissaggio delle reti stesse.

Scopo della prova è quello di determinare la forza di estrazione del calcestruzzo indurito per mezzo di un inserto pre-inglobato nel getto costituito da un disco e uno stelo (Figura 1), oppure di un dispositivo simile post-inserito per foratura all'interno del calcestruzzo indurito (Figura 2). Nella Figura 3 viene riportata la sezione schematica dell'esecuzione della prova di estrazione.

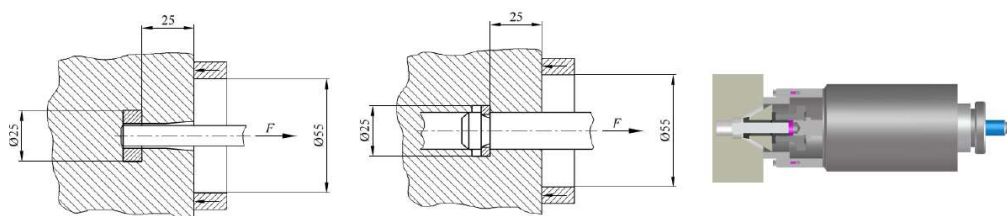


Figura 1

Figura 2

Figura 3

6.1.1 NORMA DI RIFERIMENTO

UNI EN 12504-3:2005 "Prove sul calcestruzzo nelle strutture - Parte 3: Determinazione della forza di estrazione"

6.2 CARATTERISTICHE DELLE ATTREZZATURE

Per le prove dovrà essere utilizzata la seguente attrezzatura:

- Martinetto oleodinamico cavo con portata 200 kN dotato di anello di contrasto in acciaio
- Pompa oleodinamica a leva manuale con manometro digitale collegata al martinetto mediante tubo idraulico (lunghezza 2,5 m) ad alta pressione (700 bar).
- manometro digitale con fondo scala 250 bar con detentore di picco e certificato di taratura
- Punta al widia 18 mm con adattatore per trapano a percussione (attacco a baionetta).
- Smerigliatrice dritta elettrica (710W, 7000-27000 giri/minuto) con chiave di servizio, completa di fresa diamantata
- N.3 Tasselli post-inseriti **modello Thoro** ad espansione geometrica controllata per l'esecuzione standardizzata della prova di estrazione. Le caratteristiche geometriche della tipologia di tassello sono perfettamente conformi ai punti 4.1.1 e 4.1.3 della UNI EN 12504-3:2005

6.3 MODALITÀ ESECUTIVE

La prova di estrazione consente di:

- valutare l'uniformità del calcestruzzo;
- stimare la resistenza a compressione del calcestruzzo in opera (definita come resistenza strutturale) nella zona corticale.

I centri delle posizioni di prova devono essere distanziati tra di loro di almeno 200 mm ed essere a 100 mm dal bordo del calcestruzzo. Gli inserti devono essere posizionati in modo che tutte le armature si trovino al di fuori della superficie di rottura conica prevista, ad una distanza pari almeno al diametro della barra di armatura o alla dimensione massima dell'aggregato quale che sia il valore maggiore.

Ogni tassello sarà inserito dopo aver eseguito una perforazione del calcestruzzo con punta elicoidale al widia azionata da trapano a percussione e successivamente aver creato, tramite alesaggio, un adeguato allargamento del foro a 25 mm di profondità dalla superficie esterna dell'elemento strutturale indagato.

Il tassello è composto da un elemento di acciaio cavo con base cilindrica dotata di una filettatura atta a consentire l'avvitamento dello stelo estrattore del martinetto oleodinamico. Al di sopra della filettatura è previsto un allargamento del tassello che funge da fermo corsa nella fase di inserimento dello stesso nel calcestruzzo. La parte finale del tassello è quella che viene inserita nella perforazione ed è costituita da otto elementi separati da intagli longitudinali, terminanti con allargamenti convergenti nella sommità, formanti una superficie tronco conica.

