

LAVORO:

**D.M. 49/2018 - INTERVENTO DI MANUTENZIONE STRAORDINARIA DEL
PONTE MASIERA SUL FIUME SENIO AL KM 5+274 DELLA S.P. 9 MASIERA
CUP J33D18000100001**

Progetto Definitivo - Esecutivo**COMMESSA: J21001****COMMITTENTE:**

***Provincia di Ravenna
Settore lavori pubblici, manutenzione
e gestione rete stradale
Piazza dei Caduti per la libertà, 2
Ravenna***

Dirigente e RUP: Ing. Paolo Nobile

TITOLO:

**Relazione sulla conoscenza dell'opera
Relazione sui materiali esistenti**

PROGETTISTA:**Ing. Michelangelo Micheloni****COLLABORATORI PER LA PROGETTAZIONE:****Arch. Anna Livia Ciuffreda****Dott. Mattia Faiulo****COLLABORATORE PER ELABORATI ECONOMICI:****Arch. Leonardo Donatelli**

2		
1		
0	EMISSIONE	1 agosto 2022
REV	DESCRIZIONE	DATA
Il presente documento è di proprietà dello Studio Micheloni Srl Le proprietà intellettuali sono dei rispettivi autori. A termini di legge ogni diritto è riservato.		ELABORATO: DOC.03 N. PAG 70

INDICE GENERALE

1.	PREMESSA	3
2.	DESCRIZIONE DELL'OPERA	4
3.	DESCRIZIONE DEL PROCESSO CONOSCITIVO	8
3.1.	FASI DEL PROCESSO CONOSCITIVO	8
3.2.	LIVELLO DI CONOSCENZA	8
4.	QUADRO NORMATIVO ATTUALE E DEL PROGETTO ORIGINALE	10
5.	RICERCA STORICA E DOCUMENTALE	13
6.	PROPRIETÀ MECCANICHE DEI MATERIALI IN OPERA	19
6.1.	PROVE SULL'ACCIAIO IN BARRE	19
6.2.	PROVE SUI CALCESTRUZZI	21
7.	ALLEGATI	29

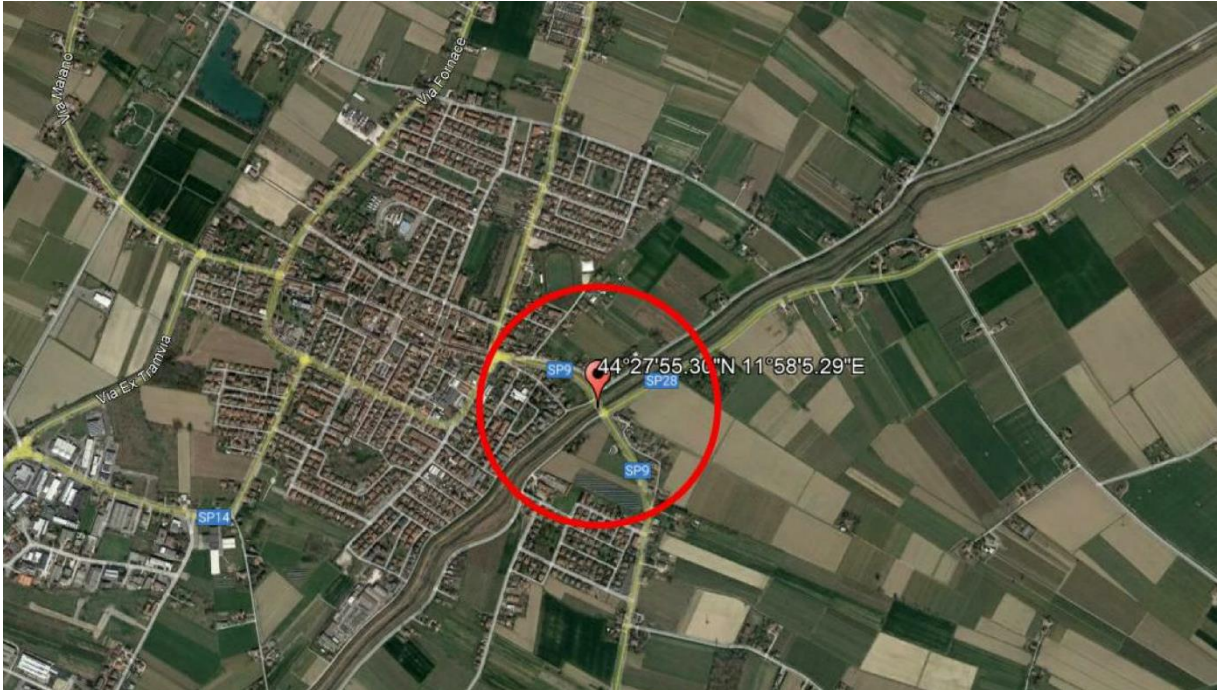
1. Premessa

La presente relazione descrive il processo conoscitivo che è stato attuato nell'ambito degli studi commissionati dalla Provincia di Ravenna sul "Ponte Masiera" in attraversamento del fiume Senio al km 5+274 della Strada Provinciale 9 nel Comune di Fusignano (RA).

Nella presente relazione viene quindi descritto il processo conoscitivo attuato, partendo da rilievi, ispezioni ed analisi dei materiali al fine di ottenere un esaustivo quadro conoscitivo dell'opera, funzionale all'individuazione degli interventi di adeguamento del ponte.

2. Descrizione dell'opera

Il "Ponte Masiera" in attraversamento del fiume Senio si trova al km 5+274 della Strada Provinciale 9 nel Comune di Fusignano (RA).



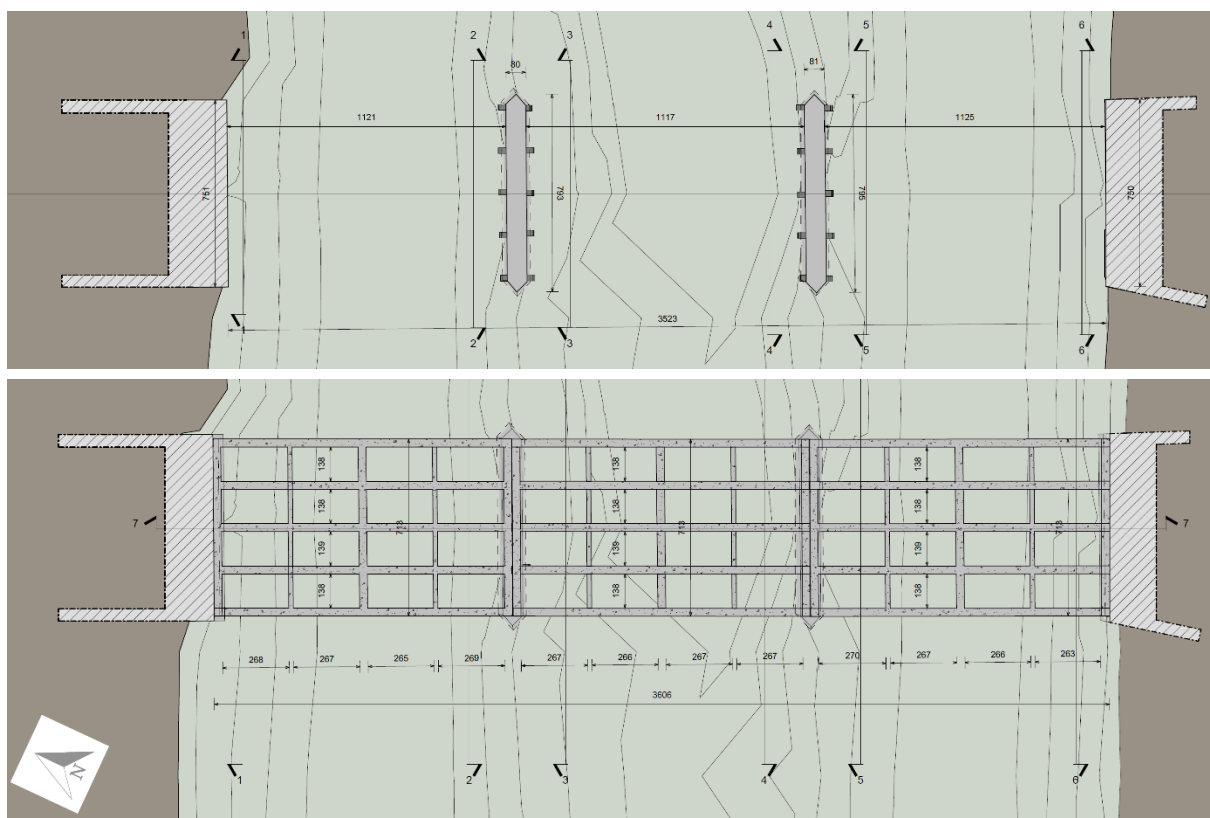
L'opera supera il sottostante fiume Senio con 3 campate, ciascuna con luce di 12 metri e larghezza di 9 metri. Le campate sono sostenute da 2 spalle laterali e da due pile in alveo.

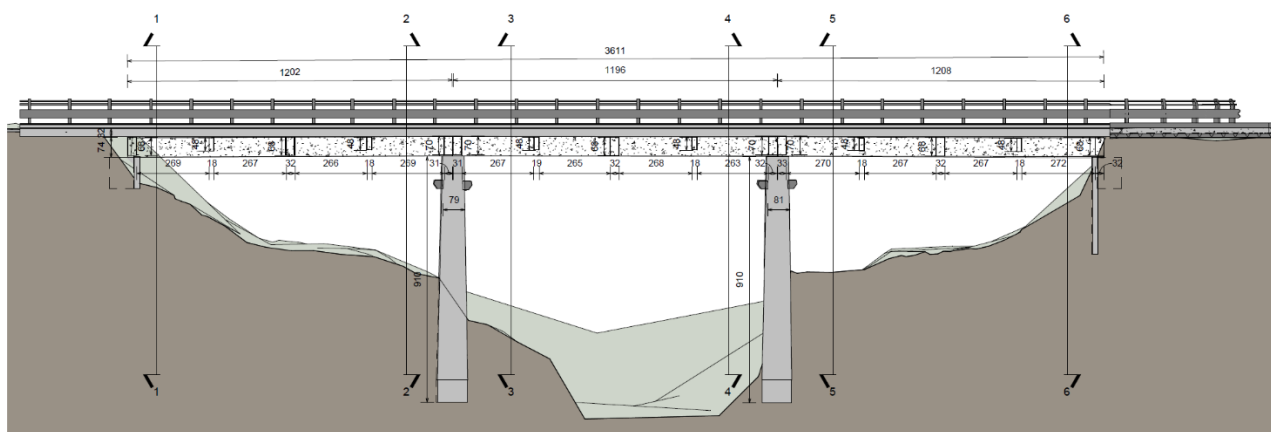


Utilizzando una tecnica combinata di laser scanner da terra e rilievo fotogrammetrico da drone con posizionamento RTK è stato possibile ricostruire una precisa nuvola di punti di rilievo delle strutture esistenti.



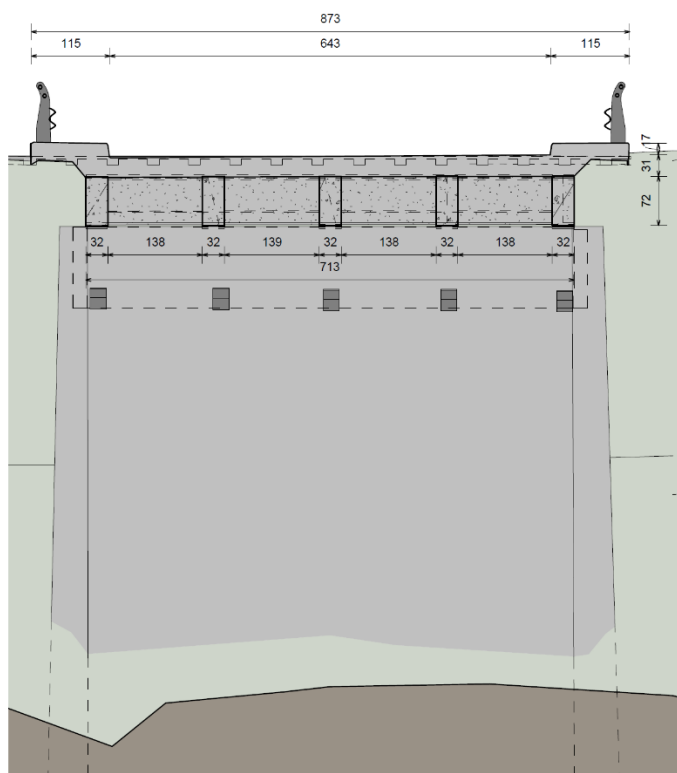
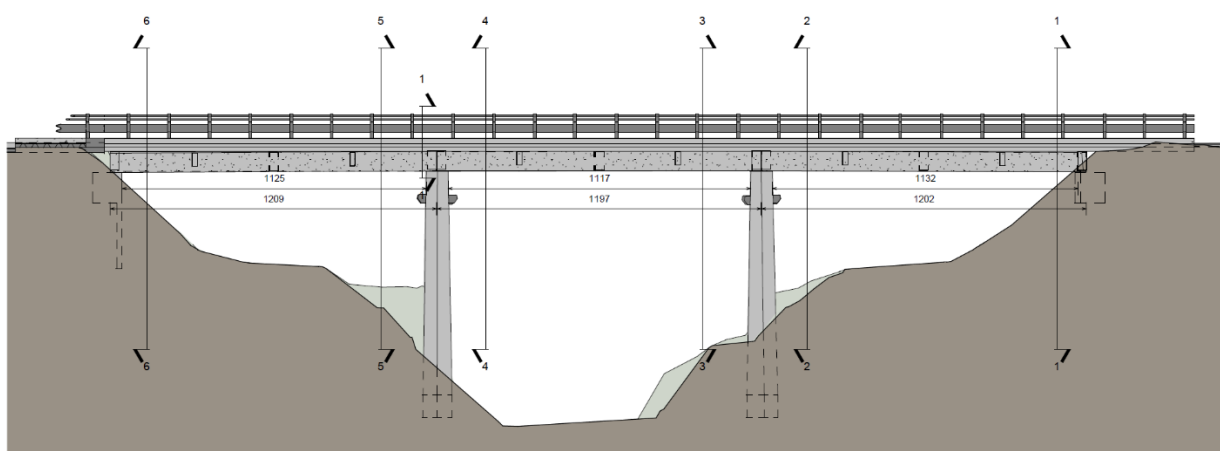
Da tali nuvole di punti si è quindi derivato il rilievo geometrico completo della struttura esistente, rappresentato nelle rispettive tavole di dettaglio.





