

LOTTO FUNZIONALE PRIORITARIO –
TRATTO DA SAN ROCCO AL PORTO (LO)
A STAGNO LOMBARDO (CR) – DELLA
CICLOVIA TURISTICA NAZIONALE VENTO

VENTO[®]

PROGETTO DEFINITIVO - ESECUTIVO
Ponte SP196 di Maccastorna - Crotta d'Adda

COMMITTENTE:

Agenzia Interregionale per il fiume Po
Ufficio operativo di Cremona

R.U.P. : Ing. Alessio Picarelli

D.E.C. : Geom. Fernando Altobello

Coordinatore dei progetti: Dott. Christian Farioli

CUP : B17C20000070002

**RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE
PRESTAZIONI SPECIALISTICHE**

Ing. Lino Pollastri

Progettisti:

Arch. Enrico Costa
Arch. Renato Da Re
Ing. Elena Guerzoni
Ing. Elettra Lowenthal
Arch. Gianluca Parcianello
Arch. Lio Parcianello
Ing. Mauro Perini (DT)
Ing. Alessandro Placucci
Ing. Lino Pollastri
Ing. Francesco Seneci

Progettista strutturale:

Ing. Lorena Ragnacci

Geologo:

Dott. Geol. Mirko Demozzi



MATE Soc. Coop.va
C.F./p.IVA 03419611201
pec mateng@legalmail.it
mateng@mateng.it

Via S.Felice 21
40122 Bologna (BO)
T +39 051 29 12 911



Parcianello & Partners engineering s.r.l.

C.F./p.IVA 01041760255
pec studio@pec.studioparcianello.com
studio@studioparcianello.com

Via G. Matteotti 30/d
32016 Alpage - Farra (BL)
T +39 043 74 6100



Cooprogetti Soc. Coop.
C.F./p.IVA 00424850543
pec coopprogetti@pec.it
staff@coopprogetti.it

Via della Piaggiola 152
06024 Gubbio (PG)
T +39 075 92 3011



NetMobility s.r.l.
C.F./p.IVA 03184140238
pec netmobility@pec.it
netmobility@netmobility.it

Via G. Morgagni 24
37135 Verona (VR)
T +39 045 82 50 176

OGGETTO:

ELABORATI GRAFICI

**RELAZIONE DI SINTESI DEI RISULTATI
DELLE INDAGINI**

AIPO20050

cod. commessa

DATA:

SCALA:

REVISIONE:

D 1 7

num. elaborato

Aprile 2022

-

0

REDATTO: LR

APPROVATO: LP

VERIFICATO: MP


RAPPORTO TECNICO DI PROVA

PONTE SUL FIUME ADDA TRA MACCASTORNA E CROTTA D'ADDA

Indagini Diagnostiche e Conoscitive



p.c.: AIPO – Agenzia Interregionale per il fiume Po

Documento RdP-135-2022	Data Marzo 2022	Pagine relazione 23
Revisione -	Data revisione -	Allegati 1. Piano delle indagini 2. Dettagli costruttivi 3. Rapporti di prova 4. Indagine con georadar
Il Responsabile ing. Paolo Panzeri 		

INDICE

1	PREMESSE E SCOPI	3
2	RILIEVO GEOMETRICO STRUTTURALE E DETTAGLI COSTRUTTIVI	4
2.1	INDAGINI GEOMETRICHE E TIPOLOGICHE SU ELEMENTI IN C.A.	4
2.1.1	Rilievo mediante scassi localizzati.....	4
2.1.2	Rilievo con pacometro	5
2.2	STATO DI CONSERVAZIONE	8
3	CARATTERIZZAZIONE DEL CALCESTRUZZO ARMATO.....	10
3.1	PRELIEVO DI BARRE D'ARMATURA E PROVE DI TRAZIONE	10
3.2	PRELIEVO E PROVE DI COMPRESSIONE SU CAROTE DI CALCESTRUZZO	12
3.3	PROVE DOORSTOPPER	15
4	INDAGINE GEORADAR	18
4.1	STRUMENTAZIONE DI MISURA ED ACQUISIZIONE DATI	18
4.2	MODALITÀ DI ESECUZIONE DELL'INDAGINE	20
4.3	RISULTATI OTTENUTI.....	20

ALLEGATI

Allegato 1: Tav.01 Piano delle indagini

Allegato 2: Tav.01-05 Dettagli costruttivi

Allegato 3: Rapporti di prova

Allegato 4: Tav.01 Indagine con georadar

1 PREMESSE E SCOPI

La presente relazione riferisce in merito ai risultati delle indagini diagnostiche e conoscitive condotte presso il ponte sul fiume Adda fra Maccastorna e Crotta d'Adda.

Gli esami e le analisi hanno riguardato gli elementi che costituiscono le strutture portanti del manufatto.

Le indagini sono state eseguite dal 14 al 18 febbraio 2022 e il 1° marzo 2022 dai tecnici specializzati della P&P LMC di Seriate (BG) secondo quanto preventivamente concordato con la Committenza.

Nella tabella di seguito si elencano in sintesi le indagini effettuate e la relativa nomenclatura.

PIANO DELLE INDAGINI		
ID	Tipologia di indagine	Quantità
PC	Prova pacometrica	15
A	Prelievo barre d'armatura per prove di trazione	11
C	Prelievo di carote in cls per prove di compressione	15
TRAC.CAV.PRE	Rilievo mediante georadar del tracciato dei cavi precompressi	1
ISP.CAMP.	Ispezione campata	1
RIL.TEN.CLS	Prova di rilascio di tensione cls	2

L'ubicazione delle indagini effettuate è riportata in specifico allegato alla presente relazione.

Nei successivi paragrafi vengono esposte le modalità di rilievo geometrico, le tecniche di prova, le modalità di analisi e si riportano i risultati ottenuti dalle indagini.

2 RILIEVO GEOMETRICO STRUTTURALE E DETTAGLI COSTRUTTIVI

Nell'ambito della campagna di indagine sono stati effettuati rilievi geometrici dei principali elementi strutturali del fabbricato.

Le modalità di rilievo e le informazioni raccolte sono contenute nei paragrafi seguenti.

2.1 INDAGINI GEOMETRICHE E TIPOLOGICHE SU ELEMENTI IN C.A.

Di seguito si descrivono le indagini effettuate per il rilievo geometrico strutturale degli elementi in c.a. del fabbricato.

2.1.1 *Rilievo mediante scassi localizzati*

Nei punti indicati nel piano di indagine con la sigla "PC" è stato effettuato un rilievo geometrico dell'elemento indagato mediante le seguenti operazioni.

Le indagini sulle pile e sulla spalla oggetto di indagini sono state eseguite attraverso i seguenti passi:

- determinazione delle dimensioni dell'elemento;
- scarifica del copriferro determinandone lo spessore e mettendo a nudo le armature di taglio (staffe) e quelle verticali;
- determinazione della tipologia, diametro e passo delle armature verticali e delle staffe.

Per le indagini sull'impalcato si è proceduto operando da piano calpestio così come di seguito indicato:

- eliminazione di eventuali strati posti superiormente all'elemento strutturale in modo da portare l'estradosso dell'oggetto in esame al rustico, rilevando la misura dello spessore degli strati superiori;
- scarifica del copriferro determinandone lo spessore e mettendo a nudo le barre d'armatura;
- determinazione della tipologia, diametro e passo delle armature.

Per le indagini sui pulvini si è proceduto come di seguito:

- determinazione delle dimensioni dell'elemento;
- scarifica del copriferro determinandone lo spessore e mettendo a nudo le barre d'armatura;
- determinazione della tipologia, diametro e passo delle armature.

Gli scassi sono stati integrati ove ritenuto opportuno da indagini pacometriche.

Al termine delle indagini il copriferro rimosso è stato ricostruito mediante apposita malta per ripristini strutturali.

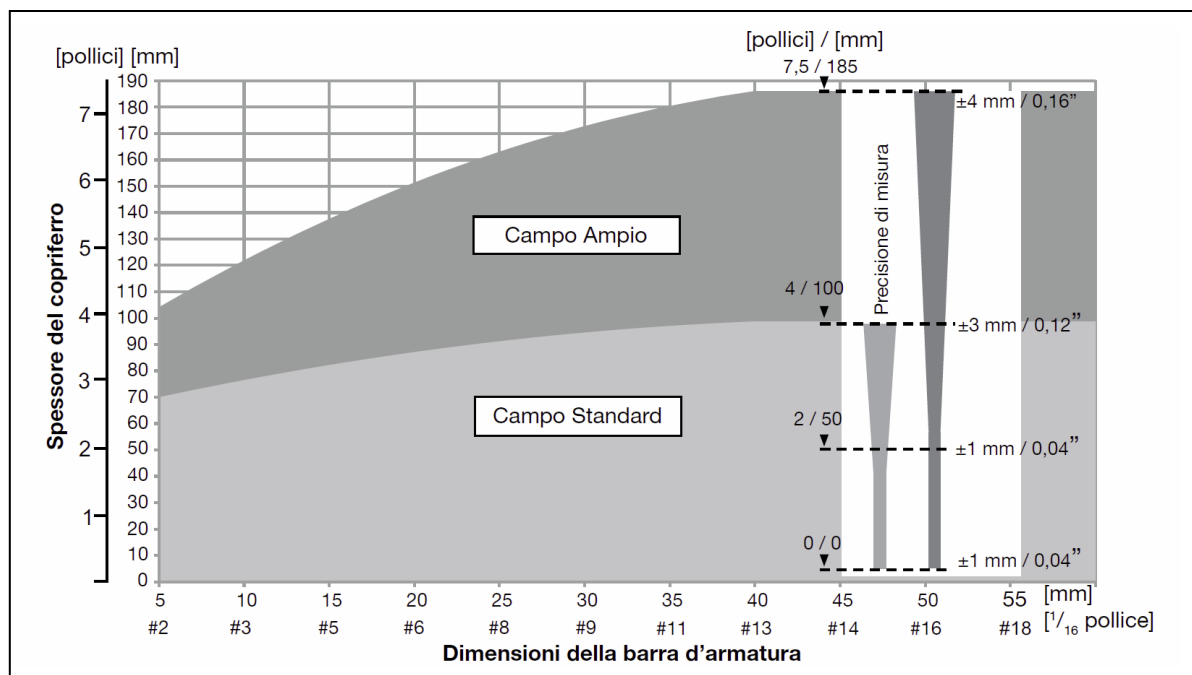
I risultati delle indagini eseguite in sito sono riportati nelle tavole dei dettagli costruttivi in allegato alla presente relazione.

2.1.2 Rilievo con pacometro

I punti oggetto di rilievo mediante scasso localizzato sono stati indagati anche mediante indagine pacometrica.

Lo strumento per l'indagine pacometrica si basa sull'applicazione della tecnica induttiva, che sfrutta la variazione del flusso magnetico generato da un magnete posto sulla superficie del calcestruzzo perturbato dalla presenza delle barre metalliche incluse nel conglomerato. L'intensità del flusso magnetico dipende non solo della presenza delle barre ma anche dallo spessore del copriferro e dal diametro delle stesse barre. Ne deriva pertanto che l'intensità del segnale e conseguentemente la capacità di individuare barre d'armatura e l'incertezza di misura, risultano condizionate dall'eventuale presenza di altro materiale conduttore posto in vicinanza (ad esempio presenza di armature vicine a quelle in esame e poste a distanza indicativamente inferiore a 400 mm). Altri fattori che possono influenzare l'incertezza di misura sono la profondità del ricoprimento di calcestruzzo (ovvero il copriferro) e la stessa consistenza del calcestruzzo investigato.

Di seguito si fornisce un grafico che illustra indicativamente la capacità della strumentazione di individuare la presenza di barre d'armatura in funzione della profondità di copertura, indicando anche l'accuratezza attesa dalla misurazione. Si osserva che il grafico vale nell'ipotesi che non vi siano errori indotti dalla presenza di armature vicine. Pertanto, nel caso di presenza di armature entro il raggio d'influenza (circa 400 mm), la capacità dello strumento di individuare correttamente la presenza e il diametro delle armature e la relativa accuratezza di misurazione, può risultare ulteriormente condizionata.






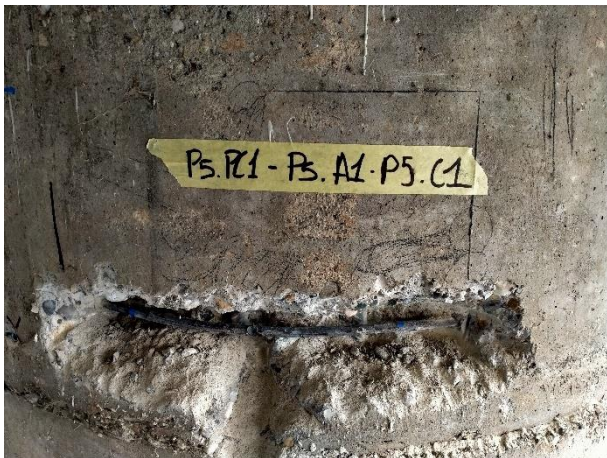
Campi di misura e precisione nella determinazione del copriferro


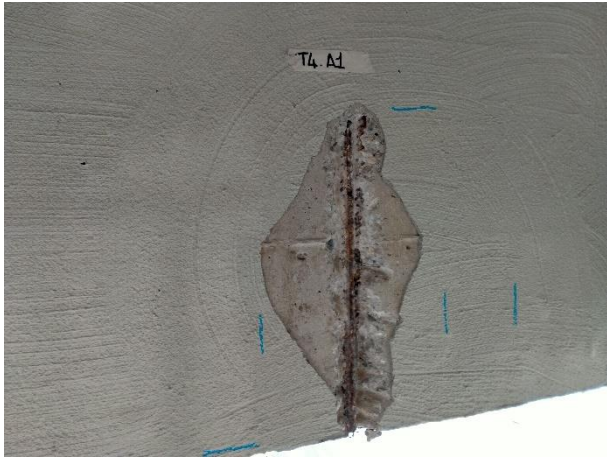




Il rilievo nei punti indagati è stato eseguito mediante le seguenti modalità:

- determinazione delle dimensioni dell'elemento strutturale;
- determinazione della posizione, diametro e passo delle barre d'armatura;
- misura del copriferro delle armature.