Il tassello è dotato di rondella aperta di acciaio posta tra la parte terminale degli elementi separati da intagli e la parte di essi che presentano gli allargamenti. La funzione della rondella è quella di garantire una più uniforme ripartizione del carico nel corso della prova di estrazione. Collocato il tassello nel calcestruzzo all'interno della foratura si provvederà all'espansione geometrica controllata dello stesso mediante battitura meccanica di una capsula cilindrica con punta tronco conica arrotondata metallica all'interno della parte cilindrica del tassello determinandone l'espansione. L'inserimento della capsula induce l'espansione controllata della testa del tassello e della rondella, che si collocheranno nella sede della perforazione precedentemente realizzata mediante alesaggio.

A seguire si avvierà lo stelo estrattore del martinetto oleodinamico e, dopo aver posizionato e fissato il martinetto e collegato il tubo idraulico alla pompa (Fase 8), si provvederà con la prova di estrazione. Successivamente si procede ad applicare il carico ed aumentarlo ad una velocità costante di $(0,5 \pm 0,2)$ kN/s senza shock, fino al verificarsi della frattura. A quell punto verrà registrata la forza massima rilevata (forza di estrazione).

La corrispondenza tra il valore letto al manometro digitale (in bar) e la forza di estrazione (kN) dovrà essere desunta dal certificato di taratura.

La forza di estrazione massima rilevata deve essere espressa al più vicino 0,05 kN.

L'equazione di taratura del sistema di carico è la seguente:

$$F(\text{KN}) = a \times p^2 + b \times p + c$$

Dove a, b, c sono elementi propri del martinetto utilizzato; p è la pressione letta sul manometro [bar]

6.4 MODALITÀ DI ANALISI E RESTITUZIONE

I dati di prova dovranno essere restituiti su scheda con documentazione fotografica del punto di prova prima e dopo la prova; dovrà essere fornita anche documentazione fotografica del tassello estratto (con porzione residua del calcestruzzo).

La restituzione dovrà avvenire in versione definitiva entro 24 ore dall'esecuzione della prova.

Qualora non saranno rispettate le scadenze sopra esposte e i requisiti qualitativi richiesti, saranno applicate penali da definire in fase di contratto.

7 PROVE DI MARTINETTO PIATTO SEMPLICE

7.1 METODOLOGIE DI INDAGINE E RIFERIMENTI NORMATIVI

L'indagine con il martinetto piatto singolo consiste nell'eseguire un taglio in un elemento strutturale per poi applicare sulle superfici del taglio una pressione nota che porti al ripristino delle condizioni iniziali del corpo. L'esecuzione di un taglio piano in direzione normale alla superficie di un elemento provoca una richiusura dei lembi della fessura; introducendo un martinetto piano all'interno della fessura (ossia introducendo una tasca metallica molto sottile nella quale si può iniettare olio a pressione nota) è possibile riportare i lembi della fenditura nelle condizioni iniziali.

Dalla forza esercitata del martinetto per ripristinare la situazione iniziale è possibile individuare lo stato tensionale originariamente presente nella muratura (in situ stress).

La tensione in situ vale pertanto:

$$\sigma = P \cdot K_t \cdot K_m$$

Dove:

- P = Pressione del martinetto per la quale si recupera lo stato di sollecitazione antecedente il taglio;
- σ = Valore di sforzo calcolato;
- K_m = Costante adimensionale data dal rapporto tra area del martinetto ed area del taglio (<1);
- K_t = costante adimensionale che dipende dalla geometria e dalla rigidità del martinetto (<1);

Il valore della pressione effettivamente applicata viene definita mediante la seguente formula:

$$\sigma = P \cdot K_m (A_m/A_t)$$

dove:

- P = Pressione erogata ai martinetti;
- K_m = Valore medio dei 2 coefficienti di taratura dei martinetti;
- A_m = Area del martinetto;
- A_t = Valore medio delle 2 aree di taglio

Dal rapporto tra la tensione applicata e la deformazione misurata si ricava il valore del modulo elastico della muratura.

Per la prova vengono adottate abitualmente almeno tre basi estensimetriche "a cavallo" del taglio. In questo modo si ottiene una misura diretta della convergenza tra i due bordi del taglio, e la misura del suo annullamento, quando venga imposta nuovamente la tensione in situ.