Sezione Longitudinale

Scala 1:100



L'impalcato è formato da 5 travi ad armatura lenta interrotte da 3 traversi intermedi e da dei traversi di chiusura in corrispondenza degli appoggi.

Le travi hanno una sezione con base di circa 32cm e ricalo di circa 74cm, mentre i traversi sugli appoggi e nelle mezzerie hanno sezione con base di circa 32cm e ricalo di circa 70cm ed i traversi intermedi ai quarti delle campate hanno sezione con base di circa 18cm e ricalo di circa 48cm.

La soletta d'impalcato ha uno spessore di 22cm così come risulta dai rilievi effettuati mediante carotaggio dal laboratorio incaricato, il cui report è allegato al documento Doc.03.

Le pile sono realizzate con elementi prismatici in calcestruzzo armato con sezione variabile con misure in sommità di 795x80cm, che si allargano leggermente scendendo verso il basso, ed hanno un'altezza di circa 9 m. Le spalle sono realizzate con muri in cemento armato.

Le fondazioni sono su pali che non è stato possibile indagare.

3. Descrizione del processo conoscitivo

3.1. Fasi del processo conoscitivo

Il processo conoscitivo necessario al raggiungimento di un quadro completo di dati, tale da permettere la corretta valutazione dello stato di sicurezza dell'opera, si articola attraverso varie fasi, di seguito elencate.

- Ricerca storica sull'opera
- Studio del progetto originale e dei documenti allegati
- Studio dei documenti relativi alla realizzazione dell'opera
- Rilievi geometrici in sito
- Prove sui materiali che compongono l'opera

Per ognuna delle fasi sopra elencate è stato fatto un accurato lavoro di studio i cui risultati vengono riportati di seguito nel presente documento.

3.2. Livello di conoscenza

Ai fini della scelta del tipo di analisi e dei valori dei fattori di confidenza da applicare alle proprietà dei materiali si prevede di utilizzare l'approccio delle attuali normative quali il DM 17.01.2018 e successive integrazioni.

Sebbene il nuovo aggiornamento delle norme tecniche non dia indicazione sul livello di conoscenza suggerito nel caso di ponti, risulta possibile far sempre riferimento a quanto riportato al paragrafo C8A.8.4 della precedente Circolare 2/2/2009 n. 617 CSLLPP, per la quale il livello di conoscenza da perseguire nel caso di ponti esistenti è quello massimo, ovvero un livello di **"Conoscenza Accurata - LC3"** a cui corrisponde un **fattore di confidenza FC = 1,00**.

Come previsto dalle vigenti norme NTC2018 e relativa circolare, tale livello di conoscenza LC3 *si intende raggiunto quando siano stati effettuati l'analisi storico-critica, commisurata al livello considerato, il rilievo geometrico, completo ed accurato in ogni sua parte, indagini esaustive sui dettagli costruttivi, prove esaustive sulle caratteristiche meccaniche dei materiali.*

Come previsto dalle vigenti norme, *per raggiungere il livello di conoscenza LC3, la disponibilità di un rilievo geometrico completo e l'acquisizione di una conoscenza esaustiva dei dettagli costruttivi sono da considerarsi equivalenti alla disponibilità di documenti progettuali originali, comunque da verificare opportunamente nella loro completezza e rispondenza alla situazione reale.*

Considerando quindi la disponibilità dei disegni del progetto originale dell'opera sono state condotte delle verifiche dimensionali e dei dettagli costruttivi a campione in modo da confermare la rispondenza dei disegni con la situazione reale.

Ecco quindi che *per gli elementi aventi funzione strutturale la geometria esterna deve essere sempre descritta in maniera la più completa possibile, allo scopo di ottenere un modello di calcolo affidabile, mentre i dettagli, spesso occultati alla vista (ad esempio la disposizione delle armature), possono essere rilevati a campione, estendendo poi le valutazioni agli altri elementi operando per analogia, anche in forza delle norme vigenti e dei prodotti in commercio all'epoca della costruzione.*

Per tale livello di conoscenza **LC3** il corrispondente fattore di confidenza è **FC=1**.

4. Quadro normativo attuale e del progetto originale

Il quadro normativo considerato sarà rappresentato sia dalle attuali normative, per quanto riguarda i risultati finali della ricerca, ma anche dalle normative vigenti all'epoca della costruzione del ponte, necessarie per una completa comprensione del progetto dell'opera.

Normativa vigente al momento della redazione del presente documento – Anno 2019

- D.M. Infrastrutture del 17 gennaio 2018 “Aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni”
- Circolare 21 gennaio 2019 n. 7 Consiglio Superiore Lavori Pubblici “Istruzioni per l'applicazione delle <Aggiornamento delle nuove norme tecniche per le costruzioni> di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018”
- “Linee Guida per la valutazione delle caratteristiche del calcestruzzo in opera” approvate con Decreto del Presidente CSLLPP n. 361 del 26 settembre 2017.
- “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, espresso dall'Assemblea Generale in data 17.04.2020 e pubblicate in data 23.04.2020.

Normativa vigente al momento del progetto e realizzazione del ponte – Anni 1946-52

Poiché i progetti del ponte, oggi disponibili presso gli uffici della Provincia di Ravenna, riportano la data del **settembre 1946** e la data del **febbraio 1952**, è possibile considerare il seguente quadro legislativo all'epoca vigente.

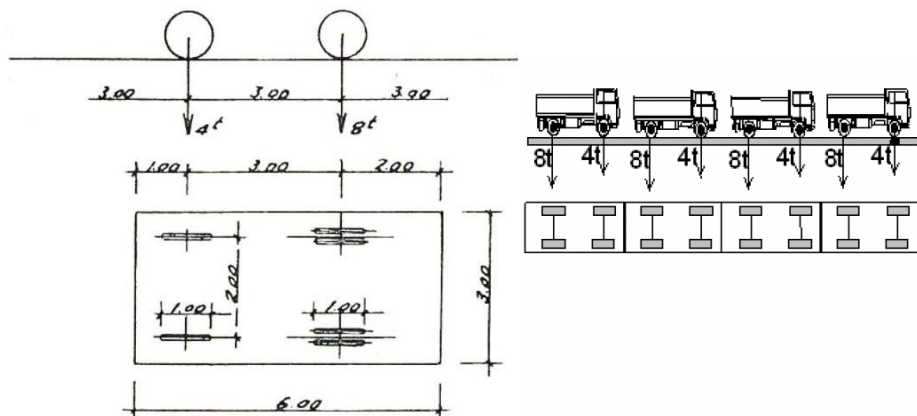
- Regio Decreto Legge del 16 novembre 1939 n. 2229 “Norme per l'esecuzione delle opere in conglomerato cementizio semplice ed armato”
- Normale N.8 del 15 settembre 1933 del Ministero dei Lavori Pubblici per i carichi stradali.
- Normale del 9 giugno 1945 n. 6081 del Ministero dei Lavori Pubblici per le strade di grande traffico con importanza militare

In particolare, lo schema di carico previsto dalla Normale n. 6081 del 9/6/1945 è probabilmente quello utilizzato per il progetto originale dell'opera ed identifica i seguenti schemi di carico.

- Schema 1°

Colonna indefinita di autocarri

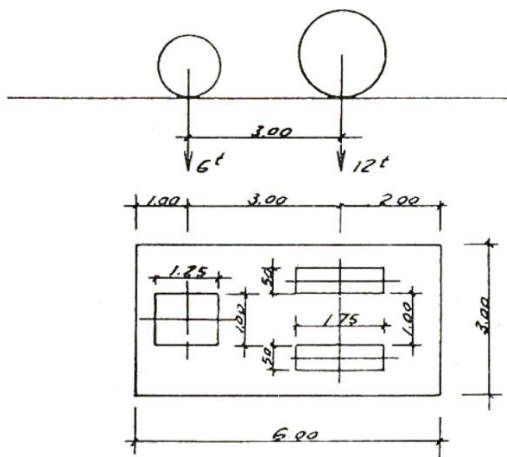
Colonna indefinita di autocarri da 12 t



- Schema 2°

Rullo compressore isolato da 18 ton.

Rullo compressore isolato da 18 t



- Frenamento

La forza frenante sarà valutata pari ad 1/10 del sovraccarico costituito da una sola colonna indefinita di autocarri (schema 1).

Confronto storico critico tra i due quadri normativi

Le principali differenze tra i due quadri normativi sono le seguenti.

- ✓ Le attuali norme prevedono verifiche secondo il metodo degli Stati Limite mentre le vecchie normative prevedevano verifiche con il metodo delle Tensioni Ammissibili.
- ✓ La Normale n. 6081 del 9/6/1945 è la prima norma del dopo guerra che abolisce lo schema di carico militare, prevedendo solo lo schema di carichi civili, che consistente in una colonna indefinita di autocarri da 12 ton (assi da 8 ton e 4 ton alternati ed equidistanti di 3 m) oltre al transito di un rullo compressore di 18 ton. Nelle attuali normative invece non c'è più il riferimento a carichi reali che sono stati sostituiti con carichi formali.
- ✓ I carichi previsti dalla normativa vigente al momento della realizzazione del ponte sono minori di quelli previsti dalle attuali norme sia per quanto riguarda i carichi verticali sia per quanto riguarda le azioni orizzontali da frenamento.
- ✓ Le nuove norme prevedono dei carichi che comprendono già l'amplificazione dinamica, mentre le vecchie norme prevedevano un'amplificazione dinamica dei carichi in base alla luce del ponte.
- ✓ Le nuove norme prevedono materiali con caratteristiche meccaniche diverse rispetto alle vecchie.
- ✓ Le vecchie norme non prevedevano una verifica sismica dell'opera.

5. Ricerca storica e documentale

Per poter al meglio studiare il ponte ed il suo stato di conservazione è stato fondamentale eseguire uno studio storico dell'opera e ricercare i progetti originali. In particolare, la Provincia di Ravenna ha fornito due progetti dell'opera:

- **Progetto del settembre 1946** redatto dall'ufficio tecnico dell'amministrazione provinciale di Ravenna a firma dell'Ing. Silvano Giunchi e del Geom. A. Panzavolta.

AMM. PROV.LE RAVENNA		UFFICIO TECNICO
PONTE DI FUSIGNANO		SETT. 1946
SUL FIUME "SENIO" LUNGO LA PROV.LE "MASIERA"		PROGETTO REDATTO DA: Ing. Silvano Giunchi Geom. A. Panzavolta
PIANTA 1:100	COROGRAFIA 1:2000	tav. 1 ^A

- **Progetto del febbraio 1952** redatto dal Genio Civile di Ravenna.

MINISTERO DEI LAVORI PUBBLICI
CORPO DEL GENIO CIVILE
UFFICIO DI RAVENNA

LAVORI DI RICOSTRUZIONE DEL PONTE SUL FIUME SENIO,
A FUSIGNANO PER LA CONTINUITÀ DELLA STRADA PROVINCIALE
LE MASIERA DISTRUTTO DA AZIONI BELLICHE

PROSPETTO - SEZIONE TRASVERSALE
SCALA 1:100

RAVENNA 7 FEBBRAIO 1952

IL PRIMO INGEGNERE DI SEZIONE

L INGEGNERE CAPO

Entrambi i progetti hanno caratteristiche simili anche se però differiscono dalla struttura attuale per i seguenti elementi:

- Le campate della struttura esistente con luce di 12 m. sono di poco maggiori di quelle di entrambi i progetti che prevedono una luce di 11,20m.
- Mentre il numero di travi longitudinali è pari a 5 sia nella struttura esistente che nel progetto, il numero di traversi della struttura reale è pari a 3 per campata, mentre nel progetto erano previsti due soli traversi.