Il rilievo dei ferri d'armatura è stato effettuato compatibilmente con l'effettiva possibilità di raggiungere le varie facce dell'elemento in c.a..

Di seguito si raccolgono alcune foto esemplificative delle fasi di rilievo geometrico dei dettagli costruttivi.

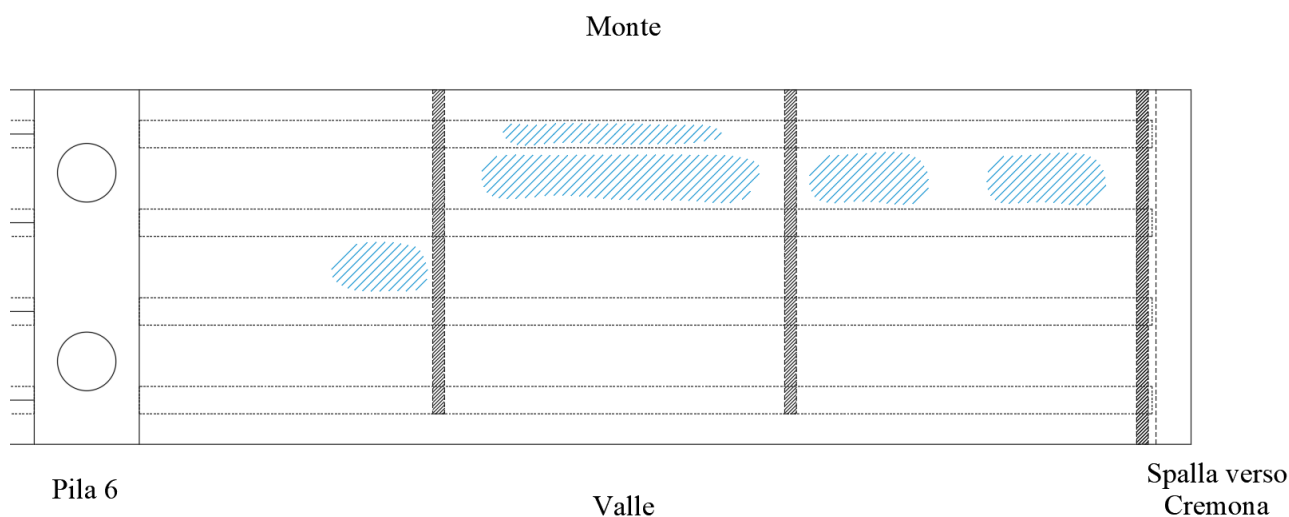
RILIEVO DEI DETTAGLI COSTRUTTIVI	
Rilievo armatura spalla	Rilievo armatura fondazione
	
Rilievo armatura pila	Rilievo armatura pila
	

Rilievo armatura pulvino	Rilievo armatura pulvino
	
Rilievo appoggio travi su pulvino	Rilievo appoggio travi su pulvino
	
Rilievo armatura impalcato	Rilievo armatura impalcato
	

2.2 STATO DI CONSERVAZIONE

La campagna di indagini ha previsto l'esecuzione di un'ispezione visiva per la verifica dello stato di conservazione delle strutture che costituiscono la campata posta tra la pila 6 e la spalla in direzione Cremona del manufatto.

In generale non sono stati rilevati gravi fenomeni di degrado e/o fessurazioni. La spalla e la pila risultano in buono stato di conservazione poiché recentemente sono state oggetto di manutenzione. L'intradosso dell'impalcato invece presenta macchie di umidità e deposito superficiale legato a inquinamento e polveri. Inoltre, si evidenziano zone, principalmente all'intradosso lungo il lato di monte, in cui le barre d'armatura risultano esposte e soggette a fenomeni di corrosione a causa del distacco del copriferro in calcestruzzo. Le aree caratterizzate da tale ammaloramento sono state evidenziate con tratteggio blu nell'immagine della planimetria riportata successivamente.



Planimetria campata oggetto di ispezione visiva

Agli appoggi delle travi sia in corrispondenza della spalla che del pulvino della pila è stata verificata la presenza di cuscinetti in neoprene che presentano uno spessore pari a 4 cm.

Di seguito si riportano alcune immagini dell'ispezione visiva eseguita.



Intradosso dell'impalcato



Distacco del calcestruzzo ed esposizione delle barre d'armatura



Distacco del calcestruzzo ed esposizione delle barre d'armatura

3 CARATTERIZZAZIONE DEL CALCESTRUZZO ARMATO

Per quanto concerne i materiali, sono state condotte prove sperimentali distruttive sugli elementi strutturali in calcestruzzo armato. Per caratterizzare il tipo di acciaio utilizzato si sono effettuati prelievi di spezzoni di barre d'armatura per l'esecuzione delle prove di trazione in laboratorio, mentre per la caratterizzazione delle proprietà meccaniche del calcestruzzo sono stati eseguiti prelievi di carote in cls per prove di compressione in laboratorio e prove doorstopper.

Di seguito si riportano le modalità di indagine e i risultati ottenuti.

3.1 PRELIEVO DI BARRE D'ARMATURA E PROVE DI TRAZIONE

Sono stati eseguiti n. 11 prelievi di barre d'armatura da un elemento in calcestruzzo armato. I punti di indagine sono segnalati nelle tavole tecniche in allegato con la sigla "A". I prelievi sono stati eseguiti secondo le prescrizioni della normativa UNI EN ISO 6892 assicurandosi una lunghezza utile per essere sottoposti a prova di trazione.

Le prove di trazione sui campioni prelevati sono state condotte presso il Laboratorio Ufficiale Min. LL.PP. Legge 1086/71 di P&P LMC.













Il rapporto di prova di trazione sulle barre d'armatura è riportato in allegato alla presente relazione.

Nella tabella seguente vengono raccolte le caratteristiche principali degli spezzoni estratti. Contestualmente si presentano in sintesi i risultati ottenuti dalle prove di laboratorio in termini di tensione di snervamento (f_y), tensione a rottura (f_{st}), allungamento percentuale (A_{gt}).

PROVE DI TRAZIONE SU BARRE D'ARMATURA							
ID	Elemento strutturale	ϕ [mm]	Tipo*	L [mm]	f_y [MPa]	f_{st} [MPa]	A_{gt} [%]
S2-A1	Spalla	14	AM	370	500,7	731,5	9,9
P1-A1	Pila	20	AM	300	466,9	678,9	3,5
P3-A1	Pila	12	L	330	400,6	582,6	3,8
P5-A1	Pila	12	L	350	349,1	498,0	5,6
F1-A1	Fondazione	20	AM	355	473,6	689,9	5,3
T1-A1	Pulvino	16	AM	390	431,8	671,0	6,2
T4-A1	Pulvino	20	AM	370	467,0	718,0	3,4
T5-A1	Pulvino	20	AM	380	466,4	703,5	5,2
IMP1-A2	Impalcato (marciapiede monte)	16	AM	350	500,0	760,4	2,4
IMP2-A1	Impalcato (valle)	12	AM	340	432,4	672,2	12,6
IMP2-A2	Impalcato (marciapiede valle)	16	AM	350	498,1	759,8	4,8
* Tondini lisci (L), aderenza migliorata (AM)							

Al termine delle indagini i punti di prelievo sono stati ripristinati mediante saldatura di spezzoni di barra sostitutivi e ricostruzione del copriferro mediante utilizzo di malta per ripristini strutturali.

Di seguito si riportano le immagini dei provini sottoposti a prova di trazione.

PRELIEVO DI BARRE D'ARMATURA		
S2-A1	P1-A1	P3-A1
		
P5-A1	F1-A1	T1-A1
		
T4-A1	T5-A1	IMP1-A2
		
IMP2-A1	IMP2-A2	Ripristino
		

3.2 PRELIEVO E PROVE DI COMPRESSIONE SU CAROTE DI CALCESTRUZZO

Per caratterizzare la resistenza meccanica a compressione del calcestruzzo sono stati effettuati n. 15 prelievi costituiti da un provino cilindrico avente diametro nominale pari a 80 o 100 mm. L'ubicazione dei punti di indagine è indicata nel piano di indagine in allegato con la sigla "C".

Il carotaggio è stato eseguito secondo le prescrizioni della norma UNI EN 12504-1 procedendo in profondità in modo da assicurare il prelievo di carota di lunghezza utile per l'esecuzione della prova di compressione con l'accortezza di non intercettare barre di armatura. Prima dell'esecuzione del carotaggio è stata, al proposito, eseguita la ricerca della posizione di eventuali ferri d'armatura tramite pacometro.

Sul provino appena estratto dalla struttura è stata eseguita (secondo norma UNI EN 14630) la prova di carbonatazione con il metodo del viraggio chimico, utilizzando come indicatore una soluzione acquosa di fenolftaleina all'1% in alcool etilico al 70%. Tale soluzione vira al rosso-violetto a contatto con materiali aventi un pH superiore a 9,2, mentre rimane incolore per valori di pH inferiori. In queste condizioni il ferro d'armatura perde la sua passività ed è quindi in grado di subire la corrosione.

La carota estratta, previo condizionamento con taglio (per eliminare la testa del campione) e successiva spianatura, è stata sottoposta a prova di resistenza a compressione presso il Laboratorio Ufficiale Min. LL.PP. Legge 1086/71 di P&P LMC.

Il rapporto di prova di compressione sulle carote è riportato in allegato alla presente relazione.

Di seguito alcune immagini delle operazioni di carotaggio in situ.






Fasi di esecuzione dei carotaggi

Nella tabella seguente vengono raccolte in sintesi le caratteristiche dei provini estratti e contestualmente si presentano i risultati ottenuti dalle prove di compressione e di carbonatazione.

PROVE DI COMPRESSIONE SU CAROTE IN CALCESTRUZZO									
ID	Elemento strutturale	L _{carota estratta} [cm]	P _{carbonat.} [cm]	Ø [mm]	H _{carota} [mm]	Ø/H	Massa volumica [kg/m ³]	R _c carota [Mpa]	Tipo rottura*
S2-C1	Spalla	19	1,2	94	94	1/1	2390	55,7	S
P1-C1	Pila	12	2	94	94	1/1	2370	61,5	S
P3-C1	Pila	19	2	94	94	1/1	2350	52,7	S
P5-C1	Pila	18	3	94	94	1/1	2330	40,3	S
F1-C1	Fondazione	14	0,2	94	93	1/1	2340	63,1	S
PF1-C1	Palo di fondazione	16,5	0	94	94	1/1	2330	17,9	S
T1-C1	Pulvino	19,5	0	94	94	1/1	2320	58,8	S
T4-C1	Pulvino	12	1	94	94	1/1	2360	61,2	S
T5-C1	Pulvino	17	2	94	93	1/1	2360	58,4	S
IMP1-C2	Impalcato (marciapiede monte)	16	0	94	94	1/1	2390	46,8	S
IMP2-C1	Impalcato (valle)	17	0	94	93	1/1	2370	60,6	S
IMP2-C2	Impalcato (marciapiede valle)	14,5	0	94	94	1/1	2370	59,4	S
IMP3-C2	Impalcato (marciapiede monte)	16	0	94	95	1/1	2310	51,8	S
IMP4-C1	Impalcato (valle)	16	0	74	74	1/1	2300	54,1	S
IMP4-C2	Impalcato (marciapiede valle)	18	0	94	94	1/1	2310	67,8	S
*Tipo di rottura: S = soddisfacente (bitronco-conica); A÷K = non soddisfacente.									

Di seguito si mostrano le immagini del campione estratto in sito su cui è stata eseguita la prova di carbonatazione.

PRELIEVI DI CAROTE IN CALCESTRUZZO		
S2-C1	P1-C1	P3-C1
		

P5-C1	F1-C1	PF1-C1
		
T1-C1	T4-C1	T5-C1
		
IMP1-C2	IMP2-C1	IMP2-C2
		
IMP3-C2	IMP4-C1	IMP4-C2
		

3.3 PROVE DOORSTOPPER

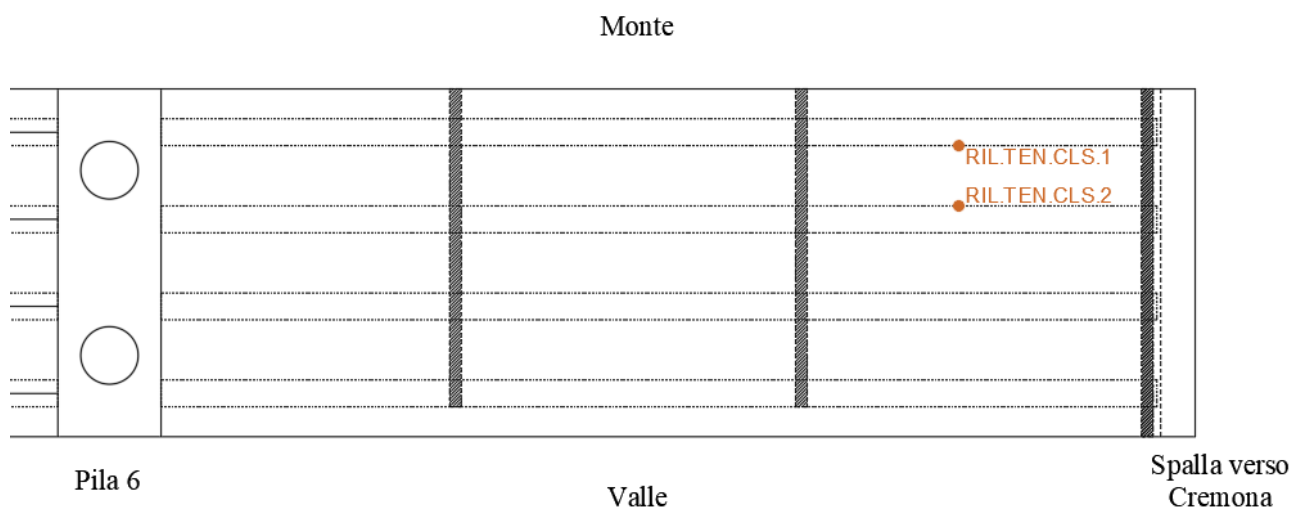
Al fine di verificare lo stato tensionale del calcestruzzo che costituisce le travi dell'impalcato sono state eseguite n.2 prove doorstopper che si basa sul metodo del “rilascio delle tensioni” e consiste nell'annullare completamente lo stato di sforzo in un'area circoscritta dell'elemento, isolando tale zona con l'esecuzione di un carotaggio. La variazione della deformazione unitaria sulla carota, misurata prima e dopo l'esecuzione del carotaggio, è legata in modo diretto allo stato di sforzo preesistente in tale area.