7.1.1 NORMA DI RIFERIMENTO

ASTM C1196 - 20 (2020) - Standard Test Method for In Situ Compressive Stress Within Solid Unit Masonry Estimated Using Flatjack Measurements

7.2 CARATTERISTICHE DELLE ATTREZZATURE

Per le prove verrà impiegata la seguente attrezzatura e strumentazione:

- martinetti piatti semicircolari (350x260x4)
- troncatrice elettrica o a scoppio tipo "Husqvarna K-ring"
- centralina oleodinamica manuale o elettrica con manometro di precisione (classe 1)
- comparatore millesimale

7.3 MODALITÀ ESECUTIVE

La metodologia prevede anzitutto l'esecuzione del taglio e la misura della convergenza della fessura, la cui entità viene rilevata attraverso misure di spostamento relativo fra due o più punti situati in posizione simmetrica rispetto allo stesso taglio tramite un trasduttore di spostamento. Inserito il martinetto piatto all'interno del taglio, esso viene portato gradualmente in pressione fino ad annullare la convergenza in precedenza misurata. In queste condizioni la pressione all'interno del martinetto sarà pari alla sollecitazione preesistente nella muratura, a meno di costanti che tengono conto del rapporto tra l'area del martinetto e quella del taglio praticato e di un coefficiente di rigidità del martinetto.

La prova si articola pertanto nelle seguenti fasi:

- Installazione dei riferimenti delle basi di misura (250 mm * 250 mm)
- Esecuzione delle misurazioni sulle basi con comparatore millesimale (lettura di zero)
- Esecuzione del taglio con troncatrice idonea tipo
- Misurazione delle basi immediatamente dopo il taglio
- Inserimento del martinetto piatto
- Misurazione delle basi estensimetriche
- Collegamento del martinetto piatto alla centralina oledinamica
- incremento della pressione per step e corrispondente misura delle basi estensimetriche ad ogni step di incremento della pressione
- verifica della pressione di ripristino (corrispondenza tra lettura di zero delle basi – prima del taglio - e lettura alla pressione “di ripristino”

7.4 MODALITÀ DI ANALISI E RESTITUZIONE

La restituzione della prova dovrà comprendere quanto segue:

- dati di prova in formato tabellare
- grafico di time history di spostamenti e pressioni
- grafico spostamenti vs pressioni
- calcolo dei valori della tensione di esercizio
- documentazione fotografica idonea

La restituzione dovrà avvenire in versione definitiva entro 24 ore dall'esecuzione della prova.

Qualora non saranno rispettate le scadenze sopra esposte e i requisiti qualitativi richiesti, saranno applicate penali da definire in fase di contratto.

8 TURNI DI LAVORO

Le attività di cui al presente disciplinare potranno essere eseguite in turni notturni e/o diurni che comunque possono prevedere, compatibilmente con le necessità di esercizio autostradale, tempi utili di esecuzione inferiori alle 8 ore.

Quanto sopra fermo restando che potrebbe essere richiesto, comunque con congruo anticipo, la possibilità di lavorare in doppi/tripli turni anche in giorni prefestivi e festivi.

L'Appaltatore è comunque sempre tenuto ad osservare le disposizioni impartite in ordine a interruzioni, sospensioni, limitazioni e ri-pianificazioni che ASPI a suo insindacabile giudizio ritenga necessario operare per esigenze di traffico.

Resta infine inteso che l'Appaltatore dovrà mettere a disposizione un'organizzazione flessibile che possa far fronte a orari di lavoro che potrebbero subire variazioni legate ad allerte meteo e/o a ritardate cantierizzazioni stradali.

9 NUMERO MINIMO DI SQUADRE RICHIESTE PER L'ESECUZIONE DEI SERVIZI

Ogni affidatario dovrà garantire un numero minimo di 3 squadre costituite da almeno 2 operatori.

La stazione Appaltante potrà richiedere incrementi di personale, qualora i carichi di lavoro pianificati lo necessitino.

10 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Si fa riferimento alle norme UNI inerenti alle singole prove oggetto del presente disciplinare nonché alle Norme Tecniche delle Costruzioni del 2018 compresa la relativa circolare applicativa ed infine alla circolare del 03/12/2019 n.633/STC del C.S.LL.PP.