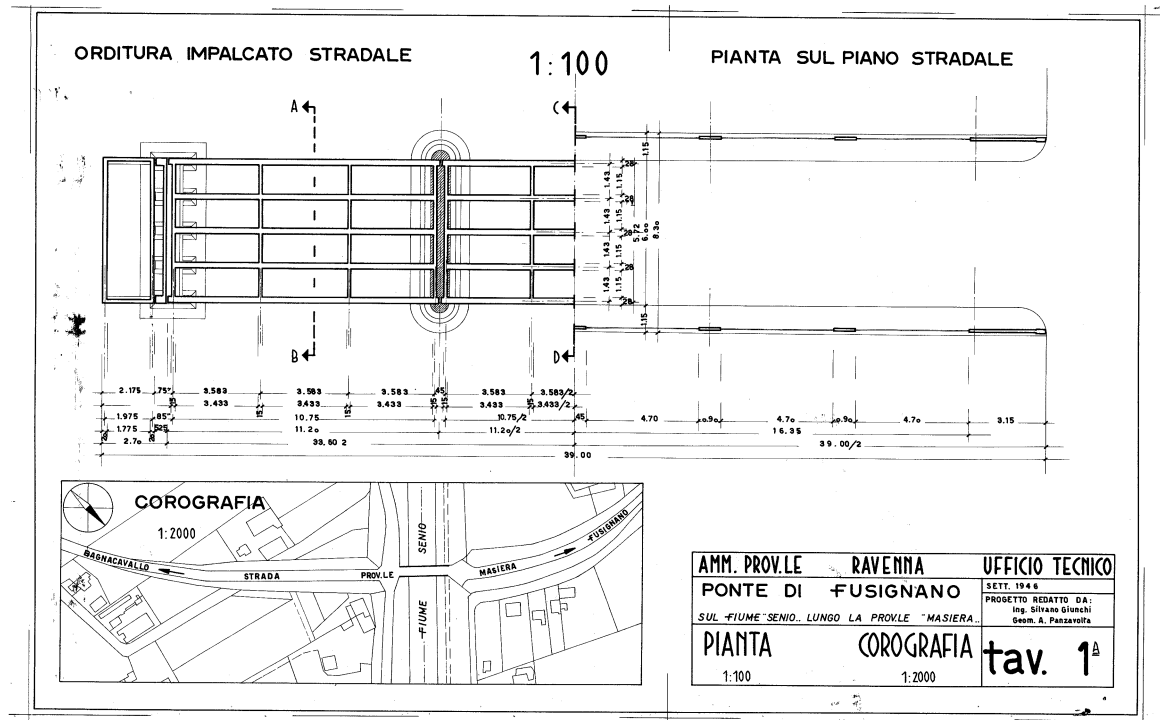


Tavola del progetto del 1946

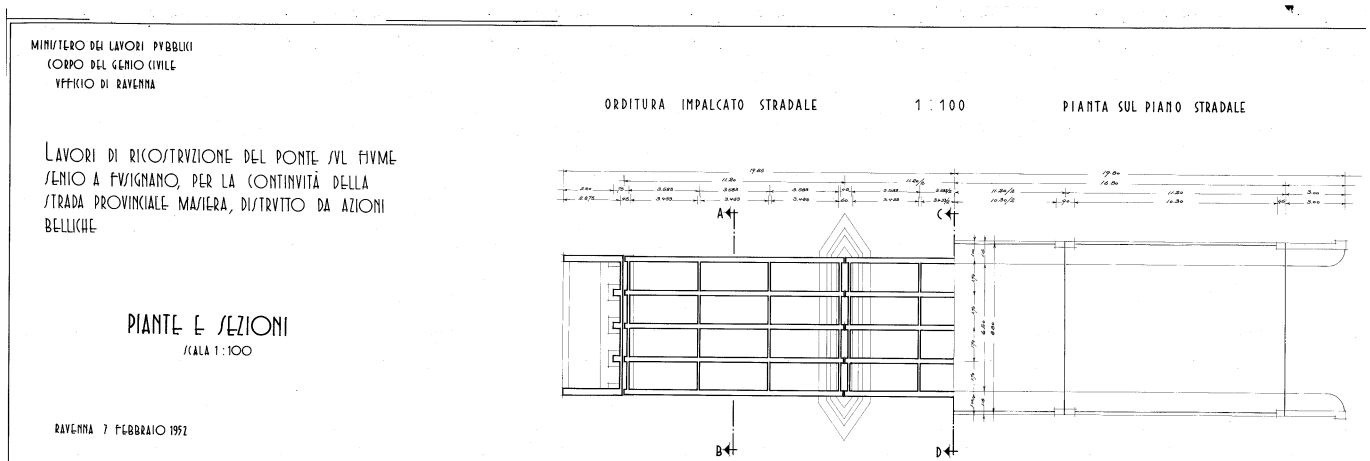


Tavola del progetto del 1952

Per quanto riguarda le armature delle travi si rileva quanto segue:

- Armatura longitudinale in mezzeria progetto 1946: 5 $\phi 30$ + 2 $\phi 16$
- Armatura longitudinale in mezzeria progetto 1952: 7 $\phi 30$
- Armatura trasversale in appoggio progetto 1946: 1 $\phi 30$ piegato + staffe $\phi 8/20$ "
- Armatura trasversale in appoggio progetto 1952: 1 $\phi 30$ piegato + staffe $\phi 8/20$ "

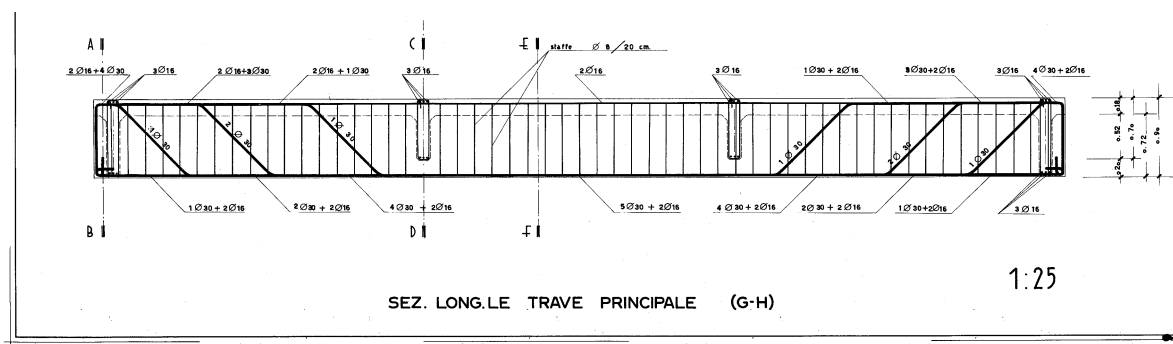


Tavola del progetto del 1946

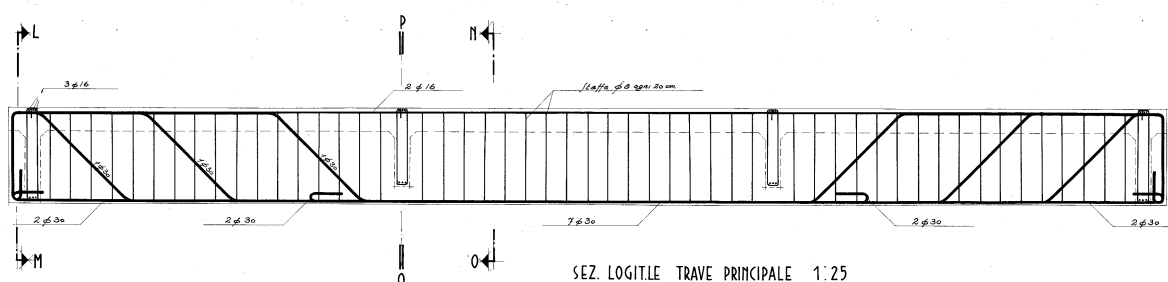


Tavola del progetto del 1952

I due progetti differiscono quindi per l'armatura longitudinale di mezzeria delle travi mentre rappresentano sostanzialmente la stessa armatura a taglio.

Rispetto all'armatura longitudinale delle travi delle 7 barre diametro 30mm previste dal progetto se ne sono riscontrate in sito solo 6 ed in alcuni casi delle barre sono risultate di diametro inferiore.

Per la condizione delle verifiche di resistenza vengono quindi considerate 6 barre di armatura diametro 30mm con la prescrizione che qualora a seguito della rimozione del copriferro venga riscontrata un'armatura inferiore, sarà necessario integrare l'armatura in modo da ripristinare le condizioni assunte per le verifiche.

Per quanto riguarda la sezione trasversale:

- Il progetto del 1945 ripota una soletta con spessore 18 cm ed una larghezza totale trasversale di 830cm.
- Il progetto del 1952 ripota una soletta con spessore 22 cm ed una larghezza totale trasversale di 880cm.

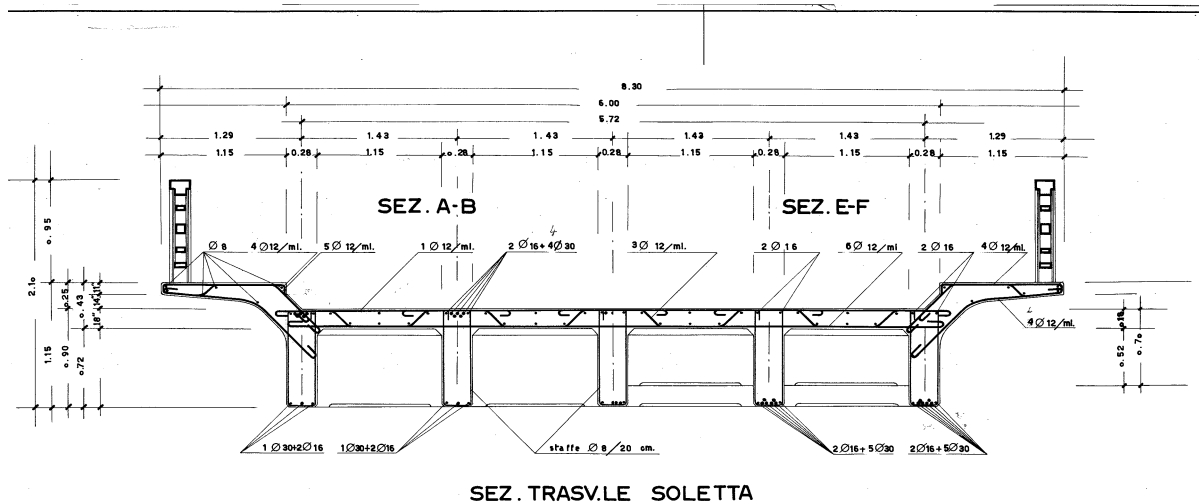


Tavola del progetto del 1946

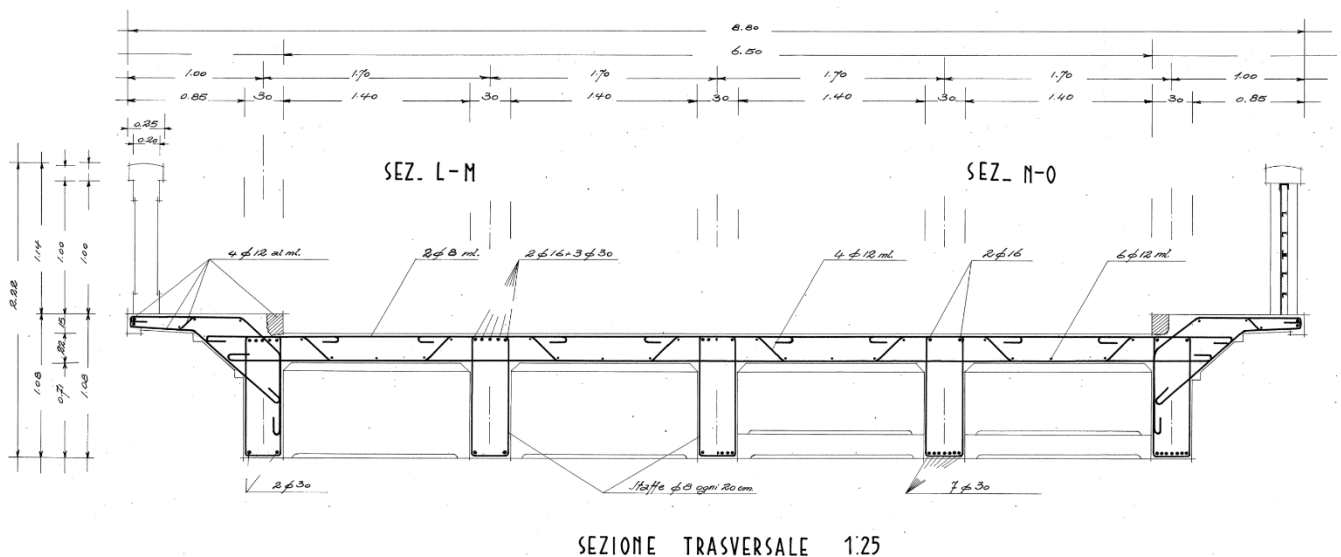


Tavola del progetto del 1952

In questo caso le dimensioni previste dal progetto del 1952 corrispondono a quelle dell'opera realizzata.

Concludendo il progetto del febbraio 1952, seppur non perfettamente aderente all'opera esistente, risulta quello più simile dal punto di vista geometrico.

In merito alle caratteristiche dei materiali gli elaborati grafici non riportano nessuna specifica e non sono disponibili ne documenti di computo ne relazioni di calcolo da cui poter desumere tali caratteristiche.

Si possono quindi solo considerare le prescrizioni delle norme dell'epoca, con particolare riferimento al Regio Decreto 2229 del 16.11.1939, che prevedeva i seguenti materiali.

Calcestruzzi:

Il carico di sicurezza del conglomerato, nella sollecitazione di pressione semplice, deve assumersi come segue:

Conglomerato	σ_c (kg/cm ²)	$\sigma_{r,28}$ minimo (kg/cm ²)
Conglomerato di cemento idraulico normale (Portland)	35	120
Conglomerato di cemento ad alta resistenza ed alluminoso	45	160
Quando sia eseguita la determinazione preventiva della resistenza cubica a 28 g., e questa venga costantemente controllata durante l'esecuzione del lavoro	$\frac{\sigma_{r,28}}{3}$	
ma non superiore a	60	180

Il carico di sicurezza nella sollecitazione di flessione e di flessione e pressione deve assumersi come segue:

Conglomerato	σ_c (kg/cm ²)	$\sigma_{r,28}$ minimo (kg/cm ²)
Conglomerato di cemento idraulico normale (Portland)	40	120
Conglomerato di cemento normale ad alta resistenza ed alluminoso...	50	160
Quando sia eseguita la determinazione preventiva della resistenza cubica a 28 g. e questa venga costantemente controllata durante l'esecuzione del lavoro	$\frac{\sigma_{r,28}}{3}$	
ma non superiore a	75	225

Per i conglomerati di resistenza cubica $\sigma_{r,28}$ maggiore di kg/cm² 225, quando il calcolo sia eseguito secondo i metodi rigorosi della scienza delle costruzioni e sia tenuto conto di tutte le cause di sollecitazione (forze applicate, variazioni termiche e ritiro del conglomerato), può assumersi un maggior valore del carico di sicurezza determinato dalla formula:

$$\sigma_n = 75 + \frac{\sigma_{r,28} - 225}{9} \text{ kg/cm}^2$$

Quindi considerando il valore massimo previsto di 75 kg/cm^2 si avrebbe $R_{c28} = 225 \text{ kg/cm}^2 = 22 \text{ MPa}$ ovvero una classe del calcestruzzo minima pari a **C15/20**.

Tuttavia, poiché le norme non indicavano chiaramente una classe di resistenza di riferimento sarà fondamentale l'analisi dei risultati delle prove eseguite sui calcestruzzi in sito per determinare le esatte caratteristiche dei calcestruzzi in opera.

Acciai:

Il carico di sicurezza delle armature metalliche sollecitate a trazione non deve superare 1400 kg/cm^2 per l'acciaio dolce, 2000 kg/cm^2 per l'acciaio semiduro e per l'acciaio duro.