Sulla superficie delle travi oggetto di indagine, previa accurata pulizia, è stato applicato in corrispondenza del centro della carota da isolare un estensimetro elettrico disposto a 0° rispetto all'orizzontale e successivamente si è proceduto con una prima misurazione.

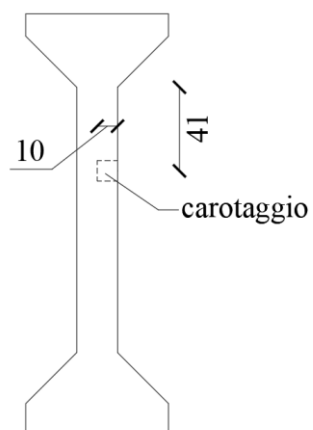
Prima di effettuare l'operazione di carotaggio, l'estensimetro e il cavo di collegamento alla centralina sono stati protetti adeguatamente al fine di evitare danni alla strumentazione.

Il carotaggio è stato eseguito mediante carotatrice con corona di diametro pari a 100 mm e per una profondità pari a circa 100 mm, sufficiente a garantire il completo annullamento dello sforzo verticale sulla superficie esterna della carota. A seguito del carotaggio è stata effettuata una nuova misura.

Si riporta un estratto della planimetria del manufatto con indicata l'ubicazione delle travi su cui sono state effettuate le prove e uno schema della trave con indicata la posizione del carotaggio.







Planimetria con ubicazione delle due prove doorstopper



Trave con indicata l'ubicazione del carotaggio

Di seguito si mostrano le immagini delle prove eseguite.

PROVE DOORSTOPPER	
RIL.TEN.CLS.1	
	
RIL.TEN.CLS.2	
	

Le misure ottenute mediante le prove eseguite vengono espresse in $\mu\epsilon$ e per tale motivo mediante modulo elastico è possibile ottenere lo sforzo relativo σ [MPa].

Di seguito nella tabella si riportano i risultati ottenuti dalle prove effettuate. Il segno negativo nella prima lettura indica che il calcestruzzo indagato, prima dell'esecuzione del carotaggio, era in compressione.

PROVE DOORSTOPPER				
ID	Elemento strutturale	$\mu\epsilon$ prima del carotaggio	$\mu\epsilon$ dopo il carotaggio	$\Delta \mu\epsilon$
RIL.TEN.CLS.1	Trave	-302,5	-230,5	72,0
RIL.TEN.CLS.2	Trave	-215,0	-127,5	87,5

4 INDAGINE GEORADAR

La tecnica di indagine comunemente definita georadar (nota in campo internazionale con la locuzione di origine anglosassone di Ground Probing Radar - GPR), è una tecnica di indagine del sottosuolo o dei materiali, condotta a piccole profondità, basata sulla riflessione delle onde elettromagnetiche con frequenza compresa tra 10 e 3000 MHz.

Il georadar, una volta valutate le caratteristiche elettriche del mezzo attraversato dall'impulso elettromagnetico, è in grado di "vedere" la forma dell'oggetto, il suo spessore e valutare la profondità alla quale esso si trova, con una precisione ed una attendibilità che sono normalmente funzione di alcuni parametri ed in particolare:

- materiale nel quale si indaga;
- profondità a cui si trova l'oggetto di interesse;
- dimensioni geometriche dell'oggetto di interesse.

La tecnica operativamente consiste nell'invio nel materiale di impulsi elettromagnetici ad alta frequenza (radio frequenze) e nella misura del tempo impiegato dal segnale a ritornare al ricevitore dopo essere stato riflesso da eventuali discontinuità intercettate durante il suo percorso. Tali riflessioni sono causate in generale dal cambiamento delle proprietà elettriche del materiale, dalla variazione del contenuto d'acqua, da cambiamenti litostratigrafici. In particolare, nel caso della prospezione per scopi strutturali e/o geotecnici, le riflessioni possono essere prodotte da strutture, da vuoti presenti nel terreno, da elementi metallici e da superfici di contatto tra strati differenti.

Graficamente l'indagine restituisce una "vista" in profondità nel materiale indagato con presenza di segni noti come "iperboli di riflessione", il cui vertice indica la posizione spaziale di un generico oggetto rilevato all'interno della matrice del materiale investigato.

4.1 STRUMENTAZIONE DI MISURA ED ACQUISIZIONE DATI

Il sistema è costituito nel suo complesso da un'unità centrale che genera il segnale e da un'antenna di opportuna frequenza che lo trasmette e lo riceve. La strumentazione più raffinata consente di connettere - non contemporaneamente - più antenne di diversa frequenza allo scopo di ottimizzare la qualità dell'indagine, privilegiando a seconda dei casi la precisione dell'indagine a discapito della profondità di penetrazione oppure quest'ultima rinunciando in parte alla migliore precisione e quindi alla qualità nell'individuazione degli oggetti ricercati.

La visualizzazione dei tracciati avviene attraverso lo schermo di un computer connesso all'unità centrale attraverso un cavo ethernet.

Nel caso in esame l'indagine è stata condotta utilizzando il Radar all-in-one C-Thru.

Il sistema è costituito nel suo complesso da un'unità all-in-one che genera il segnale e da una coppia di antenne integrate di opportuna frequenza che lo trasmettono e lo ricevono. La strumentazione raffinata consente di gestire contemporaneamente più antenne di diversa frequenza allo scopo di

ottimizzare la qualità dell'indagine, privilegiando a seconda dei casi la precisione dell'indagine a discapito della profondità di penetrazione oppure quest'ultima rinunciando in parte alla migliore precisione e quindi alla qualità nell'individuazione degli oggetti ricercati.

La visualizzazione dei tracciati avviene direttamente attraverso lo schermo dell'unità oppure attraverso lo schermo di un tablet con funzione di desktop remoto e connessione wifi.

Si riporta la scheda tecnica della strumentazione utilizzata:



SPECIFICHE TECNICHE		SPECIFICHE MECCANICHE	
ANTENNA CENTER FREQUENCY	2.0 GHz	DIMENSIONS (LENGTH X WIDTH X HEIGHT)	285mm x 200mm x 160mm (11.25" x 8.66" x 6.29")
ANTENNA POLARISATION	Horizontal and Vertical	WEIGHT	2.4 kg (5 lbs) with battery
NUMBER OF RADAR CHANNELS	2 (dual-polarised antennas)	DISPLAY	7.0 inches TFT multi-touch
SCAN INTERVAL	Up to 30 scans/min	SPECIFICHE ACCESSORI	
DEPTH RANGE	Up to 90 cm (up to 35.5 in.)	C-THRU EXTERNAL CONTROLLER	Data processing and representation of results in Augmented Reality
POSITIONING SYSTEM	"Virtual Pad" (based on 3 High safety - Class 1 laser sensors - with reflective band)	C-THRU HANDLE	<ul style="list-style-type: none"> Aluminum handle 1.5 m (5 ft) Remote control buttons
DATA STORAGE	32 GB		
CONNECTIVITY	USB, Wi-Fi		
DROP RESISTANT	COMPLIANT WITH MIL-STD-883C		

4.2 MODALITÀ DI ESECUZIONE DELL'INDAGINE

L'indagine georadar è stata condotta allo scopo di rilevare il tracciato dei cavi di precompressione lungo la trave posta a valle. Sono state eseguite n.28 scansioni con passo pari a 50 cm, partendo dalla spalla lato Lodi fino alla mezzeria, procedendo verso la pila 1.

Di seguito si riportano alcune immagini delle indagini effettuate.



Indagine georadar

Il layout delle scansioni eseguite e il tracciato individuato dei cavi di precompressione sono indicati nella tavola dell'indagine georadar in allegato al presente documento.

4.3 RISULTATI OTTENUTI

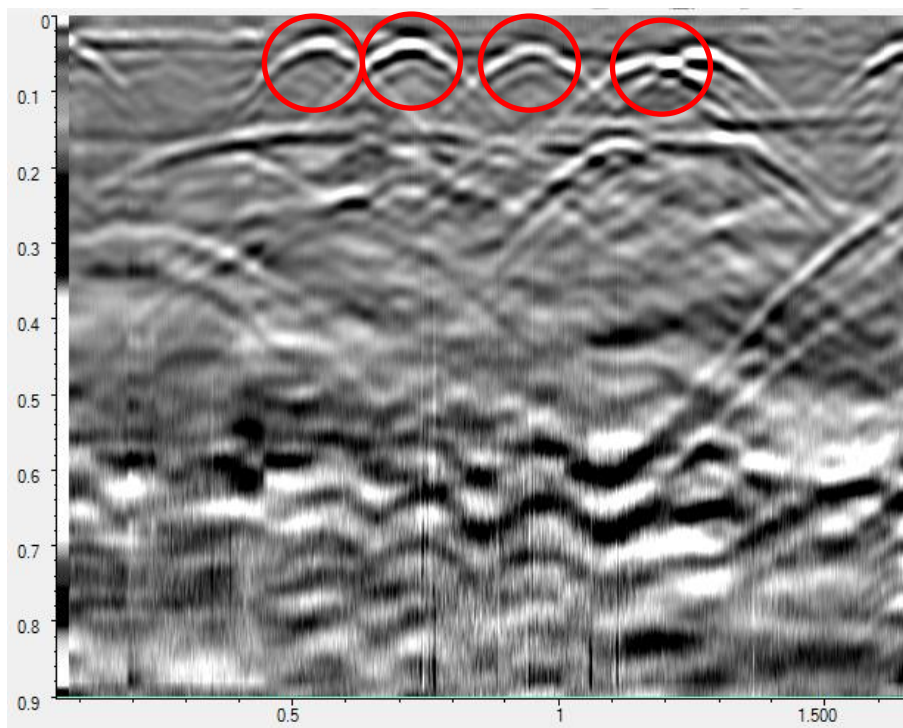
Le singole scansioni ottenute dalle indagini con georadar in sito sono state analizzate in dettaglio per individuare la presenza di interferenze nel segnale radar riconducibili alla presenza di elementi metallici.

Nelle scansioni effettuate si possono osservare le iperboli di riflessione poste ad una profondità variabile pari a circa 3÷9 cm che identificano la presenza dei cavi di precompressione. Tali perturbazioni del segnale radar vengono evidenziate con cerchi di colore rosso nelle immagini esemplificative riportate di seguito. L'indagine georadar ha evidenziato la presenza di ulteriori elementi metallici posti ad una profondità minore pari a circa 1÷1,5 cm, indicati con cerchi di colore blu nelle successive immagini.

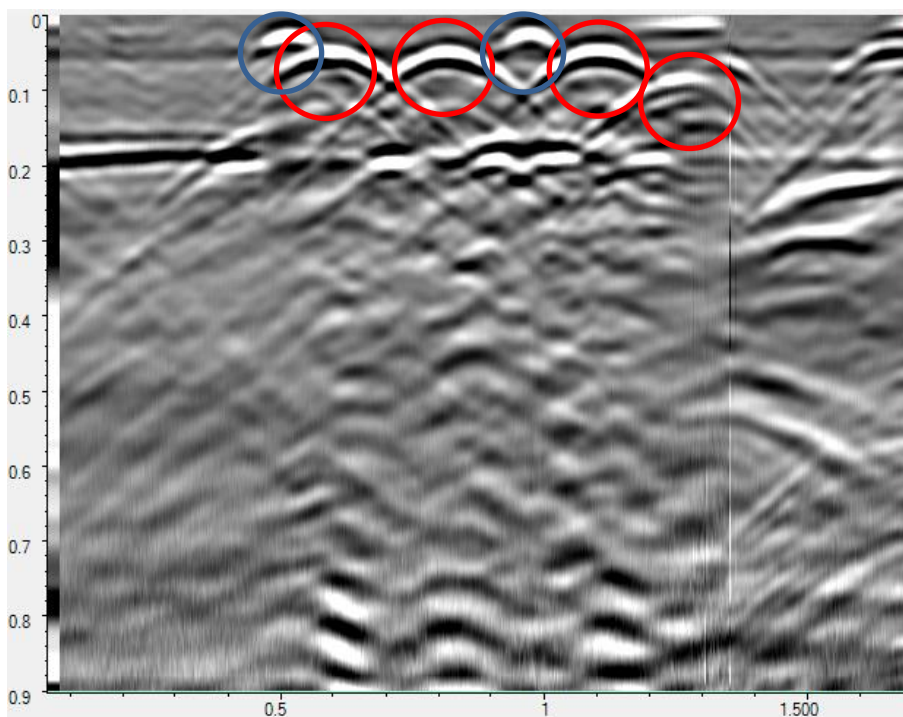
Nell'elaborato grafico in allegato alla presente relazione è stata indicata l'ubicazione puntuale delle iperboli di riflessione individuate dall'analisi di ogni singola scansione rappresentata mediante un cerchio. Successivamente congiungendo tali cerchi è stato possibile definire lo sviluppo dei tracciati dei cavi di precompressione e degli elementi metallici riscontrati.