Ai valori più elevati delle tensioni nell'armatura è necessario che corrispondano più elevati carichi di rottura cubici $\sigma_{r,28}$ del conglomerato. La tensione di kg/cm^2 1400 richiede l'impiego di conglomerato con resistenza minima 160 kg/cm^2 ; l'uso dell'acciaio semiduro e duro richiede l'impiego di conglomerato di cemento ad alta resistenza con carico di rottura cubico di 160 kg/cm^2 fino alla tensione di 1800 kg/cm^2 nelle sezioni rettangolari e 1600 kg/cm^2 nelle sezioni a T o speciali; 225 kg/cm^2 fino alla tensione 2000 kg/cm^2 nelle sezioni rettangolari e 1800 kg/cm^2 nelle sezioni a T o speciali di membrature soggette prevalentemente a carichi fissi. Il carico di sicurezza dell'acciaio non dovrà in ogni caso superare la metà del carico di snervamento.

L'uso dell'acciaio semiduro e duro è in ogni caso limitato a tondini di diametro non superiore a mm. 30.

Per gli acciai venivano previste due classi di resistenza:

- Acciaio dolce con tensione massima ammissibile di 1400 kg/cm^2
- Acciaio semiduro e duro con tensione massima ammissibile di 2000 kg/cm^2

6. Proprietà meccaniche dei materiali in opera

Obiettivo della campagna di prove sui materiali è quello di eseguire delle *verifiche esaustive* in modo da ottenere un livello di “**Conoscenza Accurata - LC3**”, in base a quanto già anticipato nel precedente paragrafo 3.2.

6.1. Prove sull'acciaio in barre

Come anticipato al precedente paragrafo 3.2, per l'acciaio in barre si è fatto riferimento alle caratteristiche del materiale previsto dalle norme vigenti all'epoca e ai risultati delle prove di laboratorio, effettuate mediante il prelievo di campioni di barre da sottoporre a prova di trazione.

Sono quindi stati prelevati dei campioni di barre ottenendo i risultati riassunti nelle seguenti tabelle e riportati per esteso nella certificazione della prova eseguita da laboratorio ufficiale, allegata alla presente relazione.

Data prove	Sigla	Elemento	Diametro nominale (mm)	Massa	Lungh	Sezione effettiva	Diametro effettivo (mm)	Carico di Snervam. fy		Carico di Rottura ft		Allungamento		TIPO DI ACCIAIO	NOTE
				g	mm	(mm ²)		Totale (daN)	Unitario (N/mm ²)	Totale (daN)	Unitario (N/mm ²)	A _g	A _s (%)		
27/07/2021	PB1	SPALLA LATO FUSIGNANO - LATO EST	14	445	382	148,40	13,75	3489	235	5277	356	3,06	14,5	LISCIA	(1), (2)
27/07/2021	PB2	SPALLA LATO FUSIGNANO - LATO OVEST	8	154	410	47,85	7,81	1354	283	1848	386	9,15	21,5	LISCIA	(1), (2)
27/07/2021	PB3	PILA 1- LATO OVEST	8	160	400	50,96	8,05	1376	270	1988	390	9,28	31,0	LISCIA	(2)
27/07/2021	PB4	PILA 1- LATO EST	16	670	432	197,57	15,86	7636	386	10835	548	13,50	21,0	LISCIA	(2)
27/07/2021	PB5	PILA 2- LATO OVEST	14	452	399	144,31	13,56	4819	334	6000	416	8,17	18,5	LISCIA	(1)
27/07/2021	PB6	PILA 2- LATO EST	8	108	310	44,38	7,52	1120	252	1444	325	5,34	10,5	LISCIA	(1), (2)
27/07/2021	PB7	SPALLA LATO MASIERA - LATO OVEST	16	655	411	203,02	16,08	7953	392	11223	553	15,87	26,5	LISCIA	(3)
27/07/2021	PB8	SPALLA LATO MASIERA - LATO EST	8	155	418	47,24	7,76	1658	351	2137	452	1,00	6,0	LISCIA	(1), (2)
19/01/2022	PBSol1	SOLETTA INTRADOSSO - CAMPATA 1	12	365	419	110,97	11,89	3428	309	4797	432	13,47	30,0	LISCIA	
19/01/2022	PS1	TRAVE 4 - CAMPATA 1	8	136	345	50,22	8,00	2107	420	2642	526	12,02	30,0	LISCIA	(3)
19/01/2022	PTR1	TRAVE SO INTERMEDIO - CAMPATA 3	20	1005	413	309,99	19,87	9179	296	12511	404	22,79	38,0	LISCIA	
17/01/2022	PBSol3	SOLETTA INTRADOSSO - CAMPATA 3	12	360	413	111,04	11,89	3449	311	4934	444	12,73	12,5	LISCIA	
27/01/2022	PBSol2	SOLETTA INTRADOSSO - CAMPATA 2	12	333	362	117,18	12,21	3718	317	5355	457	21,21	38,0	LISCIA	
27/01/2022	PS2	TRAVE 3 - CAMPATA 3 - STAFFA	8	157	406	49,26	7,92	1480	300	1877	381	12,59	41,0	LISCIA	

(1) Barra molto rovinata causa corrosione.
 (2) Barra rotta in corrispondenza di una porzione erosa.
 (3) Barra accorciata in fase di prova poiché molto rovinata.

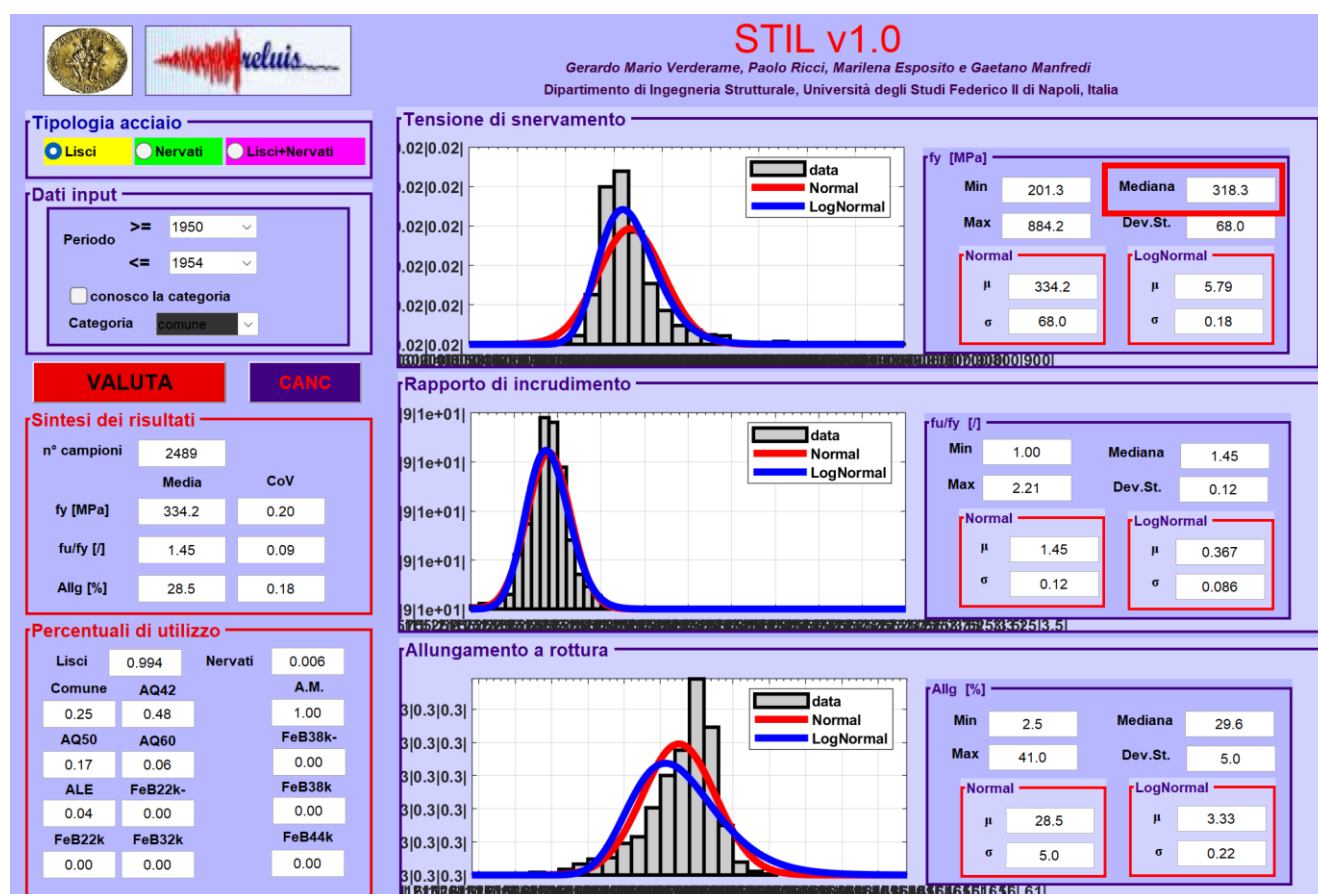
Dall'analisi dei risultati sopra elencati si desumono i seguenti valori medi dei carichi di snervamento e rottura:

- Carico di Snervamento medio **$f_y = 318 \text{ MPa}$**
- Carico di Rottura medio **$f_t = 434 \text{ MPa}$**

Al fine di avvalorare e confermare i risultati delle prove in sito, questi sono situati confrontati con l'abbondante database di prove messo a disposizione dal Dipartimento di Ingegneria Strutturale, Università degli Studi di Napoli Federico II e riportato in modo esteso in letteratura.

In particolare si fa riferimento al software di lettura di tale database messo a disposizione da Reluis e denominato "STIL". Si citano inoltre l'articolo scientifico "Le caratteristiche meccaniche degli acciai impiegati nelle strutture in c.a. realizzate dal 1950 al 1980" a firma di G.M. Verderame, P. Ricci, M. Esposito, E. Sansiviero del Dipartimento di Analisi e Progettazione Strutturale, Università degli Studi di Napoli Federico II. E l'articolo scientifico "Le proprietà meccaniche degli acciai impiegati nelle strutture in c.a. realizzate negli anni '60" a firma di G.M. Verderame, A. Stella, E. Cosenza del Dipartimento di Analisi e Progettazione Strutturale, Università degli Studi di Napoli Federico II.

Stringendo la ricerca negli anni della presunta realizzazione dell'opera, ovvero tra il 1950 ed il 1954 si ottengono i seguenti valori tramite il software Stil.



Dall'analisi dei risultati si rileva come il valore medio di snervamento corrisponde a quello delle prove in sito ovvero 318 MPa.

Considerando quindi i valori delle norme dell'epoca, i valori risultanti dalle prove sulle barre prelevate in sito e i valori di letteratura è lecito considerare i seguenti valori per le verifiche di resistenza del presente progetto.

- $f_y = 318$ MPa;
- $f_t = 430$ MPa

6.2. Prove sui calcestruzzi

Come anticipato al precedente paragrafo, per il calcestruzzo, si è dovuto eseguire delle indagini in mancanza di risultati di prove sperimentali eseguite all'atto della costruzione dell'opera.

Oltretutto le prove sono state necessari anche per determinare il degrado del calcestruzzo avvenuto negli anni.

La vecchia Circolare 2/2/2009 n. 617 CSLLPP, al paragrafo C8A.8.4 suggeriva che *il numero di campioni deve essere dello stesso ordine di grandezza di quello richiesto dalle norme sulle opere in cemento armato per le nuove costruzioni.*

Poiché il ponte è stato realizzato con circa 350 mc di calcestruzzo e dato che l'attuale DM del 17.01.2018, al paragrafo 11.2.5, prevede per le nuove strutture un controllo ogni 100 mc risultano necessari almeno 4 prelievi ovvero 8 campioni. Al fine di caratterizzare in modo esaustivo le varie parti della struttura è stato previsto il prelievo di 21 carote.

Oltre alle prove di schiacciamento sono state eseguite delle prove finalizzate allo studio del deterioramento del calcestruzzo, ovvero delle prove di profondità della carbonatazione e penetrazione dei cloruri

Prova di rottura per compressione su cilindri in calcestruzzo

(rif. norme UNI EN 12390-3; UNI EN 12504-1)

Sono stati prelevati dei campioni di calcestruzzo in punti meno sollecitati ed avendo cura di non danneggiare i ferri di armatura.

I campioni di calcestruzzo sono stati prelevati, preparati, e sottoposti a prova di compressione secondo le norme UNI EN 12390-3 e UNI EN 12504-1. Dalle carote sono stati ricavati dei provini di forma cilindrica aventi come rapporto tra le dimensioni $h/\phi = 1$. La prova di compressione ha quindi consentito di determinare la loro resistenza a compressione cilindrica.

Per tenere di conto del fattore di disturbo si applicano i fattori correttivi previsti nella tabella C11.2.6.1 della Circolare esplicativa delle NTC2018.

Come previsto nelle “Linee Guida per la valutazione delle caratteristiche del calcestruzzo in opera” approvate con Decreto del Presidente CSLLPP n. 361 del 26 settembre 2017, *nel caso di costruzioni esistenti, non si farà riferimento ai valori f_{ck} ed R_{ck} , bensì si calcoleranno i **valori medi** cilindrici $f_{m(n)is}$ o cubici $R_{m(n)is}$, ai quali andranno applicati i “fattori di confidenza” che ridurranno preliminarmente, in base al livello di conoscenza conseguito nelle indagini conoscitive, i valori medi di resistenza dei materiali della struttura esistente.*

In realtà le più recenti “Linee Guida per la Classificazione e Gestione del Rischio, la Valutazione della Sicurezza ed il Monitoraggio dei Ponti Esistenti” prevedono un approccio molto più cautelativo prescrivendo di usare come valore di calcolo il minore tra il valore caratteristico ed il valor medio diviso per il coefficiente di sicurezza.

$$f_d = \min \left(\frac{f_m}{FC \cdot \gamma_M}; \frac{f_k}{FC} \right)$$

Dove il valore caratteristico è calcolato non con la formula delle linee guida del calcestruzzo in opera ma con il più cautelativo frattile del 5% secondo le formule riportate nelle stesse linee guida per i ponti esistenti.