Di seguito si riportano alcune scansioni esemplificative dell'indagine georadar effettuata.

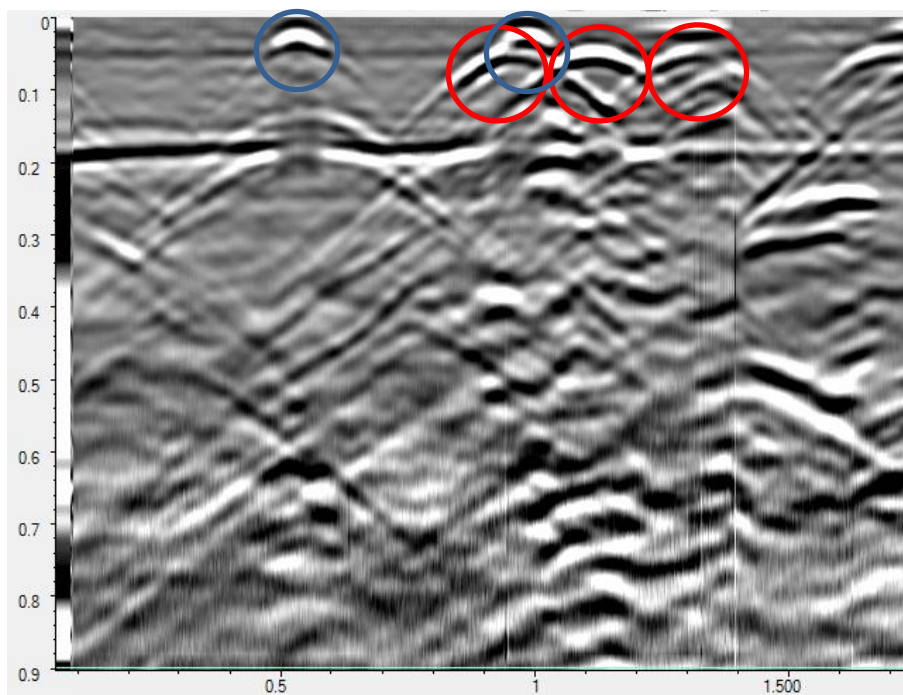
Scansione 2



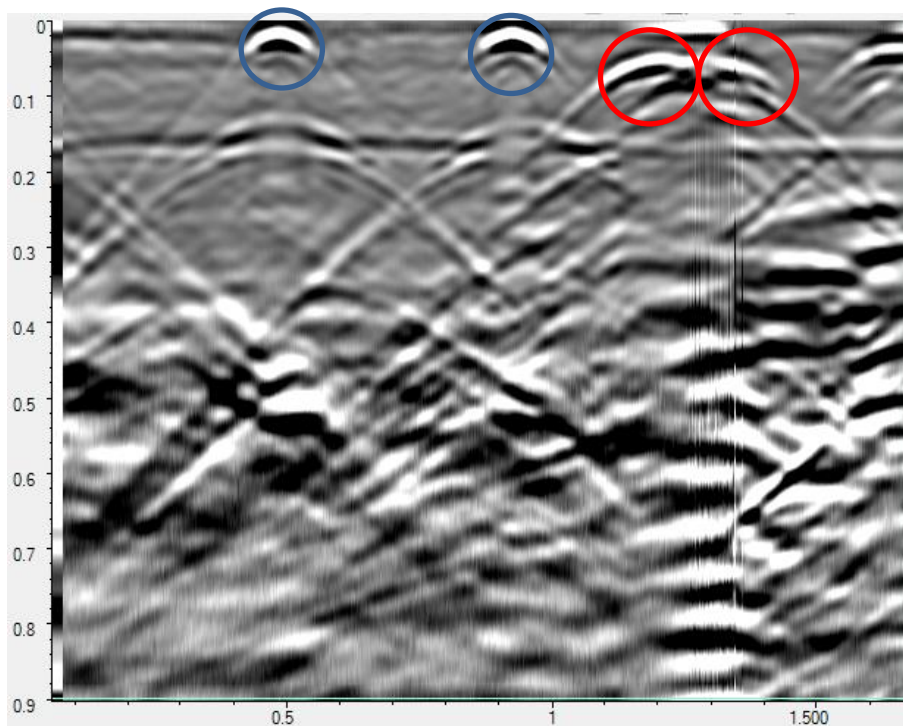
Scansione 6



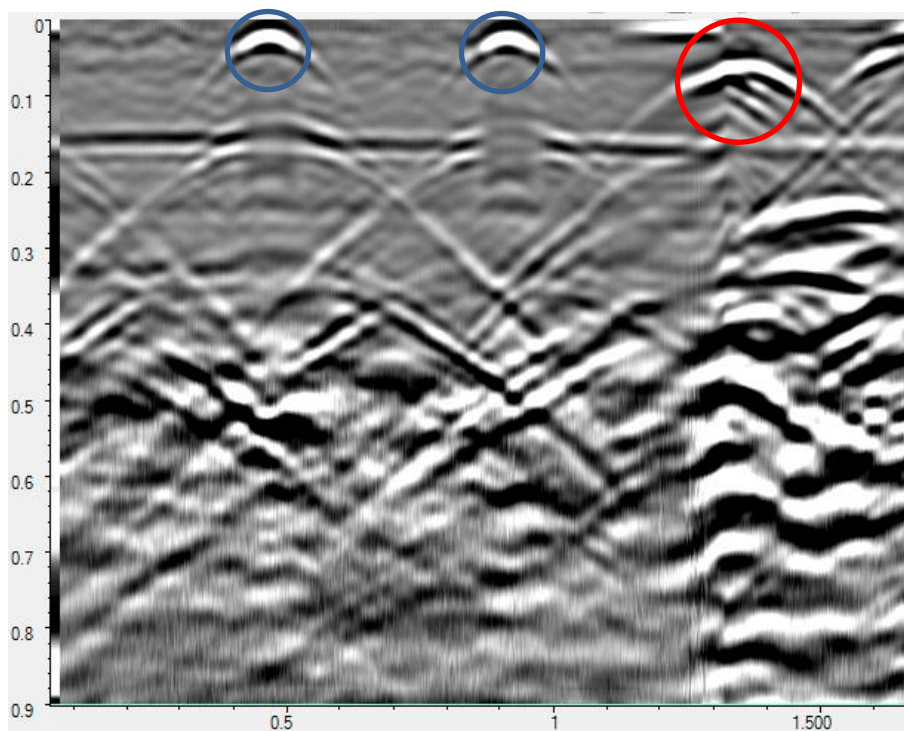
Scansione 10



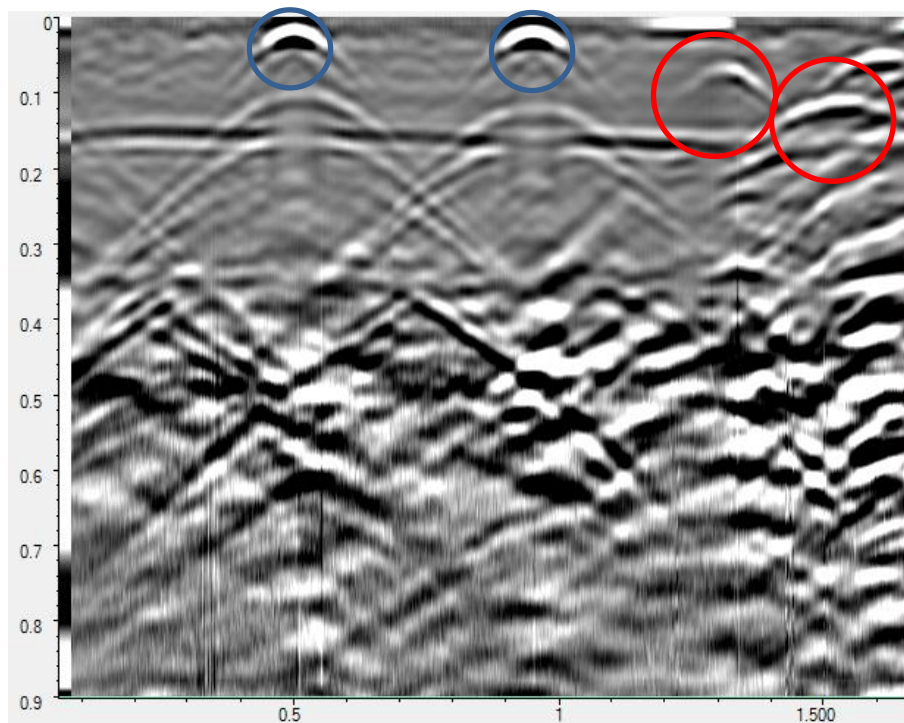
Scansione 15



Scansione 18



Scansione 26





Laboratori Materiali e Componenti

PONTE SUL FIUME ADDA TRA MACCASTORNA E CROTTA D'ADDA

Indagini diagnostiche conoscitive

ALLEGATI

1. PIANO DELLE INDAGINI

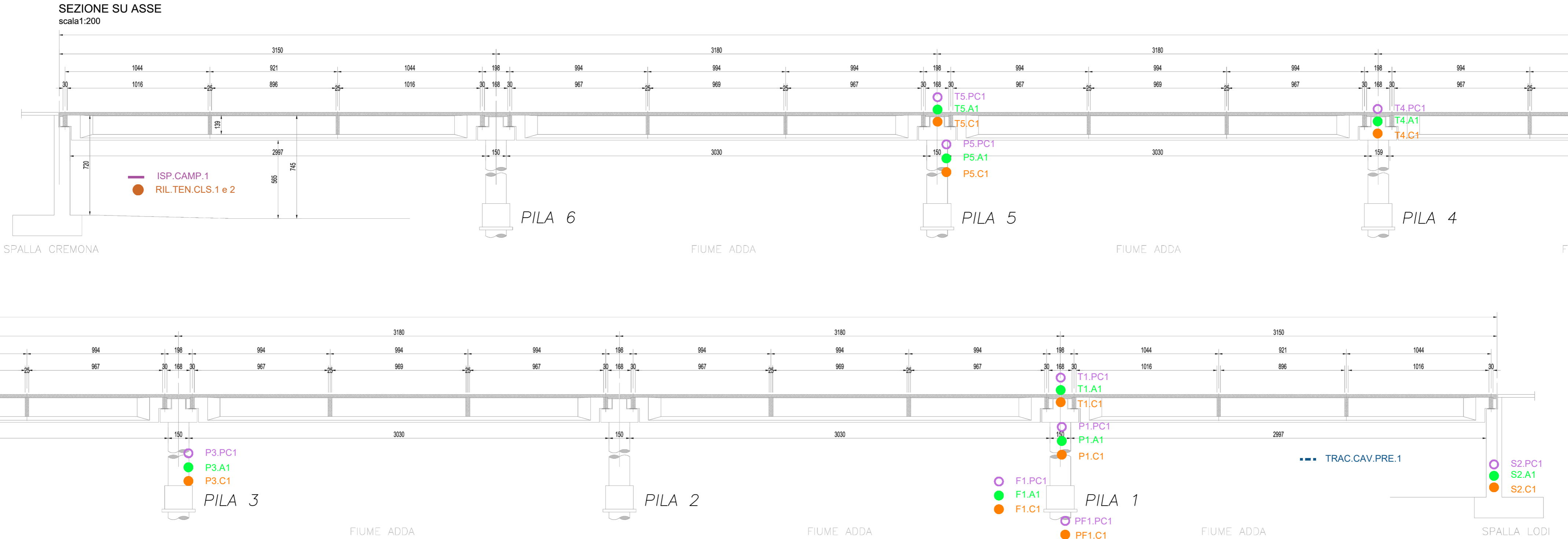
2. DETTAGLI COSTRUTTIVI

3. RAPPORTI DI PROVA

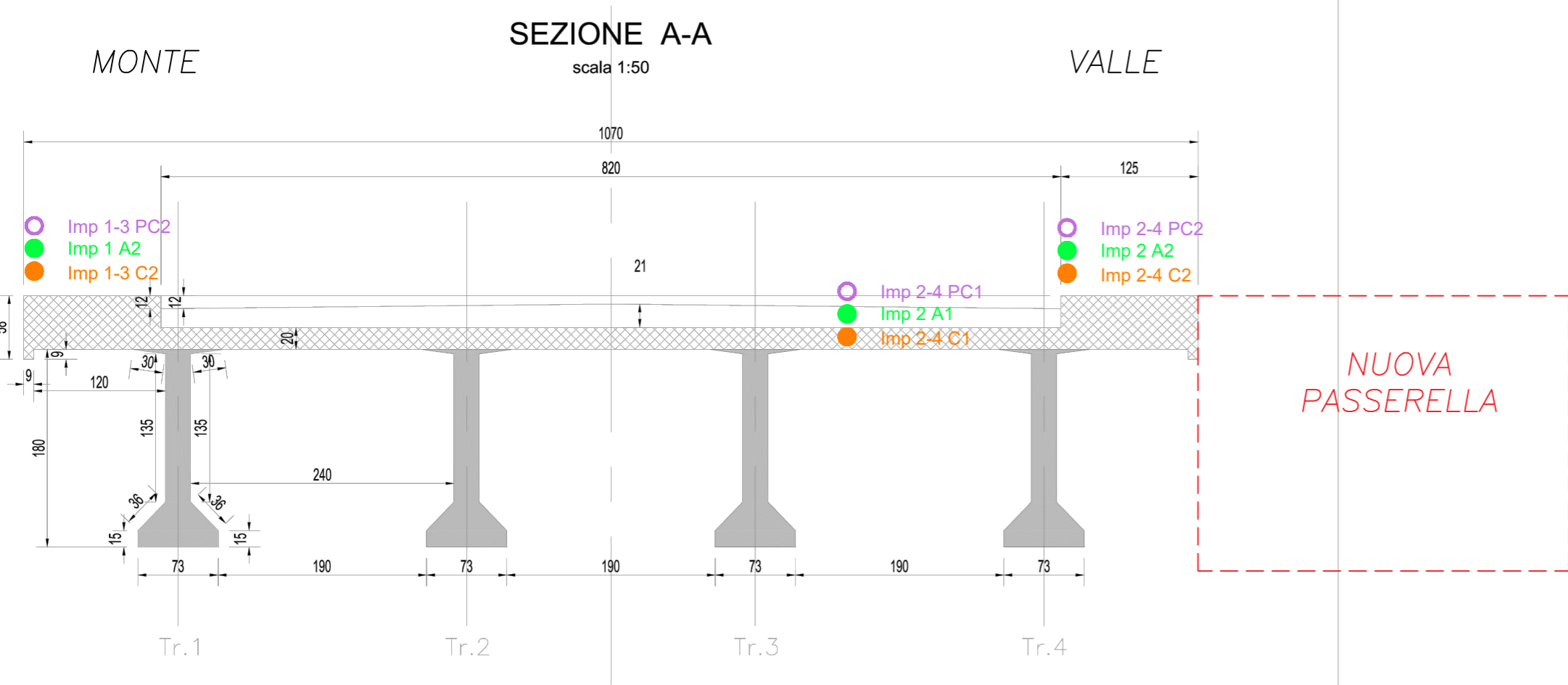
4. INDAGINE CON GEORADAR

p.c.: AIPO – Agenzia Interregionale per il fiume Po

INDAGINI SU PULVINI E PILE



INDAGINI SU IMPALCATO



INDAGINI:

Prelievo carote cls	C	Rilievo mediante pacometro	PC	Ispezione campata	ISP.CAMP.1
Prelievo barre	A	Rilievo mediante georadar	TRAC.CAV.PRE.1	Prova di rilascio di tensione cls	RIL.TEN.CLS.1 e 2

ELEMENTO STRUTTURALE:

Pila	P	Fondazione	F	Spalla	S
Pulvino	T	Palo di fondazione	PF	Impalcato	IMP

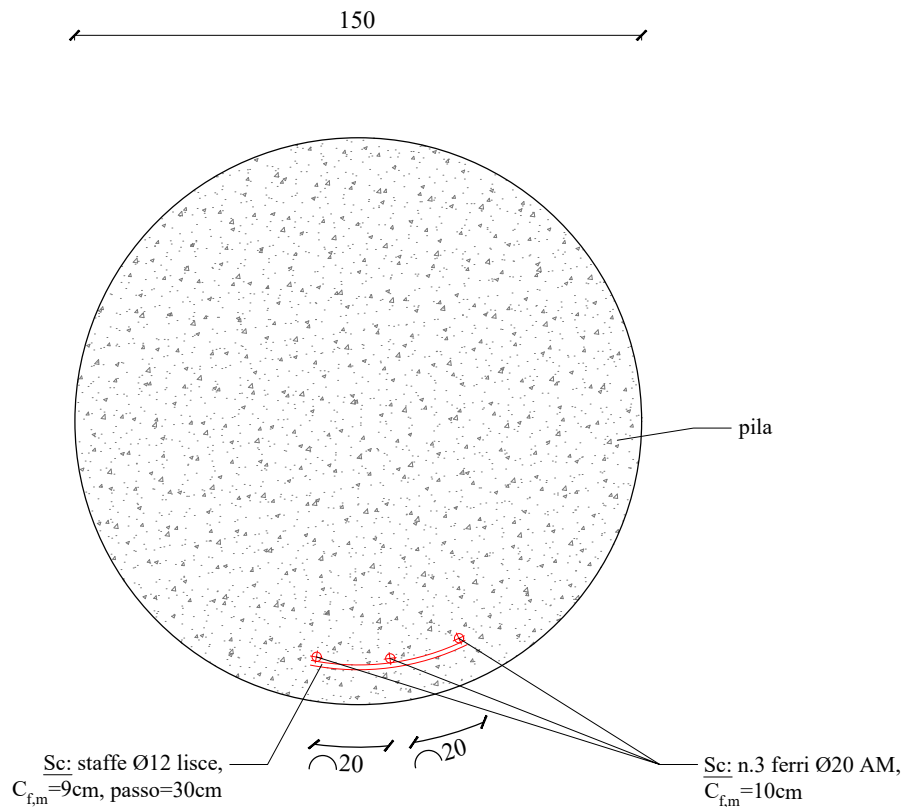