Nelle seguenti tabelle vengono fatte quindi le determinazioni delle resistenze a compressione dell'intera struttura e distinguendo tra implacato e pile, secondo gli approcci sopra riportati.

PILE E SPALLE			
PROVA DI COMPRESSIONE SU PROVINI DI CALCESTRUZZO			
Parte d'opera	R _{c1}	F _d	R _{c,is}
	[MPa]		[MPa]
C1	27.53	1.08	29.7
C2	21.19	1.09	23.1
C3	24.94	1.09	27.2
C4	33.78	1.06	35.8
C5	26.78	1.08	28.9
C6	33.11	1.06	35.1
C7	23.96	1.09	26.1
C8	31.48	1.06	33.4
Valore medio R_{cm,is}			29.92
Valore minore R_{cm,is}			23.10
a) R _{ck,is} = R _{cm,is} – 7 =			22.9
b) R _{ck,is} = R _{minore,is} + 4 =			27.1

Valore caratteristico $R_{ck, is}$ (minimo tra a e b)		22.92
	n	8
	μ	3.388205
	σ	0.143453
	$\mu 0.16$	3.337487
Valore caratteristico $R_{ck, is}$ x0.05		22.25

Per quanto riguarda le travi sono state prelevate le seguenti 9 carote.

TRAVI			
PROVA DI COMPRESSIONE SU PROVINI DI CALCESTRUZZO			
Parte d'opera	R_{c1}	Fd	$R_{c, is}$
	[MPa]		[MPa]
CT1	18.40	1.10	20.2
CT2	18.37	1.10	20.2
CT3	22.27	1.09	24.3
CT4	9.50	1.10	10.5
CT5	16.89	1.10	18.6
CT6	18.78	1.10	20.7
CT7	30.41	1.06	32.2
CT8	15.81	1.10	17.4
CT9	26.72	1.08	28.9
Valore medio $R_{cm, is}$			21.43
Valore minore $R_{cm, is}$			10.45

Tuttavia, la carota con codice CT4 è risultata completamente al di fuori della distribuzione probabilistica dei risultati delle altre prove e quindi viene scartata dall'analisi sotto riportata.

TRAVI			
PROVA DI COMPRESSIONE SU PROVINI DI CALCESTRUZZO			
Parte d'opera	R_{c1}	Fd	$R_{c, is}$
	[MPa]		[MPa]
CT1	18.40	1.10	20.2
CT2	18.37	1.10	20.2
CT3	22.27	1.09	24.3
CT5	16.89	1.10	18.6
CT6	18.78	1.10	20.7
CT7	30.41	1.06	32.2

CT8	15.81	1.10	17.4
CT9	26.72	1.08	28.9
Valore medio $R_{cm,is}$			22.81
Valore minore $R_{cm,is}$			17.39
deviazione standard			5.2
a) $R_{ck,is} = R_{m,is} - 1.48 * s =$			15.0
b) $R_{ck,is} = R_{minore,is} + 4 =$			21.4
Valore caratteristico $R_{ck,is}$ (minimo tra a e b)			15.04
	n	8	
	μ	3.105576	
	σ	0.202948	
	$\mu 0.16$	3.033823	
Valore caratteristico $R_{ck,is}$	x0.05	14.89	

Viene infine condotta l'analisi dei risultati delle prove sulle solette.

SOLETTE			
PROVA DI COMPRESSIONE SU PROVINI DI CALCESTRUZZO			
Parte d'opera	R_{c1}	F_d	$R_{c,is}$
	[MPa]		[MPa]
SOL1	27.70	1.08	29.9
SOL3	14.80	1.10	16.3
SOL2A	23.10	1.09	25.2
SOL2B	31.50	1.06	33.4
Valore medio $R_{cm,is}$			26.19
Valore minore $R_{cm,is}$			16.28
deviazione standard			7.4
a) $R_{ck,is} = R_{m,is} - 1.48 * s =$			15.2
b) $R_{ck,is} = R_{minore,is} + 4 =$			20.3
Valore caratteristico $R_{ck,is}$ (linee guida cls in opera)			15.22
	n	4	
	μ	3.230649	
	σ	0.273611	
	$\mu 0.16$	3.093844	
Valore caratteristico $R_{ck,is}$ (linee guida ponte esistenti)	x0.05	14.09	

Quindi si ottengono i seguenti valori di raffronto secondo le trattazioni sopra riportate, evidenziando in rosso i valori minori e quindi da considerare secondo le più recenti e restrittive “Linee Guida per la Classificazione e Gestione del Rischio, la Valutazione della Sicurezza ed il Monitoraggio dei Ponti Esistenti”.

	Valore medio $R_{cm,is}$	Valore medio / coeff. Sicurezza $R_d = R_{cm,is} / \gamma_M$	Valore caratteristico $R_{ck,is}$ (linee guida cls in opera)	Valore caratteristico $R_{ck,is}$ (linee guida ponte esistenti)
Pile e spalle	29.92	19.94	22.92	22.25
Impalcato	22.81	15.20	15.04	14.89
Solette	26.19	17.46	15.22	14.09

Quindi, secondo le linee guida sui ponti esistenti, è quindi lecito eseguire le verifiche considerando i valori medi divisi per i fattori di sicurezza. In realtà tali valori sono molto simili ai valori caratteristici, ovvero per l'impalcato praticamente coincidono nel valore $R_{cm,is}/\gamma_m = R_{ck,is} = 15 \text{ MPa}$.

Quindi si ottengono i seguenti valori da inserire nelle verifiche:

- Impalcato $R_d = R_{cm,is}/\gamma_m = R_{ck,is} = 15 \text{ MPa}$
- Solette $R_d = R_{cm,is}/\gamma_m = 17 \text{ MPa}$
- Pile e spalle $R_d = R_{cm,is}/\gamma_m = 20 \text{ MPa}$

Prove di profondità della carbonatazione

(rif. norma UNI 14630:2013)

Su 9 prelievi di carote di calcestruzzo, dopo la rottura, sono stati altresì sottoposti in laboratorio a prova di carbonatazione. La prova consente di rilevare lo stato di conservazione di elementi strutturali in calcestruzzo attraverso il processo chimico della carbonatazione, il quale prevede che per azione dell'anidride carbonica che è presente nell'aria si venga a neutralizzare la calce presente nel calcestruzzo.

DATA ESTRAZIONE	CAMPIONE ESTRATTO	DIMENSIONI	CONTRASSEGNO	ELEMENTO	CARBONATAZIONE (cm)
21/12/2021	carota	Φ 100 L= 31cm	CT1	TRAVE 1- TRAVE DIBORDO - CAMPATA 1	8
21/12/2021	carota	Φ 100 L= 30 cm	CT2	TRAVE 3 - TRAVE INTERNA - CAMPATA 1	8
21/12/2021	carota	Φ 100 L= 30 cm	CT3	TRAVE 5 - TRAVE DIBORDO - CAMPATA 1	9
21/12/2021	carota	Φ 100 L= 30 cm	CT5	TRAVE 3 - TRAVE INTERNA - CAMPATA 2	8
21/12/2021	carota	Φ 100 L= 30 cm	CT6	TRAVE 5 - TRAVE DIBORDO - CAMPATA 2	10
22/12/2021	carota	Φ 100 L= 30 cm	CT7	TRAVE 1- TRAVE DIBORDO - CAMPATA 3	5
22/12/2021	carota	Φ 100 L= 30 cm	CT8	TRAVE 3 - TRAVE INTERNA - CAMPATA 3	8,5
22/12/2021	carota	Φ 100 L= 28 cm	CT9	TRAVE 5 - TRAVE DIBORDO - CAMPATA 3	8
27/01/2022	carota	Φ 100 L= 11cm	CT4	TRAVE 4 - CAMPATA 2	8,5

Il valore medio della profondità della carbonatazione sulle carote è pari a circa 8cm.
Questo è sintomatico di un forte fenomeno di carbonatazione e deterioramento del calcestruzzo in atto, che quindi richiede un urgente intervento di risanamento.

Prove di profondità dei cloruri

(rif. norma UNI 11747:2019)

Su 17 prelievi di carote di calcestruzzo sono state effettuate in laboratorio delle prove di profondità dei cloruri, ottenendo i risultati riportati nella seguente tabella.

La procedura prevede di tagliare le carote di calcestruzzo a trazione indiretta (UNI EN 12390-6), e spruzzare una soluzione di NaOH 0.1 N per riportare il calcestruzzo alla corretta alcalinità. Viene spruzzata la soluzione di nitrato di argento AgNO₃, si attendono 30 minuti e si ripete l'operazione.

I provini devono essere conservati in ambiente controllato, al buio, per 7 giorni, tempo necessario affinché il profilo di penetrazione sia determinato. A questo punto, il provino presenterà delle zone di colore "argentato" indice della penetrazione degli ioni cloruro e zone più scure in cui la penetrazione non è avvenuta. Viene quindi tracciato il profilo e si effettua la misurazione escludendo uno spessore corticale adeguato.

DATA PROVA	CONTRASSEGNO	INTERVALLO DI MISURA (cm)												MEDIA ARITMETICA (cm)
24/01/2022	CT1	Spessore corticale	7.1	7	7.1	7.4	7.4	7.2	6.9	-	-	-	Spessore corticale	7.1
		1											1	
24/01/2022	CT2	Spessore corticale	8.4	8.3	7.8	7.3	8.1	7.7	7.9	7.8	7.9	-	Spessore corticale	7.9
		1											1	
24/01/2022	CT3	Spessore corticale	7.7	7.7	8	8	8.4	8.5	8.3	8.3	7.6	-	Spessore corticale	8.01
		1											1	
07/02/2022	CT4BIS	Spessore corticale	6.9	6.7	6.2	6.2	6.2	6.3	6.0	5.8	6.6	-	Spessore Corticale	8.01
		1											1	
24/01/2022	CT5	Spessore corticale	8.3	8.3	8.3	8.1	8.2	8.3	7.9	7.9	-	-	Spessore corticale	8.16
		1											1	
24/01/2022	CT6	Spessore corticale	7	6.8	7.1	7.5	7.9	7.5	7.6	8.2	8.2	-	Spessore corticale	7.5
		1											1	
24/01/2022	CT7	Spessore corticale	7.4	7.4	7.3	7.2	7	7.2	7.4	7.1	-	-	Spessore corticale	7.25
		1											1	
24/01/2022	CT8	Spessore corticale	6.4	6.6	6.8	7.4	8.5	8.0	8.3	8.7	9.0	-	Spessore corticale	7.83
		1											1	
22/12/2022	CT9	Spessore corticale	5.6	5.3	5.3	5.2	4.7	4.8	4.9	4.9	4.5	-	Spessore corticale	
		1											1	
24/01/2022	CP1	Spessore corticale	8.7	8.7	8.9	9	9.5	9.7	9	8.5	-	-	Spessore corticale	9.0
		1											1	
24/01/2022	CP2	Spessore corticale	2.7	3.5	5.2	5.8	5.5	6.3	6.7	6.8	-	-	Spessore corticale	5.43
		1											1	
24/01/2022	CP3	Spessore corticale	4.1	4.3	4.1	4.1	4.0	4.2	4.2	3.9	3.9	-	Spessore corticale	4.01
		1											1	
24/01/2022	CP4	Spessore corticale	5.3	5.3	5.5	5.3	5.1	5.0	5.0	5.3	-	-	Spessore corticale	5.225
		1											1	
24/01/2022	CS1	Spessore corticale	11.7	11.5	11.5	11.2	11	10.8	11	10.9	11.4	-	Spessore corticale	11.22
		1											1	
24/01/2022	CS2	Spessore corticale	5.3	6.0	7.0	5.9	4.8	5.2	5.3	5.0	4.6	-	Spessore corticale	5.4
		1											1	
24/01/2022	CS3	Spessore corticale	9.1	9.5	9.3	9	9.5	9.2	9.2	8.9	8.9	-	Spessore corticale	9.17
		1											1	
24/01/2022	CS4	Spessore corticale	8.5	8.2	8.7	9.7	10.2	9.7	9.9	10.2	10.2	-	Spessore corticale	9.47
		1											1	

Il valore medio della profondità di penetrazione dei cloruri sulle carote è pari a circa 7,4 cm.

Questo è sintomatico di un forte fenomeno di penetrazione dei cloruri e deterioramento del calcestruzzo in atto, che quindi richiede un urgente intervento di risanamento.

L'ammaloramento dei calcestruzzi risulta quindi molto profondo arrivando ad una **profondità della zona ammalorata di circa 7÷8 cm**, che quindi risulta la parte di calcestruzzo da risanare.