NOMENCLATURA:

Esempio:	P1-C1	P1=elemento strutturale C1=indagine
----------	-------	--

DETTAGLI COSTRUTTIVI

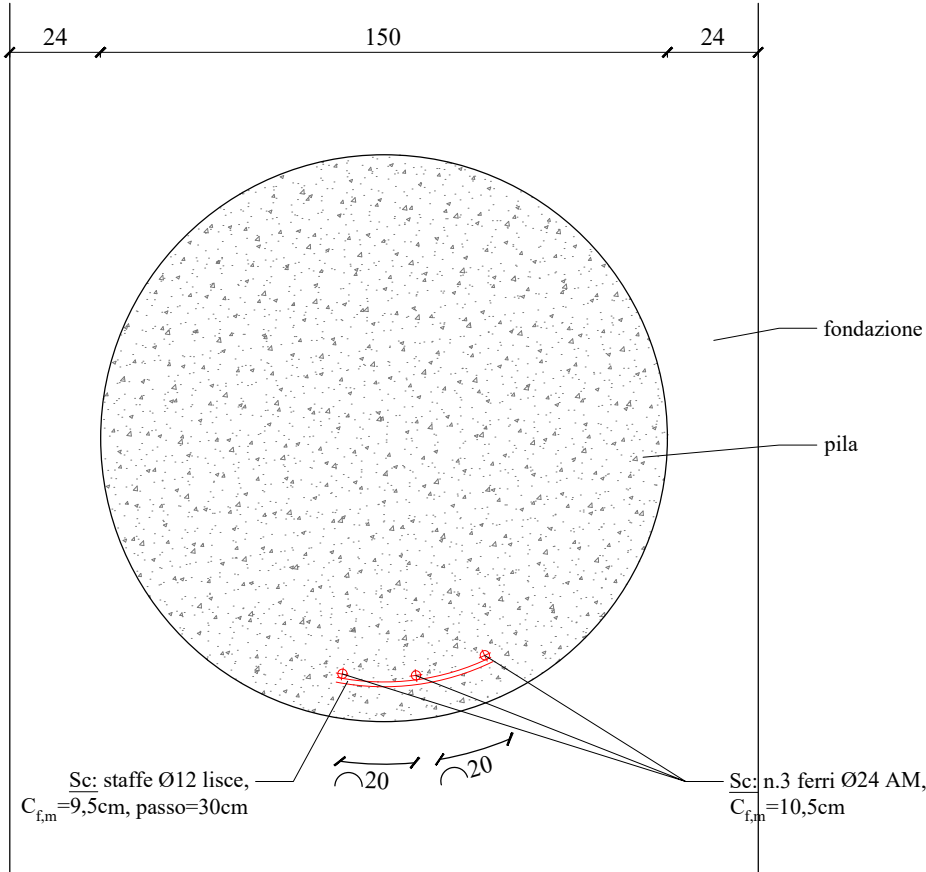
P1-PC1 | Elemento: PILA
Indagine e/o prova: RILIEVO, PACOMETRIA, SCASSO

Mediante indagine con pacometro non si rilevano barre d'armatura a causa dell'elevato spessore del copriferro.



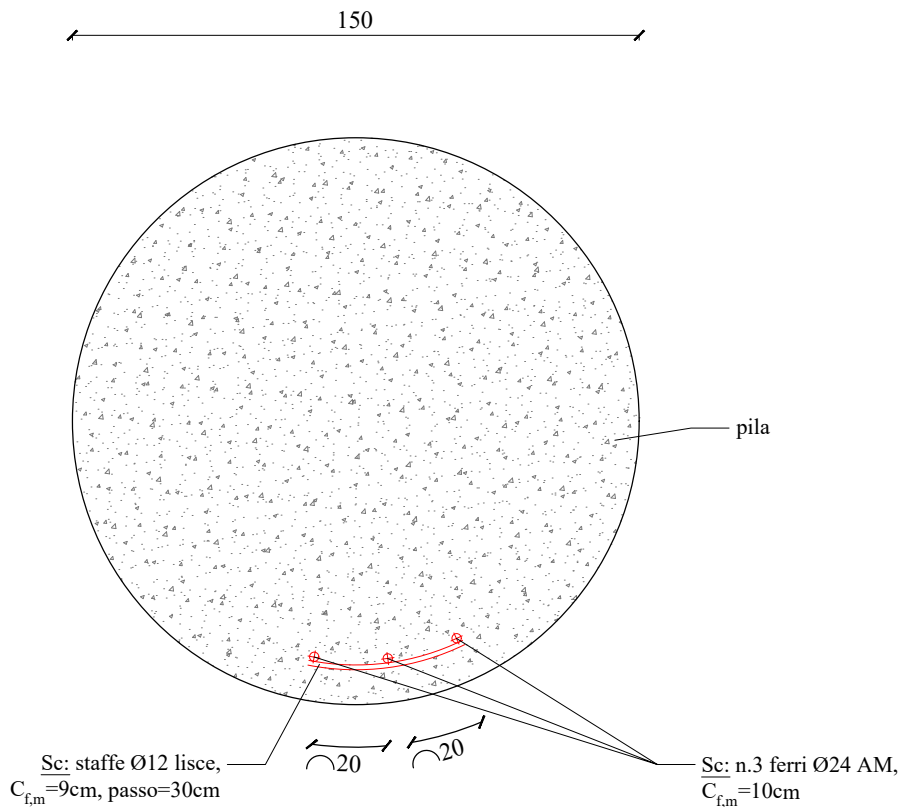
P3-PC1 | Elemento: PILA
Indagine e/o prova: RILIEVO, PACOMETRIA, SCASSO

Mediante indagine con pacometro non si rilevano barre d'armatura a causa dell'elevato spessore del copriferro.



P5-PC1 | Elemento: PILA
Indagine e/o prova: RILIEVO, PACOMETRIA, SCASSO

Mediante indagine con pacometro non si rilevano barre d'armatura a causa dell'elevato spessore del copriferro.

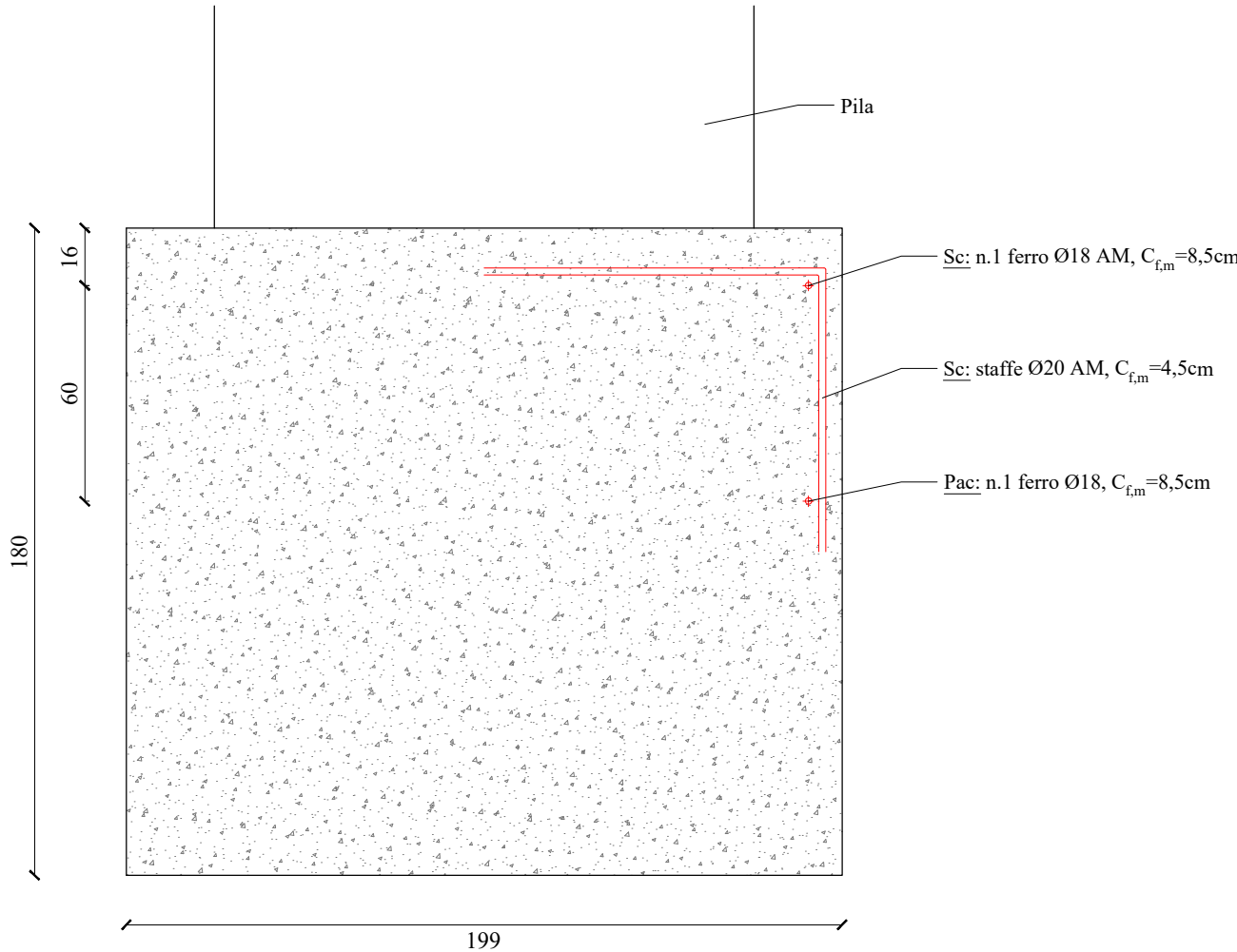


Nota
Sc: indagine mediante scasso
Pac: indagine mediante pacometro

DETTAGLI COSTRUTTIVI

F1-PC1 | Elemento: FONDAZIONE
Indagine e/o prova: RILIEVO, PACOMETRIA, SCASSO

Mediante indagine con pacometro non si rilevano ulteriori barre d'armatura a causa dell'elevato spessore del copriferro.