7. Allegati

Si riportano in allegato i seguenti report di laboratorio:

- Report della campagna di indagini strutturali sulle strutture esistenti e relativi certificati
- Report e risultati delle prove geognostiche

INDAGINI DI LABORATORIO STRUTTURE DEL PONTE

Calderara di Reno (BO), 10/02/2022

RAPPORTO DI PROVA	STR017/22
COMMITTENTE	PROVINCIA DI RAVENNA SETTORE LAVORI PUBBLICI MANUTENZIONE E GESTIONE RETE STRADALE
OGGETTO DEI LAVORI	CAMPAGNA INDAGINI STRUTTURALI
CANTIERE	PONTE SU FIUME SENIO AL KM 5+274 DALLA S.P. MASIERA
OGGETTO DELLE PROVE	N.29 PRELIEVI CAROTE N.20 CAROTE PER PROVE DI COMPRESSIONE N. 9 PROVE DI CARBONATAZIONE N.17 PROVE DI CLORURI N.14 PRELIEVI DI BARRA D'ARMATURA PER PROVE DI TRAZIONE N.18 SONDAGGI VISIVI DIRETTI N.1 VIDEOENDOSCOPIA
DATA PROVE	19-20-21/07/2021 21-22-23/12/2021 13-27/01/2022
ACCETTAZIONE INT.	529/E del 21/07/2021 963/E del 23/12/2021 008/E del 13/01/2022 043/E del 23/12/2022

(il presente rapporto di prova si compone di 25 pagine e n.1 allegato)



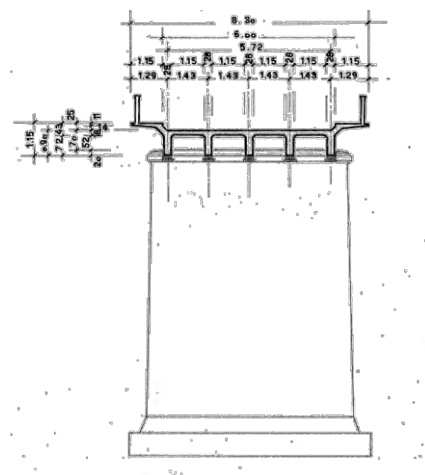
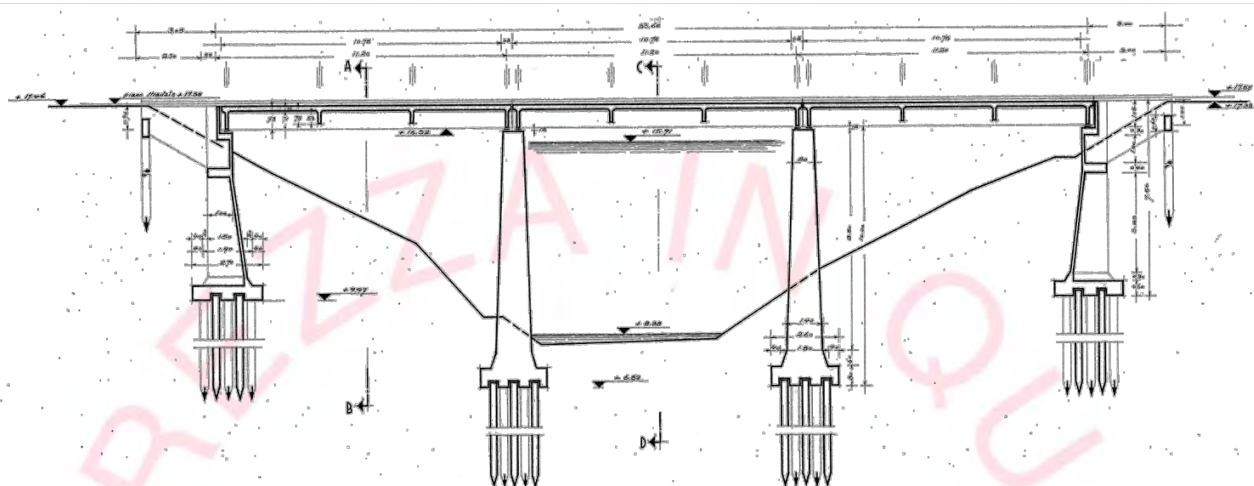
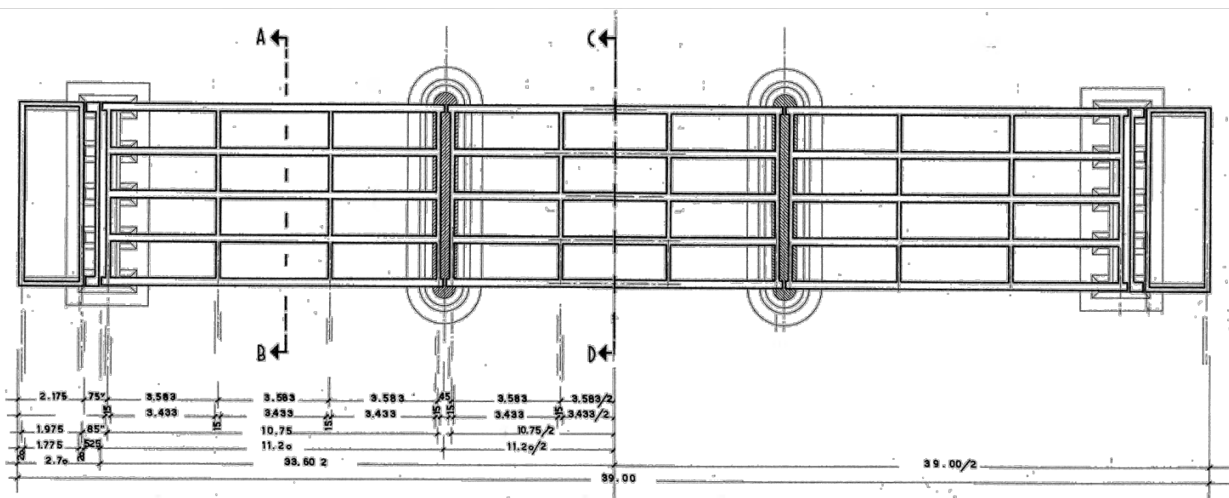
1. PREMESSA

Nelle seguenti giornate 19-20-21 luglio del 2021, 21-22-23 dicembre del 2021 e 13-27 gennaio del 2022 i tecnici di questo laboratorio hanno eseguito, secondo il piano d'indagine fornito dall'ente committente, presso il cantiere in oggetto, le prove riportate nella seguente tabella in cui vengono specificati gli elementi strutturali indagati.

Tipo di indagine	Struttura interessata	Quantità
Carotaggio per prova a compressione, carbonatazione e cloruri	Travi	9
Carotaggio per prova a compressione, carbonatazione e cloruri	Spalle	4
Carotaggio per prova a compressione, carbonatazione e cloruri	Pile	4
Carotaggio per prova a compressione con rilievo stratigrafia	Soletta	3
Prelievi spezzone di armatura per prova di trazione	Travi (*)	3
Prelievi spezzone di armatura per prova di trazione	Soletta	3
Prelievi spezzone di armatura per prova di trazione	Pile	4
Prelievi spezzone di armatura per prova di trazione	Spalle	4
Saggi all'intradosso in mezzeria e sull'appoggio	Travi	8
Saggi all'intradosso in mezzeria e sull'appoggio	Traversi	4
Saggio all'intradosso per determinare diametro e passo armature	Soletta	1
Saggio per determinare diametro e passo armature	Sbalzo	1
Saggio per determinare diametro e passo armature	Pile	2
Saggio per determinare diametro e passo armature	Spalle	2
Videoendoscopia per determinare stratigrafia e spessori	Sbalzo	1

(*) Strutture interessate dai prelievi armature: n°2 staffe dalle travi e n°1 barra di armatura longitudinale del traverso

Schema localizzazione delle prove nelle pagine successive.



Stato di fatto ponte sul fiume Sieno , Masiera



Localizzazione delle
singole prove eseguite
sul ponte.

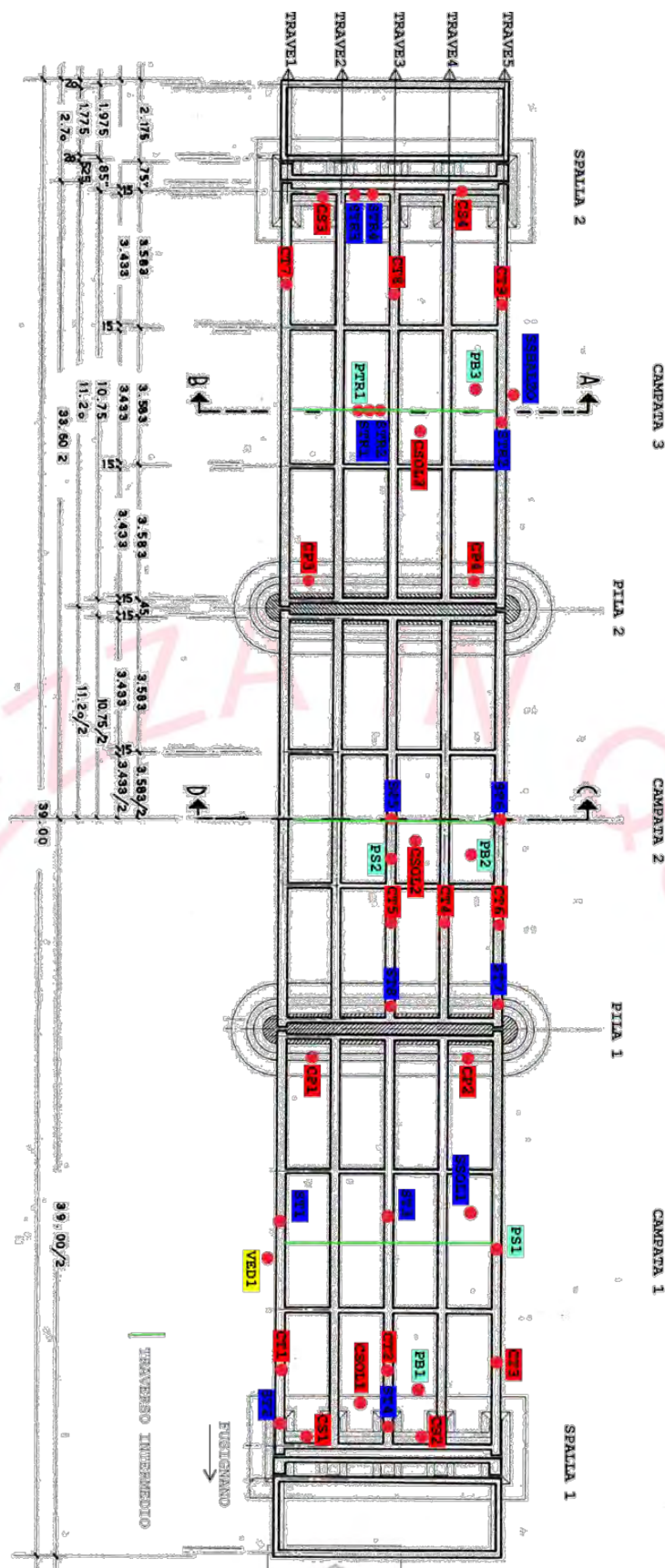
Legenda

Prelievo Carota

Saggio/Pacometria

Prelievo barra

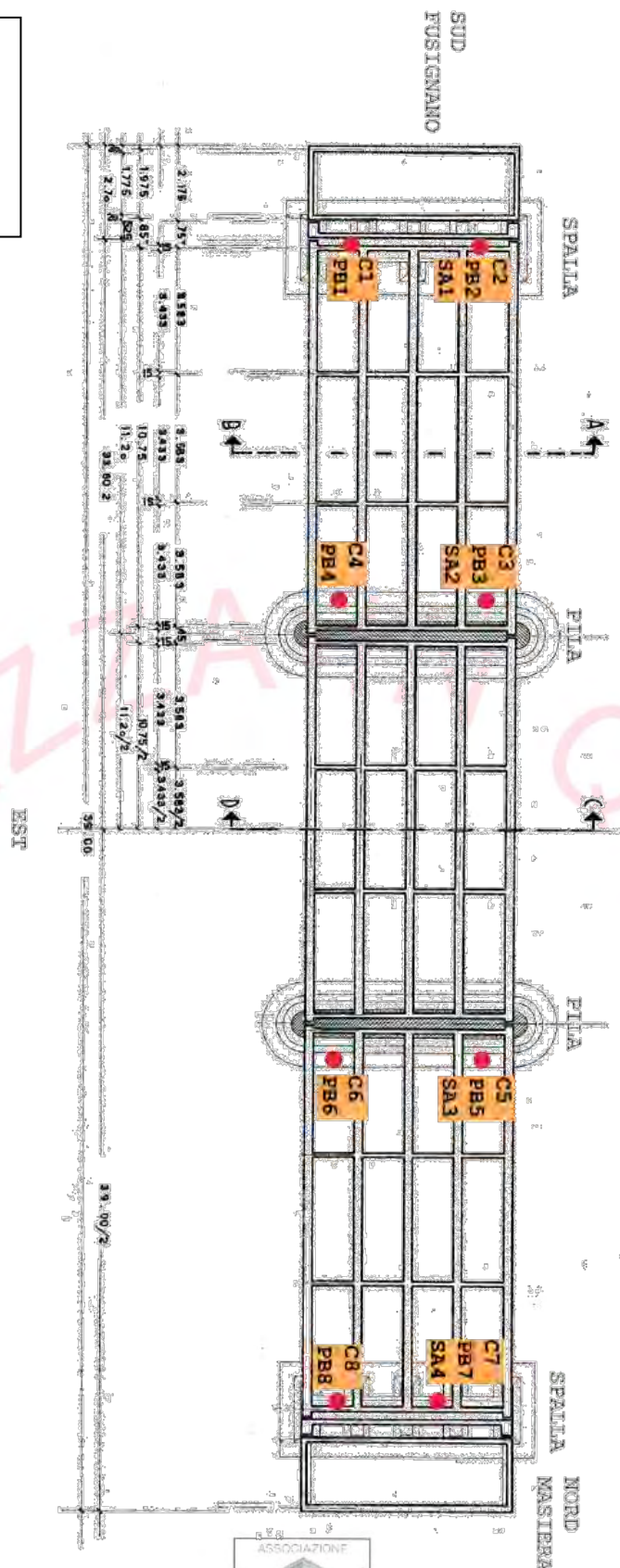
Videoendoscopia





Legenda

C: Prelievo carota
PB: Prelievo barra
SA: Saggio Visivo



2. ESTRAZIONE DI CAROTE IN CLS

Le carote sono state estratte mediante carotiere da diametro esterno 107 mm e interno 100 mm, coerentemente con i passi delle armature ed il diametro massimo degli inerti.