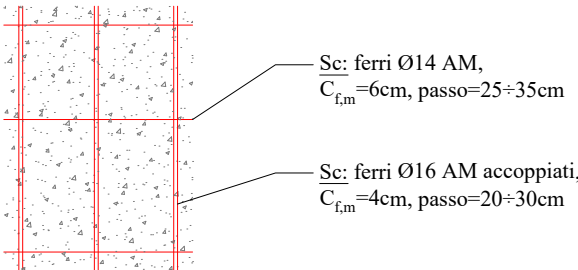


PF1-PC1 | Elemento: PALO DI FONDAZIONE
Indagine e/o prova: RILIEVO, PACOMETRIA, SCASSO

Mediante indagine con pacometro non è stato possibile rilevare barre d'armatura a causa dell'elevato spessore del copriferro.

S2-PC1 | Elemento: SPALLA
Indagine e/o prova: RILIEVO, PACOMETRIA, SCASSO

Prospetto

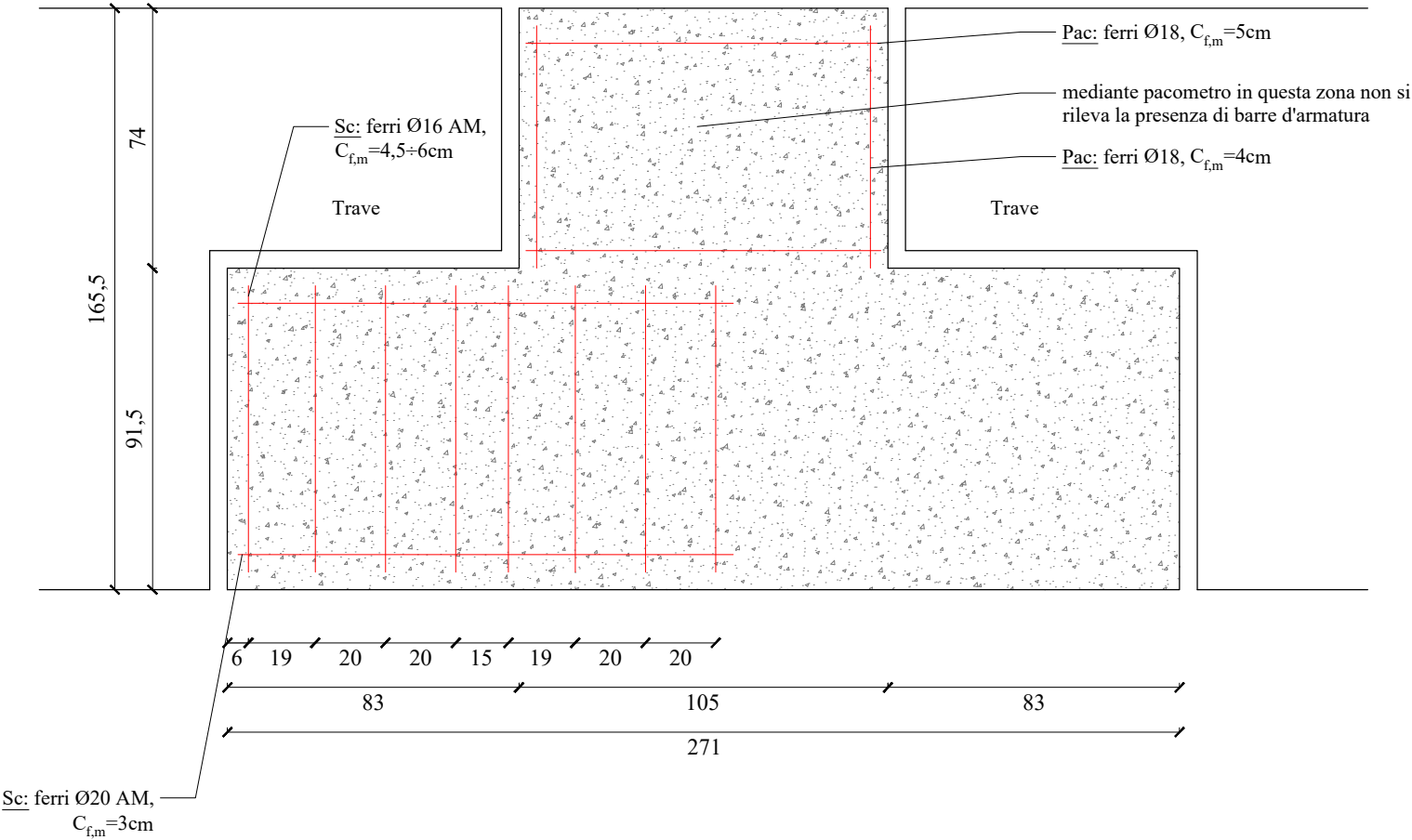


Nota
Sc: indagine mediante scasso
Pac: indagine mediante pacometro

DETTAGLI COSTRUTTIVI

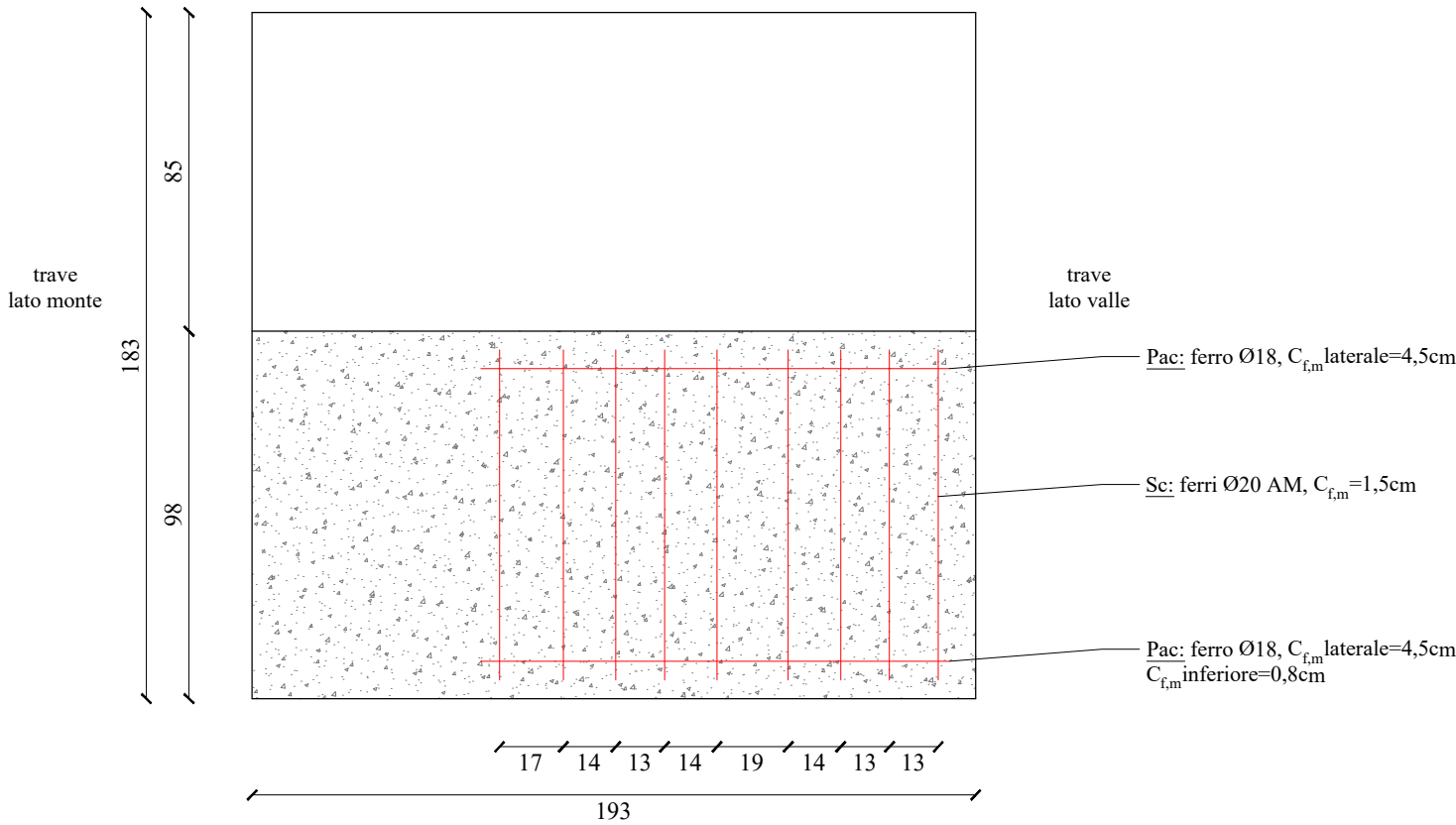
T1-PC1 | Elemento: PULVINO
Indagine e/o prova: RILIEVO, PACOMETRIA, SCASSO