- Estrazione di carote di calcestruzzo

DATA ESTRAZIONE	CAMPIONE ESTRATTO	DIMENSIONI	CONTRASSEGNO	ELEMENTO	NOTE
19/07/2021	carota	Φ 100 L= 20 cm	C1	SPALLA LATO FUSIGNANO - LATO EST	Compressione
19/07/2021	carota	Φ 100 L= 20 cm	C2	SPALLA LATO FUSIGNANO - LATO OVEST	Compressione
19/07/2021	carota	Φ 100 L= 15,5 cm	C3	PILA 1- LATO OVEST	Compressione
19/07/2021	carota	Φ 100 L= 18 cm	C4	PILA 1- LATO EST	Compressione
20/07/2021	carota	Φ 100 L= 21cm	C5	PILA 2 - LATO OVEST	Compressione
20/07/2021	carota	Φ 100 L= 21cm	C6	PILA 2 - LATO EST	Compressione
20/07/2021	carota	Φ 100 L= 22 cm	C7	SPALLA LATO MASIERA - LATO OVEST	Compressione
20/07/2021	carota	Φ 100 L= 19 cm	C8	SPALLA LATO MASIERA - LATO EST	Compressione
21/12/2021	carota	Φ 100 L= 31cm	CT1	TRAVE 1- TRAVE DIBORDO - CAMPATA 1	Compressione, Carbonatazione, Cloruri
21/12/2021	carota	Φ 100 L= 30 cm	CT2	TRAVE 3 - TRAVE INTERNA - CAMPATA 1	Compressione, Carbonatazione, Cloruri
21/12/2021	carota	Φ 100 L= 30 cm	CT3	TRAVE 5 - TRAVE DIBORDO - CAMPATA 1	Compressione, Carbonatazione, Cloruri
21/12/2021	carota	Φ 100 L= 30 cm	CT5	TRAVE 3 - TRAVE INTERNA - CAMPATA 2	Compressione, Carbonatazione, Cloruri
21/12/2021	carota	Φ 100 L= 30 cm	CT6	TRAVE 5 - TRAVE DIBORDO - CAMPATA 2	Compressione, Carbonatazione, Cloruri
21/12/2021	carota	Φ 100 L= 15 cm	CS1	SPALLA LATO FUSIGNANO - LATO EST	Cloruri
21/12/2021	carota	Φ 100 L= 15 cm	CS2	SPALLA LATO FUSIGNANO - LATO OVEST	Cloruri
21/12/2021	carota	Φ 100 L= 15 cm	CP1	PILA 1- LATO OVEST	Cloruri
21/12/2021	carota	Φ 100 L= 15 cm	CP2	PILA 1- LATO EST	Cloruri
21/12/2021	carota	Φ 100 L= 23 cm	CSol1	SOLETTA INTRADOSSO - CAMPATA 1	Compressione
22/12/2021	carota	Φ 100 L= 22 cm	CSol3	SOLETTA INTRADOSSO - CAMPATA 3	Compressione
22/12/2021	carota	Φ 100 L= 30 cm	CT7	TRAVE 1- TRAVE DIBORDO - CAMPATA 3	Compressione, Carbonatazione, Cloruri
22/12/2021	carota	Φ 100 L= 30 cm	CT8	TRAVE 3 - TRAVE INTERNA - CAMPATA 3	Compressione, Carbonatazione, Cloruri
22/12/2021	carota	Φ 100 L= 28 cm	CT9	TRAVE 5 - TRAVE DIBORDO - CAMPATA 3	Compressione, Carbonatazione, Cloruri
22/12/2021	carota	Φ 100 L= 22 cm	CP3	PILA 2 - LATO EST	Cloruri
22/12/2021	carota	Φ 100 L= 19 cm	CP4	PILA 2 - LATO OVEST	Cloruri
22/12/2021	carota	Φ 100 L= 20 cm	CS3	SPALLA LATO MASIERA - LATO EST	Cloruri
22/12/2021	carota	Φ 100 L= 19 cm	CS4	SPALLA LATO MASIERA - LATO OVEST	Cloruri
27/01/2022	carota	Φ 100 L= 11cm	CT4	TRAVE 4 - CAMPATA 2	Compressione, Carbonatazione
27/01/2022	carota	Φ 100 L= 17 cm	CT4BIS	TRAVE 4 - CAMPATA 2	Cloruri
27/01/2022	carota	Φ 100 L= 24 cm	CSOL2	SOLETTA INTRADOSSO - CAMPATA 2	Compressione

3. PROVA COLORIMETRICA DI CARBONATAZIONE – PT

La prova ha lo scopo di determinare la profondità di carbonatazione dello strato superficiale del calcestruzzo.

Il calcestruzzo possiede un valore di pH di circa 12,5, cosa che gli conferisce un carattere fortemente alcalino. Questa forte alcalinità costituisce una protezione naturale dell'armatura contro la corrosione. Il calcestruzzo carbonatato invece è fortemente permeabile e riduce la capacità protettiva; fornisce inoltre una durezza superiore che tende ad ingannare i metodi di determinazione della resistenza a compressione misurati con sclerometro.

Dopo aver pulito e asciugato il campione da sottoporre a prova, lo stesso viene nebulizzato con una soluzione all'1% di fenoltaleina in alcool etilico, tale reagente vira al rosso al contatto con materiale il cui pH sia maggiore di circa 9,2 e rimane incolore per valori di pH minori.

Solo il calcestruzzo che è colorato ha un'alcalinità sufficiente a fornire la passività per l'acciaio.

La prova colorimetrica di carbonatazione è definita dalla norma UNI EN 14630:2013.

- Risultati delle prove effettuate in situ

DATA ESTRAZIONE	CAMPIONE ESTRATTO	DIMENSIONI	CONTRASSEGNO	ELEMENTO	CARBONATAZIONE (cm)
21/12/2021	carota	Φ 100 L= 31cm	CT1	TRAVE 1- TRAVE DIBORDO - CAMPATA 1	8
21/12/2021	carota	Φ 100 L= 30 cm	CT2	TRAVE 3 - TRAVE INTERNA - CAMPATA 1	8
21/12/2021	carota	Φ 100 L= 30 cm	CT3	TRAVE 5 - TRAVE DIBORDO - CAMPATA 1	9
21/12/2021	carota	Φ 100 L= 30 cm	CT5	TRAVE 3 - TRAVE INTERNA - CAMPATA 2	8
21/12/2021	carota	Φ 100 L= 30 cm	CT6	TRAVE 5 - TRAVE DIBORDO - CAMPATA 2	10
22/12/2021	carota	Φ 100 L= 30 cm	CT7	TRAVE 1- TRAVE DIBORDO - CAMPATA 3	5
22/12/2021	carota	Φ 100 L= 30 cm	CT8	TRAVE 3 - TRAVE INTERNA - CAMPATA 3	8,5
22/12/2021	carota	Φ 100 L= 28 cm	CT9	TRAVE 5 - TRAVE DIBORDO - CAMPATA 3	8
27/01/2022	carota	Φ 100 L= 11cm	CT4	TRAVE 4 - CAMPATA 2	8,5

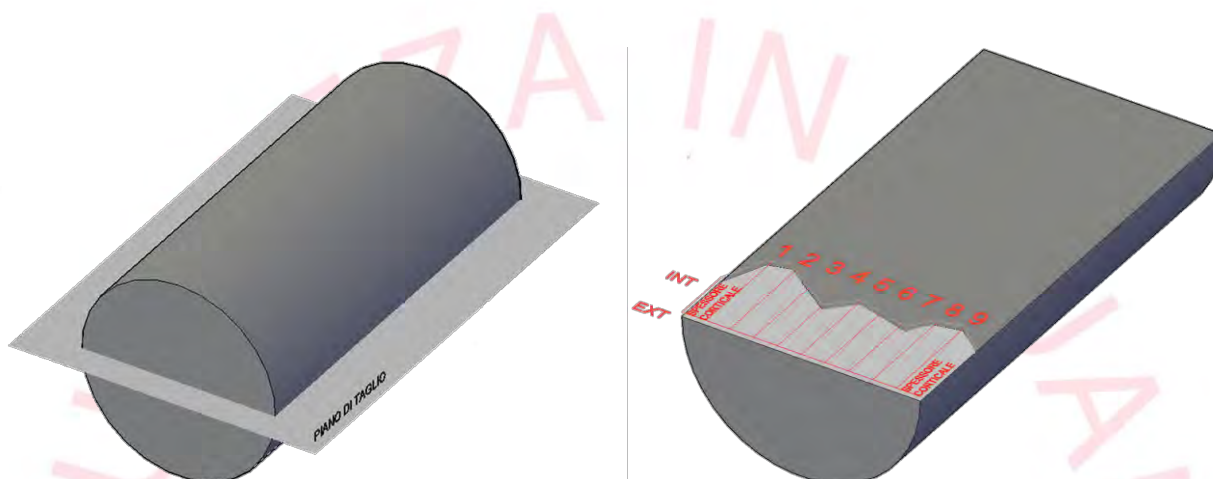
4. PROVA DI DETERMINAZIONE DEL PROFILO DI PENETRAZIONE DEGLI IONI CLORURO

Tale prova è effettuata seguendo la UNI 11747-2019.

La procedura prevede di tagliare le carote di calcestruzzo a trazione indiretta (UNI EN 12390-6), e spruzzare una soluzione di NaOH 0.1 N per riportare il calcestruzzo alla corretta alcalinità. Viene spruzzata la soluzione di nitrato di argento AgNO_3 , si attendono 30 minuti e si ripete l'operazione.

I provini devono essere conservati in ambiente controllato, al buio, per 7 giorni, tempo necessario affinché il profilo di penetrazione sia determinato. A questo punto, il provino presenterà delle zone di colore "argentato" indice della penetrazione degli ioni cloruro e zone più scure in cui la penetrazione non è avvenuta. Viene quindi tracciato il profilo e si effettua la misurazione escludendo uno spessore corticale adeguato.

Come indicato da normativa, gli intervalli di misura devono essere minimo sei e di larghezza non inferiore a 1 cm; la misurazione è effettuata da sinistra verso destra come indicato nello schema seguente:



- Risultati delle prove effettuate in laboratorio

DATA PROVA	CONTRASSEGNO	INTERVALLO DI MISURA (cm)												MEDIA ARITMETICA (cm)
24/01/2022	CT1	Spessore corticale	7.1	7	7.1	7.4	7.4	7.2	6.9	-	-	-	Spessore corticale	7.1
		1											1	
24/01/2022	CT2	Spessore corticale	8.4	8.3	7.8	7.3	8.1	7.7	7.9	7.8	7.9	-	Spessore corticale	7.9
		1											1	
24/01/2022	CT3	Spessore corticale	7.7	7.7	8	8	8.4	8.5	8.3	8.3	7.6	-	Spessore corticale	8.01
		1											1	
07/02/2022	CT4BIS	Spessore corticale	6.9	6.7	6.2	6.2	6.2	6.3	6.0	5.8	6.6	-	Spessore corticale	8.01
		1											1	
24/01/2022	CT5	Spessore corticale	8.3	8.3	8.3	8.1	8.2	8.3	7.9	7.9	-	-	Spessore corticale	8.16
		1											1	
24/01/2022	CT6	Spessore corticale	7	6.8	7.1	7.5	7.9	7.5	7.6	8.2	8.2	-	Spessore corticale	7.5
		1											1	
24/01/2022	CT7	Spessore corticale	7.4	7.4	7.3	7.2	7	7.2	7.4	7.1	-	-	Spessore corticale	7.25
		1											1	
24/01/2022	CT8	Spessore corticale	6.4	6.6	6.8	7.4	8.5	8.0	8.3	8.7	9.0	-	Spessore corticale	7.83
		1											1	
22/12/2022	CT9	Spessore corticale	5.6	5.3	5.3	5.2	4.7	4.8	4.9	4.9	4.5	-	Spessore corticale	
		1											1	
24/01/2022	CP1	Spessore corticale	8.7	8.7	8.9	9	9.5	9.7	9	8.5	-	-	Spessore corticale	9.0
		1											1	
24/01/2022	CP2	Spessore corticale	2.7	3.5	5.2	5.8	5.5	6.3	6.7	6.8	-	-	Spessore corticale	5.43
		1											1	
24/01/2022	CP3	Spessore corticale	4.1	4.3	4.1	4.1	4.0	4.2	4.2	3.9	3.9	-	Spessore corticale	4.01
		1											1	
24/01/2022	CP4	Spessore corticale	5.3	5.3	5.5	5.3	5.1	5.0	5.0	5.3	-	-	Spessore corticale	5.225
		1											1	
24/01/2022	CS1	Spessore corticale	11.7	11.5	11.5	11.2	11	10.8	11	10.9	11.4	-	Spessore corticale	11.22
		1											1	
24/01/2022	CS2	Spessore corticale	5.3	6.0	7.0	5.9	4.8	5.2	5.3	5.0	4.6	-	Spessore corticale	5.4
		1											1	
24/01/2022	CS3	Spessore corticale	9.1	9.5	9.3	9	9.5	9.2	9.2	8.9	8.9	-	Spessore corticale	9.17
		1											1	
24/01/2022	CS4	Spessore corticale	8.5	8.2	8.7	9.7	10.2	9.7	9.9	10.2	10.2	-	Spessore corticale	9.47
		1											1	

5. PROVA DI RESISTENZA A COMPRESSIONE SU CAROTE DI CALCESTRUZZO – PS

La prova per la determinazione della resistenza a compressione delle carote in calcestruzzo è definita dalle Norme UNI 12504-1, UNI 12390-3 e dalle Nuove Norme tecniche sulle costruzioni. Tenuto conto della lunghezza della carota, queste sono state tagliate in modo tale che h/D fosse pari ad 1.