Vista del pulvino frontale



T4-PC1 | Elemento: APPOGGIO TRAVI SU PULVINO
Indagine e/o prova: RILIEVO

Vista del pulvino laterale

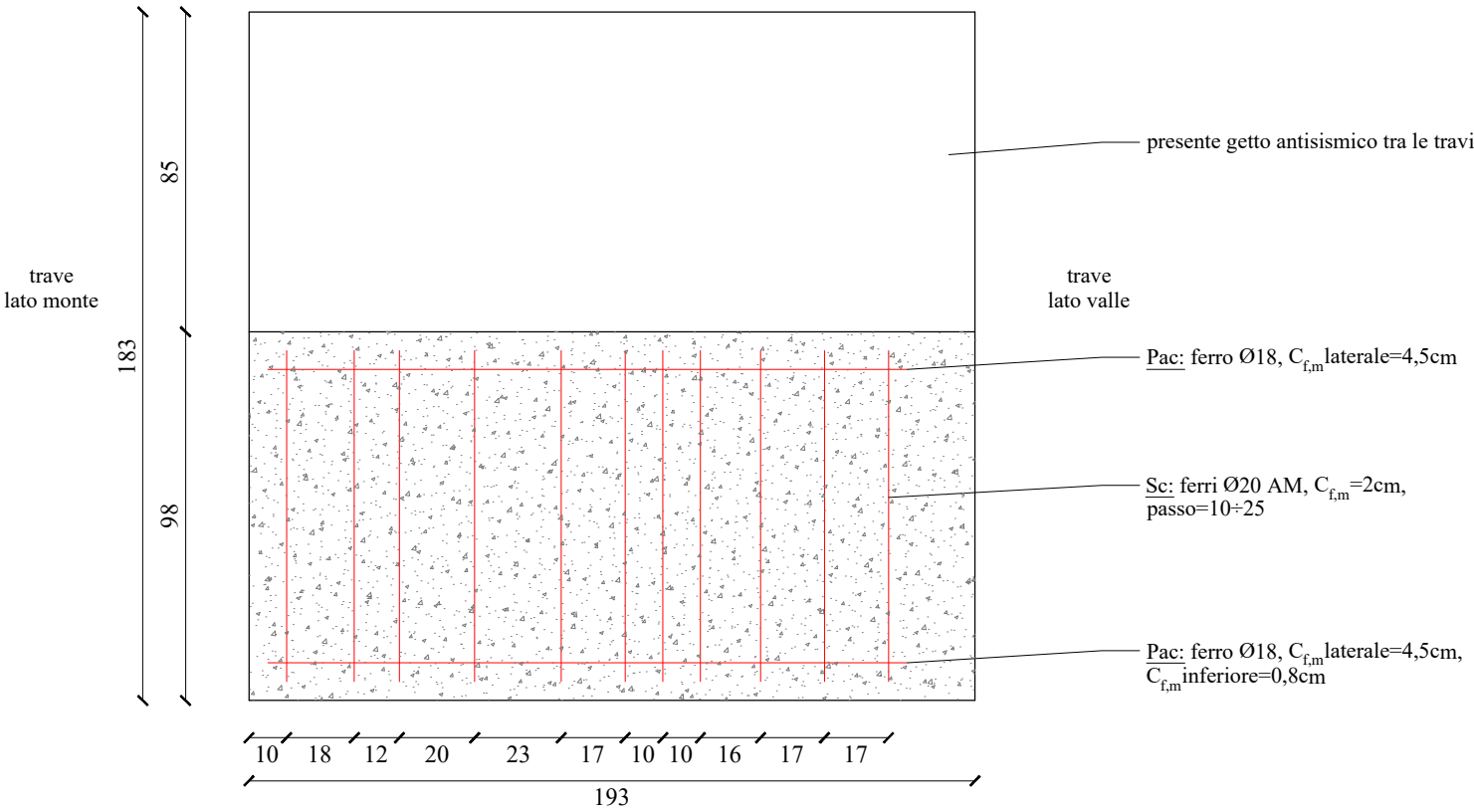


Nota
Sc: indagine mediante scasso
Pac: indagine mediante pacometro

DETTAGLI COSTRUTTIVI

T5-PC1.a | Elemento: PULVINO
Indagine e/o prova: RILIEVO, PACOMETRIA, SCASSO

Vista del pulvino laterale



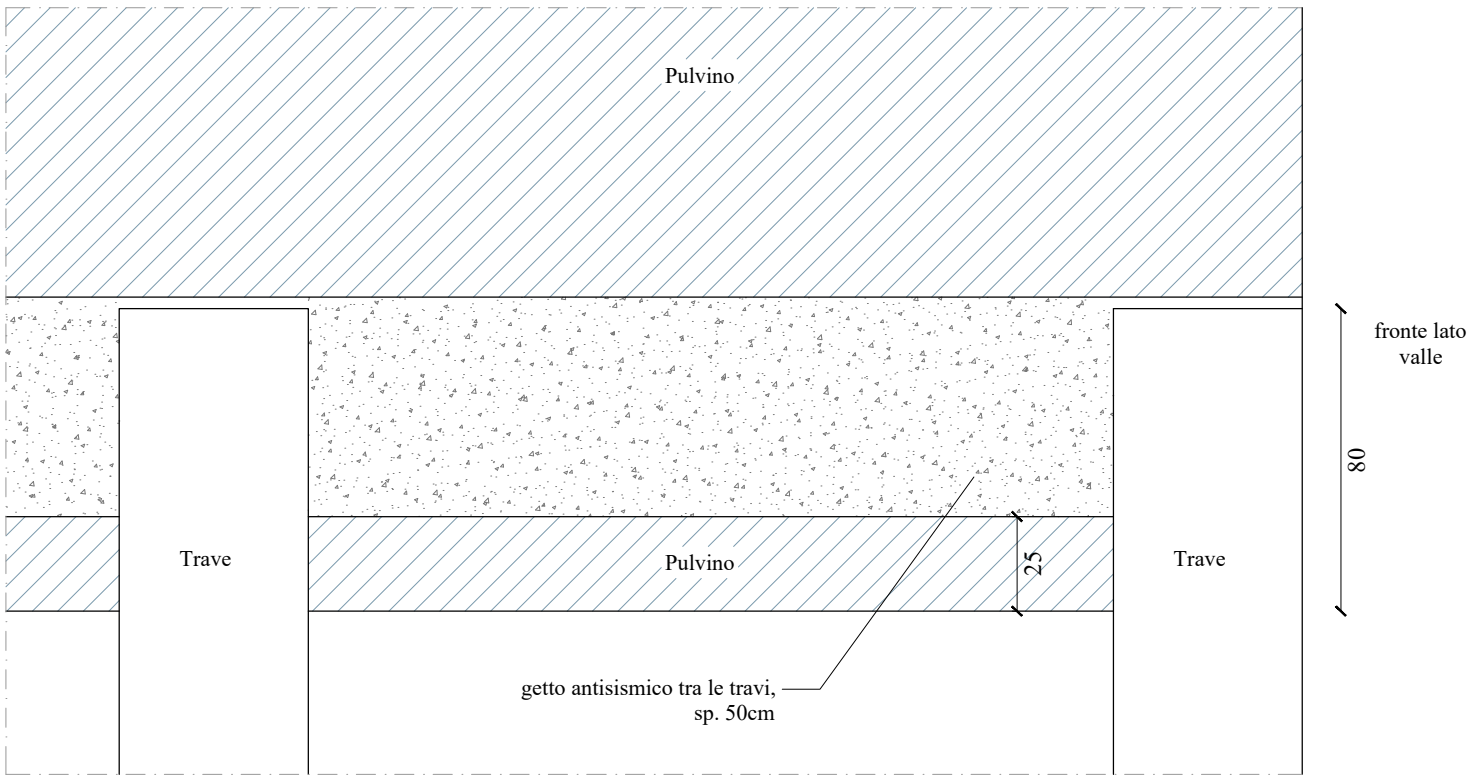
Nota
Sc: indagine mediante scasso
Pac: indagine mediante pacometro

T5-PC1.b | Elemento: APPOGGIO TRAVI SU PULVINO
Indagine e/o prova: RILIEVO

Vista frontale del pulvino su cui appoggiano le travi



Vista planimetrica dall'alto

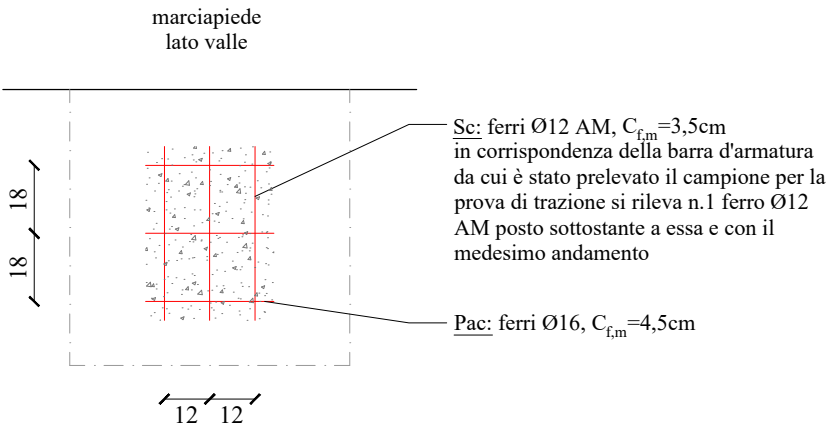


DETTAGLI COSTRUTTIVI

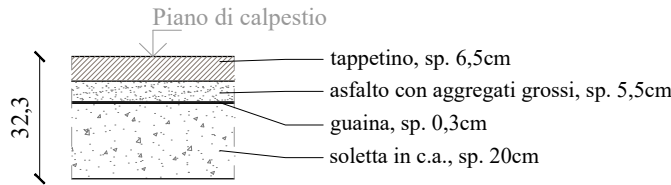
IMP2-PC1 | Elemento: IMPALCATO (LATO VALLE)
Indagine e/o prova: RILIEVO, PACOMETRIA, SCASSO

A seguito del carotaggio eseguito in questo punto di indagine sono stati individuati dei ferri inferiori posti a una profondità pari a circa 18 cm.

Planimetria



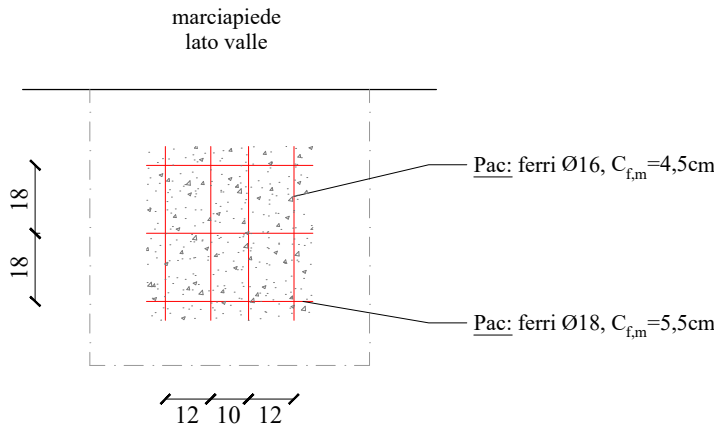
Stratigrafia



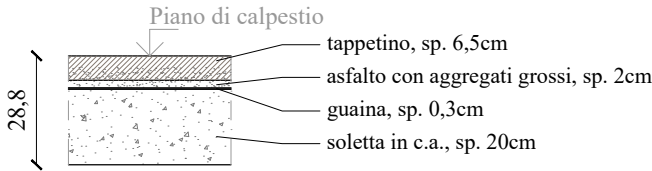
IMP4-PC1 | Elemento: IMPALCATO (LATO VALLE)
Indagine e/o prova: RILIEVO, PACOMETRIA, SCASSO

A seguito del carotaggio eseguito in questo punto di indagine sono stati individuati dei ferri inferiori posti a una profondità pari a circa 17 cm.

Planimetria

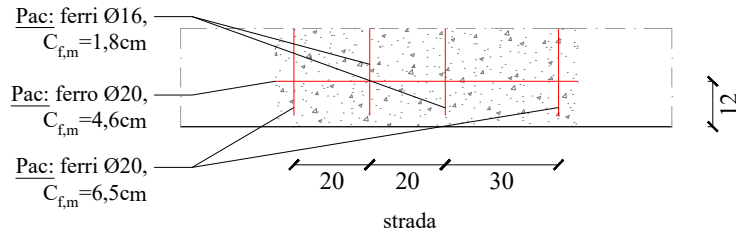


Stratigrafia



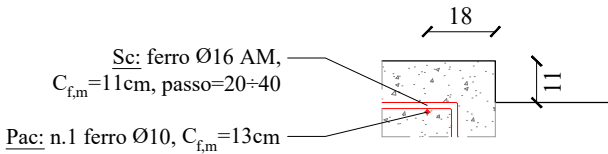
IMP4-PC2 | Elemento: IMPALCATO (MARCIAPIEDE LATO VALLE)
Indagine e/o prova: RILIEVO, PACOMETRIA

Planimetria



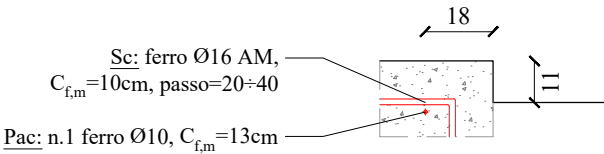
IMP1-PC2 | Elemento: IMPALCATO (MARCIAPIEDE LATO MONTE)
Indagine e/o prova: RILIEVO, PACOMETRIA, SCASSO

Sezione

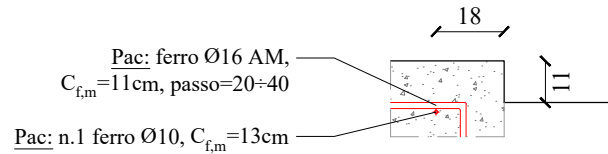


IMP2-PC2 | Elemento: IMPALCATO (MARCIAPIEDE LATO VALLE)
Indagine e/o prova: RILIEVO, PACOMETRIA, SCASSO

Sezione



IMP3-PC2 | Elemento: IMPALCATO (MARCIAPIEDE LATO MONTE)
Indagine e/o prova: RILIEVO, PACOMETRIA



Nota
Sc: indagine mediante scasso
Pac: indagine mediante pacometro

Laboratorio Prove Materiali
Pag. 1 di 1**RAPPORTO DI PROVA**
n. RdP/22/0293/FE-01Autorizzazione
Decreto Ministeriale n. 0000012
Art. 20 - Legge 5-11-71 n. 1086
Art. 59 - D.P.R. 06-06-01 n. 380**PROVE SU BARRE D'ARMATURA**

Committente : AIPO – AGENZIA INTERREGIONALE PER IL FIUME PO

Richiesta : Lettera del 08.03.2022 Accettazione n. : 0246

Oggetto: ... n. 5 barre lisce e nervate da c.a. normale: Produttore : NON DICHIARATO

Tipo di acciaio : N.D. Diametro nom.: 14⁽¹⁾-20⁽¹⁾-12⁽²⁾-12⁽²⁾-20⁽¹⁾ mm

Luogo del prelievo : PONTE DI MACCASTORNA – CROTTA D'ADDA

..... Commessa N. 190_21_SC

Opera: S2-A1: SPALLA – P1-A1, P3-A1, P5-A1: PILE – F1-A1: FONDAZIONE

Committente dell'opera: AIPO – AGENZIA INTERREGIONALE PER IL FIUME PO

Impresa costruttrice :

Denuncia:

Direttore lavori : Richiesta prove firmata dal Direttore Lavori : NO

Data ricevimento provini: 08.03.2022 Data di prova: 09.03.2022

Norma di riferimento: NTC 2018 – UNI EN ISO 15630-1:2019

Marchio di identificazione: Ø
Ø
Ø

BARRA		CONTROLLO DIMENSIONALE		PROVA DI TRAZIONE					PROVA DI PIEGAMENTO		AREA RELATIVA DI NERVATURA [%]
Ø	n°	Sezione [mm ²]	Massa [kg/m]	Tensione di snervamento f _y [MPa]	Tensione di rottura f _t [MPa]	f _y / f _{yk}	f _t / f _y	Allungamento A _{gt} [%]	Diametro mandrino [mm]	Esito	
14	S2-A1 ⁽¹⁾	150,1	1,178	500,7	731,5		1,46	9,9			
20	P1-A1 ⁽¹⁾	314,9	2,472	466,9	678,9		1,45	3,5			
12	P3-A1 ⁽²⁾	114,7	0,900	400,6	582,6		1,45	3,8			
12	P5-A1 ⁽²⁾	122,3	0,960	349,1	498,0		1,43	5,6			
20	F1-A1 ⁽¹⁾	311,5	2,445	473,6	689,9		1,46	5,3			

Note : ⁽¹⁾Barra nervata – ⁽²⁾Barra liscia

Seriate, li 15.03.2022

Lo Sperimentatore

Il Direttore del Laboratorio
(Belotti ing. Ivan)

Il presente Rapporto di prova non costituisce certificato utile ai fini della procedura prevista dalla legge 1086/71.
I risultati contenuti nel presente Rapporto si riferiscono esclusivamente all'oggetto provato.
Il documento non può essere riprodotto parzialmente, salvo approvazione scritta del Laboratorio.



Laboratorio Prove Materiali
Pag. 1 di 1**RAPPORTO DI PROVA**
n. RdP/22/0293/FE-02Autorizzazione
Decreto Ministeriale n. 0000012
Art. 20 - Legge 5-11-71 n. 1086
Art. 59 - D.P.R. 06-06-01 n. 380**PROVE SU BARRE D'ARMATURA**

Committente : AIPO – AGENZIA INTERREGIONALE PER IL FIUME PO

Richiesta : Lettera del 08.03.2022 Accettazione n. : 0246

Oggetto: n. 6 barre nervate da c.a. normale: Produttore : NON DICHIARATO

Tipo di acciaio : N.D. Diametro nom.: 16-20-20-16-12-16 mm

Luogo del prelievo : PONTE DI MACCASTORNA – CROTTA D'ADDA

..... Commessa N. 190_21_SC

Opera: T1-A1, T4-A1, T5-A1: PULVINI – IMP1-A2, IMP2-A1, IMP2-A2: IMPALCATO

Committente dell'opera: AIPO – AGENZIA INTERREGIONALE PER IL FIUME PO

Impresa costruttrice :

Denuncia:

Direttore lavori : Richiesta prove firmata dal Direttore Lavori : NO

Data ricevimento provini: 08.03.2022 Data di prova: 09.03.2022

Norma di riferimento: NTC 2018 – UNI EN ISO 15630-1:2019

Marchio di identificazione: Ø
Ø
Ø

BARRA		CONTROLLO DIMENSIONALE		PROVA DI TRAZIONE					PROVA DI PIEGAMENTO		AREA RELATIVA DI NERVATURA [f _t]
Ø	n°	Sezione [mm ²]	Massa [kg/m]	Tensione di snervamento f _y [MPa]	Tensione di rottura f _t [MPa]	f _y / f _{yk}	f _t / f _y	Allungamento A _{gt} [%]	Diametro mandrino [mm]	Esito	
16	T1-A1	194,4	1,526	431,8	671,0		1,55	6,2			
20	T4-A1	315,5	2,477	467,0	718,0		1,54	3,4			
20	T5-A1	316,5	2,485	466,4	703,5		1,51	5,2			
16	IMP1-A2	198,6	1,559	500,0	760,4		1,52	2,4			
12	IMP2-A1	119,9	0,941	432,4	672,2		1,55	12,6			
16	IMP2-A2	200,0	1,570	498,1	759,8		1,53	4,8			

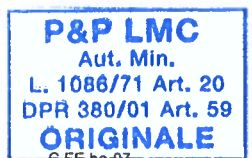
Note :

Seriate, li 15.03.2022

Lo Sperimentatore

Il Direttore del Laboratorio
(Belotti ing. Ivan)

Il presente Rapporto di prova non costituisce certificato utile ai fini della procedura prevista dalla legge 1086/71.
I risultati contenuti nel presente Rapporto si riferiscono esclusivamente all'oggetto provato.
Il documento non può essere riprodotto parzialmente, salvo approvazione scritta del Laboratorio.



Laboratorio Prove Materiali

Pag. 1 di 1

RAPPORTO DI PROVA
n. RdP/22/0293/CS-08

Autorizzazione

Decreto Ministeriale n. 0000012

Art. 20 - Legge 5-11-71 n. 1086

Art. 59 - D.P.R. 06-06-01 n. 380

PROVA DI COMPRESSIONE

su provini di calcestruzzo

Committente: AIPO – AGENZIA INTERREGIONALE PER IL FIUME PO

Richiesta : Lettera del 08.03.2022 Accettazione n. : 0293

Oggetto : N. 6 carote di calcestruzzo Resistenza caratteristica dichiarata [MPa] : NON DICHIARATO

Cemento dichiarato : Dosaggio [kg/m³] :

Luogo del prelievo : PONTE DI MACCASTORNA – CROTTA D'ADDA

..... Commessa N. 190_21_SC

Opera: S2-C1: SPALLA – P1-C1, P3-C1, P5-C1: PILA – F1-C1: FONDAZIONE – PF1-C1: PALO DI FONDAZIONE

Committente dell'opera: AIPO – AGENZIA INTERREGIONALE PER IL FIUME PO

Impresa costruttrice :

Denuncia:

Direttore lavori : Richiesta prove firmata dal Direttore Lavori : NO

Data ricevimento provini : 08.03.2022 Data di prova : 10.03.2022

Norma di riferimento : NTC 2018 - UNI EN 12390-1:2012 - UNI EN 12390-7:2019 - UNI EN 12390-3:2019 – UNI EN 12504-1:2019

PROVINO n.	DATA PRELIEVO DICHIARATA	CONTRASSEGNI SUI PROVINI	SPIANATURA PROVINI (*)	DIMENSIONI		MASSA VOLUMICA [kg/m ³]	RESISTENZA A COMPRESSIONE [MPa]	TIPO DI ROTTURA (**)
				Ø	h			
1	14.02.2022	S2-C1	SI	94	94	2390	55,7	S
2	14.02.2022	P1-C1	SI	94	94	2370	61,5	S
3	14.02.2022	P3-C1	SI	94	94	2350	52,7	S
4	14.02.2022	P5-C1	SI	94	94	2330	40,3	S
5	14.02.2022	F1-C1	SI	94	93	2340	63,1	S
6	14.02.2022	PF1-C1	SI	94	94	2330	17,9	S

(*) Spianatura provini: SI = effettuata; NO = provino conforme alla norma di riferimento.

(**) Tipo di rottura: S = soddisfacente (bitronco-conica); A+K = non soddisfacente (UNI EN 12390-3, fig. 4)

Note:

Seriate, li 15.03.2022

Lo Sperimentatore

Il Direttore del Laboratorio
(Belotti Ing. Ivan)

Il presente Rapporto di prova non costituisce certificato utile ai fini della procedura prevista dalla legge 1086/71.
I risultati contenuti nel presente Rapporto si riferiscono esclusivamente all'oggetto provato.
Il documento non può essere riprodotto parzialmente, salvo approvazione scritta del Laboratorio.

Laboratorio Prove Materiali
Pag. 1 di 1**RAPPORTO DI PROVA**
n. RdP/22/0293/CS-09Autorizzazione
Decreto Ministeriale n. 0000012
Art. 20 - Legge 5-11-71 n. 1086
Art. 59 - D.P.R. 06-06-01 n. 380**PROVA DI COMPRESSIONE**

su provini di calcestruzzo

Committente: AIPO – AGENZIA INTERREGIONALE PER IL FIUME PO
Richiesta : Lettera del 08.03.2022 Accettazione n. : 0293
Oggetto : N. 3 carote di calcestruzzo Resistenza caratteristica dichiarata [MPa] : NON DICHIARATO
Cemento dichiarato : Dosaggio [kg/m³] :
Luogo del prelievo : PONTE DI MACCASTORNA – CROTTA D'ADDA
..... Commessa N. 190_21_SC
Opera: T1-C1, T4-C1, T5-C1: PULVINO
Committente dell'opera: AIPO – AGENZIA INTERREGIONALE PER IL FIUME PO
Impresa costruttrice :
Denuncia:
Direttore lavori : Richiesta prove firmata dal Direttore Lavori : NO
Data ricevimento provini : 08.03.2022 Data di prova : 10.03.2022
Norma di riferimento : NTC 2018 - UNI EN 12390-1:2012 - UNI EN 12390-7:2019 - UNI EN 12390-3:2019 – UNI EN 12504-1:2019

PROVINO n.	DATA PRELIEVO DICHIARATA	CONTRASSEGNI SUI PROVINI	SPIANATURA PROVINI (*)	DIMENSIONI [mm]		MASSA VOLUMICA [kg/m ³]	RESISTENZA A COMPRESSIONE [MPa]	TIPO DI ROTTURA (**)
				Ø	h			
1	14.02.2022	T1-C1	SI	94	94	2320	58,8	S
2	14.02.2022	T4-C1	SI	94	94	2360	61,2	S
3	14.02.2022	T5-C1	SI	94	93	2360	58,4	S

(*) Spianatura provini: SI = effettuata; NO = provino conforme alla norma di riferimento.

(**) Tipo di rottura: S = soddisfacente (bitronco-conica); A+K = non soddisfacente (UNI EN 12390-3, fig. 4)

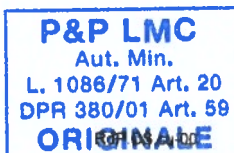
Note:

Seriate, li 15.03.2022

Lo Sperimentatore

Il Direttore del Laboratorio
(Belotti ing. Wan)

Il presente Rapporto di prova non costituisce certificato utile ai fini della procedura prevista dalla legge 1086/71.
I risultati contenuti nel presente Rapporto si riferiscono esclusivamente all'oggetto provato.
Il documento non può essere riprodotto parzialmente, salvo approvazione scritta del Laboratorio.



Laboratorio Prove Materiali

Pag. 1 di 1

RAPPORTO DI PROVA
n. RdP/22/0293/CS-10

Autorizzazione

Decreto Ministeriale n. 0000012

Art. 20 - Legge 5-11-71 n. 1086

Art. 59 - D.P.R. 06-06-01 n. 380

PROVA DI COMPRESSIONE

su provini di calcestruzzo

Committente: AIPO – AGENZIA INTERREGIONALE PER IL FIUME PO
Richiesta : Lettera del 08.03.2022 Accettazione n. : 0293
Oggetto : N. 6 carote di calcestruzzo Resistenza caratteristica dichiarata [MPa] : NON DICHIARATO
Cemento dichiarato : Dosaggio [kg/m³] :
Luogo del prelievo : PONTE DI MACCASTORNA – CROTTA D'ADDA
..... Commessa N. 190_21_SC
Opera: IMP1-C2, IMP2-C1, IMP2-C2, IMP3-C2, IMP4-C2, IMP4-C1: IMPALCATO
Committente dell'opera: AIPO – AGENZIA INTERREGIONALE PER IL FIUME PO
Impresa costruttrice :
Denuncia:
Direttore lavori : Richiesta prove firmata dal Direttore Lavori : NO
Data ricevimento provini : 08.03.2022 Data di prova : 10.03.2022
Norma di riferimento : NTC 2018 - UNI EN 12390-1:2012 - UNI EN 12390-7:2019 - UNI EN 12390-3:2019 – UNI EN 12504-1:2019

PROVINO n.	DATA PRELIEVO DICHIARATA	CONTRASSEGNI SUI PROVINI	SPIANATURA PROVINI (*)	DIMENSIONI		MASSA VOLUMICA [kg/m ³]	RESISTENZA A COMPRESSIONE [MPa]	TIPO DI ROTTURA (**)
				Ø	h			
1	14.02.2022	IMP1-C2	SI	94	94	2390	46,8	S
2	14.02.2022	IMP2-C1	SI	94	93	2370	60,6	S
3	14.02.2022	IMP2-C2	SI	94	94	2370	59,4	S
4	14.02.2022	IMP3-C2	SI	94	95	2310	51,8	S
5	14.02.2022	IMP4-C2	SI	94	94	2310	67,8	S
6	14.02.2022	IMP4-C1	SI	74	74	2300	54,1	S

(*) Spianatura provini: SI = effettuata; NO = provino conforme alla norma di riferimento.

(**) Tipo di rottura: S = soddisfacente (bitronco-conica); A+K = non soddisfacente (UNI EN 12390-3, fig. 4)

Note:

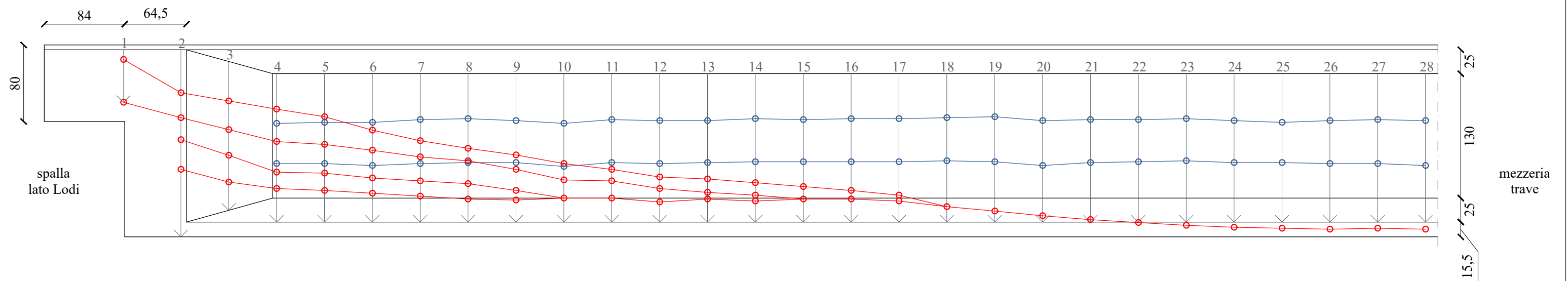
Seriate, li 15.03.2022

Lo Sperimentatore

Il Direttore del Laboratorio
(Belotti ing. Jean)

Il presente Rapporto di prova non costituisce certificato utile ai fini della procedura prevista dalla legge 1086/71.
I risultati contenuti nel presente Rapporto si riferiscono esclusivamente all'oggetto provato.
Il documento non può essere riprodotto parzialmente, salvo approvazione scritta del Laboratorio.

INDAGINE GEORADAR



LEGENDA:

— Maglia scansioni georadar con passo pari a 50 cm (1÷28)	— Tracciato altri elementi metallici	○ Perturbazione altri elementi metallici
— Tracciato cavi di precompressione	○ Perturbazione cavo di precompressione	