- Risultati delle prove di laboratorio

data prove	contrassegno	dimensioni carota					massa	carico di rottura	carico unitario	Tipo di rottura (UNI EN 12390-3)	Note
		Ø	h	superficie	volume	peso	volumica				
		cm	cm	cm ²	cm ³	gr	carota				
26/08/2021	C1	10,0	10,0	78,5	785,4	1814,00	2309,66	216249	27,53	1	-
26/08/2021	C2	10,0	10,0	78,5	785,4	1772,00	2256,18	166438	21,19	1	-
26/08/2021	C3	10,0	10,0	78,5	785,4	1798,00	2289,28	195843	24,94	1	-
26/08/2021	C4	10,0	10,0	78,5	785,4	1848,00	2352,95	265281	33,78	1	-
26/08/2021	C5	10,0	10,0	78,5	785,4	1780,00	2266,37	210298	26,78	1	-
26/08/2021	C6	10,0	10,0	78,5	785,4	1837,00	2338,94	260038	33,11	1	-
26/08/2021	C7	10,0	10,1	78,5	793,3	1813,00	2285,53	188191	23,96	1	-
26/08/2021	C8	10,0	10,1	78,5	793,3	1835,00	2313,26	247213	31,48	1	-
12/01/2022	CT1	10,0	10,0	78,5	785,4	1719,00	2188,70	144544	18,40	2	-
12/01/2022	CT2	10,0	10,1	78,5	793,3	1782,00	2246,45	144261	18,37	2	-
12/01/2022	CT3	10,0	10,1	78,5	793,3	1780,00	2243,93	174941	22,27	2	-
12/01/2022	CT5	10,0	10,1	78,5	793,3	1585,00	1998,10	132641	16,89	2	-
12/01/2022	CT6	10,0	10,2	78,5	801,1	1587,00	1981,01	147520	18,78	1	-
12/01/2022	CT7	10,0	10,1	78,5	793,3	1787,00	2252,75	238852	30,41	1	-
12/01/2022	CT8	10,0	10,0	78,5	785,4	1755,00	2234,54	124209	15,81	1	-
12/01/2022	CT9	10,0	10,1	78,5	793,3	1828,00	2304,44	209872	26,72	1	-
12/01/2022	CSol 1	10,0	10,1	78,5	793,3	1761,00	2219,98	217808	27,73	1	-
12/01/2022	CSol 3	10,0	10,1	78,5	793,3	1761,00	2219,98	217808	27,73	1	-
01/02/2022	CSOL 2 A	9,9	9,9	77,0	762,1	1750,00	2296,37	215116	27,95	1	-
01/02/2022	CSOL 2 B	9,9	10,0	77,0	769,8	1804,00	2343,56	255645	33,21	1	-
01/02/2022	CT4	9,9	10,0	77,0	769,8	1802,00	2340,96	73122	9,50	2	-

(*) 1-Facce fessurate in modo uguale; 2-Rottura bipiramidale; 3-Rottura esplosiva; 4-Rottura non soddisfacente (UNI EN 12390-3)

6. DETERMINAZIONE DELLA RESISTENZA A TRAZIONE DELLE BARRE D'ARMATURA - PA

La prova per la determinazione della resistenza a trazione delle barre di acciaio è definita dalle Norme UNI 15630-1, UNI 10002 e dalle Nuove Norme tecniche sulle costruzioni.

- Estrazione barre d'armatura

DATA ESTRAZIONE	CAMPIONE ESTRATTO	DIMENSIONI		CONTRASSEGNO	ELEMENTO	NOTE
		Ø (mm)	L (cm)			
19/07/2021	BARRA ARMATURA	14	38,5	PB1	SPALLA LATO FUSIGNANO - LATO EST	-
19/07/2021	BARRA ARMATURA	8	41	PB2	SPALLA LATO FUSIGNANO - LATO OVEST	-
19/07/2021	BARRA ARMATURA	8	40	PB3	PILA 1- LATO OVEST	-
19/07/2021	BARRA ARMATURA	16	43	PB4	PILA 1- LATO EST	-
20/07/2021	BARRA ARMATURA	14	39,5	PB5	PILA 2- LATO OVEST	-
20/07/2021	BARRA ARMATURA	8	40	PB6	PILA 2- LATO EST	-
20/07/2021	BARRA ARMATURA	16	41	PB7	SPALLA LATO MASIERA - LATO OVEST	-
20/07/2021	BARRA ARMATURA	8	41	PB8	SPALLA LATO MASIERA - LATO EST	-
21/12/2021	BARRA ARMATURA	12	42	PBSol1	SOLETTA INTRADOSSO - CAMPATA 1	-
21/12/2021	BARRA ARMATURA	8	40	PS1	TRAVE 4 - CAMPATA 1	-
21/12/2021	BARRA ARMATURA	20	40	PTR1	TRAVE SO INTERMEDIO - CAMPATA 3	-
13/01/2022	BARRA ARMATURA	12	41	PBSol3	SOLETTA INTRADOSSO - CAMPATA 3	-
27/01/2022	BARRA ARMATURA	12	38	PBSol2	SOLETTA INTRADOSSO - CAMPATA 2	-
27/01/2022	BARRA ARMATURA	8	40	PS2	TRAVE 3 - CAMPATA 3 - STAFFA	-

- Risultati prove di trazioni

Data prove	Sigla	Elemento	Diametro nominale (mm)	Massa g	Lunghezza mm	Sezione effettiva (mm²)	Diametro effettivo (mm)	Carico di Snervam. fy		Carico di Rottura ft		Allungamento		TIPO DI ACCIAIO	NOTE
								Totale (daN)	Unitario (N/mm²)	Totale (daN)	Unitario (N/mm²)	A _{st}	A _s (%)		
27/07/2021	PB1	SPALLA LATO FUSIGNANO - LATO EST	14	445	382	148,40	13,75	3489	235	5277	356	3,06	14,5	LISCIA	(1), (2)
27/07/2021	PB2	SPALLA LATO FUSIGNANO - LATO OVEST	8	154	410	47,85	7,81	1354	283	1848	386	9,15	21,5	LISCIA	(1), (2)
27/07/2021	PB3	PILA 1- LATO OVEST	8	160	400	50,96	8,05	1376	270	1988	390	9,28	31,0	LISCIA	(2)
27/07/2021	PB4	PILA 1- LATO EST	16	670	432	197,57	15,86	7636	386	10835	548	13,50	21,0	LISCIA	(2)
27/07/2021	PB5	PILA 2- LATO OVEST	14	452	399	144,31	13,56	4819	334	6000	416	8,17	18,5	LISCIA	(1)
27/07/2021	PB6	PILA 2- LATO EST	8	108	310	44,38	7,52	1120	252	1444	325	5,34	10,5	LISCIA	(1), (2)
27/07/2021	PB7	SPALLA LATO MASIERA - LATO OVEST	16	655	411	203,02	16,08	7953	392	11223	553	15,87	26,5	LISCIA	(3)
27/07/2021	PB8	SPALLA LATO MASIERA - LATO EST	8	155	418	47,24	7,76	1658	351	2137	452	1,00	6,0	LISCIA	(1), (2)
19/01/2022	PBSol1	SOLETTA INTRADOSSO - CAMPATA 1	12	365	419	110,97	11,89	3428	309	4797	432	13,47	30,0	LISCIA	
19/01/2022	PS1	TRAVE 4 - CAMPATA 1	8	136	345	50,22	8,00	2107	420	2642	526	12,02	30,0	LISCIA	(3)
19/01/2022	PTR1	TRAVE SO INTERMEDIO - CAMPATA 3	20	1005	413	309,99	19,87	9179	296	12511	404	22,79	38,0	LISCIA	
17/01/2022	PBSol3	SOLETTA INTRADOSSO - CAMPATA 3	12	360	413	111,04	11,89	3449	311	4934	444	12,73	12,5	LISCIA	
27/01/2022	PBSol2	SOLETTA INTRADOSSO - CAMPATA 2	12	333	362	117,18	12,21	3718	317	5355	457	21,21	38,0	LISCIA	
27/01/2022	PS2	TRAVE 3 - CAMPATA 3 - STAFFA	8	157	406	49,26	7,92	1480	300	1877	381	12,59	41,0	LISCIA	

(1) Barra molto rovinata causa corrosione.

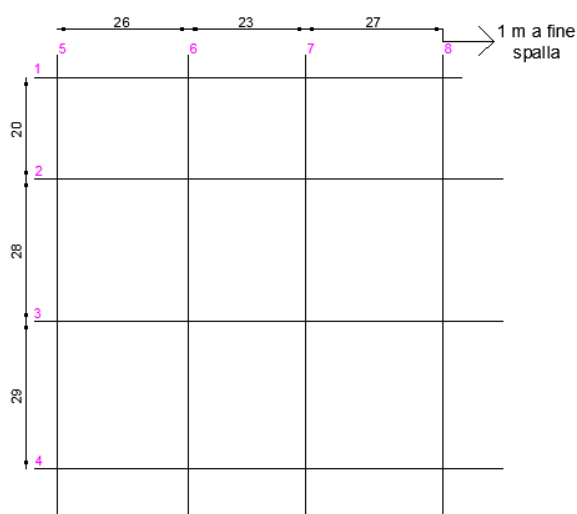
(2) Barra rotta in corrispondenza di una porzione erosa.

(3) Barra accorciata in fase di prova poiché molto rovinata.

7. SONDAGGI VISIVI DIRETTI

Il sondaggio visivo diretto, o saggio, avviene previa pacometria e successiva scarifica del copriferro. A differenza della prova pacometrica fornisce non solo informazioni relative al passo fra le barre, ma anche il diametro ed il copriferro. Di seguito gli elaborati grafici.

SA1 – SPALLA FUSIGNANO

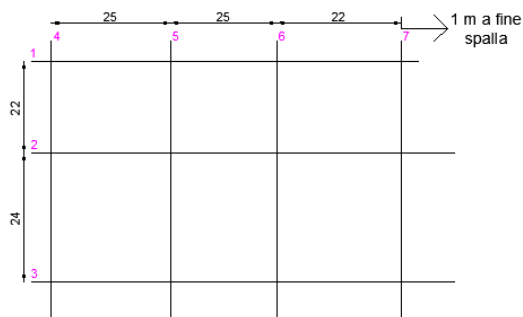


SA1			
REF. ARMATURA	Ø (mm)	CF (cm)	NOTE
1	8	4	-
2	8	4	-
3	8	4	-
4	8	4	-
5	14	5	-
6	14	5	-
7	14	5	-
8	14	5	-





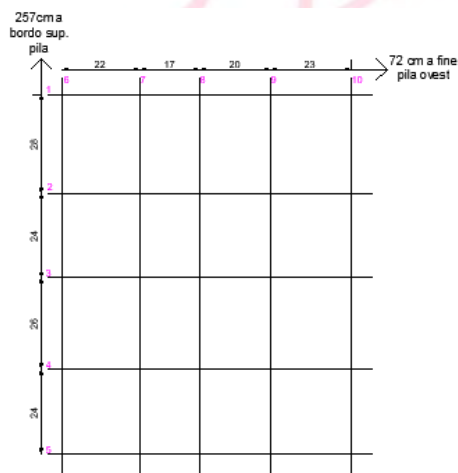
SA2 – PILA 1



SA2			
RF. ARMATURA	Ø (mm)	CF (cm)	NOTE
1	8	3	-
2	8	3	-
3	8	3	-
4	16	4	-
5	16	4	-
6	16	4	-
7	16	4	-



SA3 – PILA 3

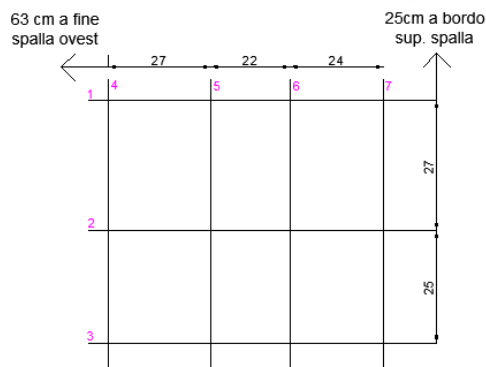


SA3			
RF. ARMATURA	Ø (mm)	CF (cm)	NOTE
1	8	3	-
2	8	3	-
3	8	3	-
4	8	3	-
5	8	3	-
6	14	4	-
7	14	4	-
8	14	4	-
9	14	4	-
10	14	4	-





SA4 – SPALLA LATO MASIERA

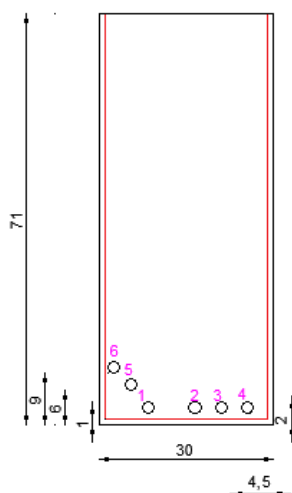


SA4			
RIF. ARMATURA	Ø (mm)	CF (cm)	NOTE
1	8	4	-
2	8	4	-
3	8	4	-
4	14	5	-
5	16	5	-
6	16	5	-
7	16	5	-

le barre individuate sono tonde lisce

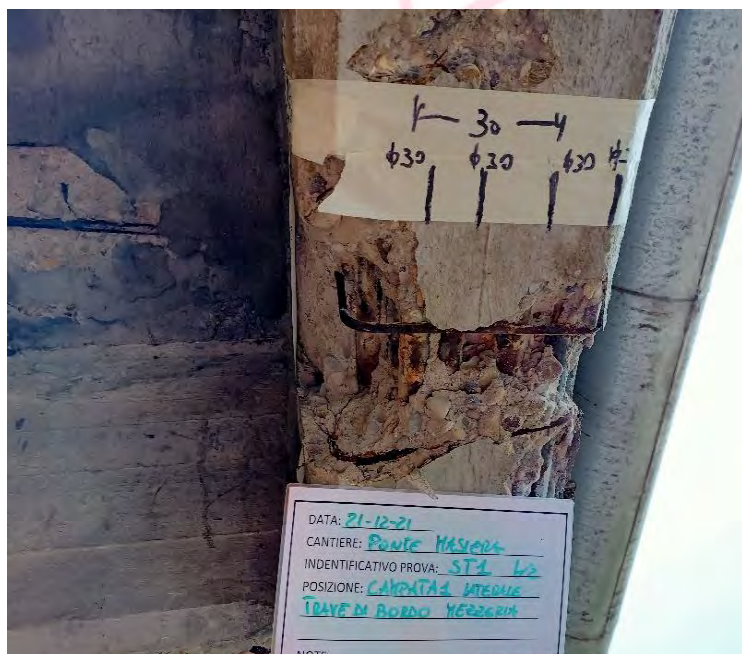


ST1 – CAMPATA 1 – TRAVE DI BORDO

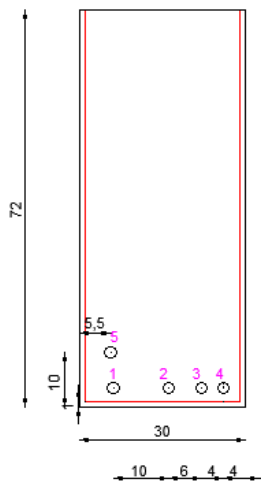


ST1			
RIF. ARMATURA	Ø (mm)	CF (cm)	NOTE
1	30	2	-
2	30	2	-
3	30	2	-
4	30	2	-
5	30	6	-
6	30	9	-

le barre individuate sono tonde lisce



ST2 – CAMPATA 1 LATERALE – TRAVE DI BORDO

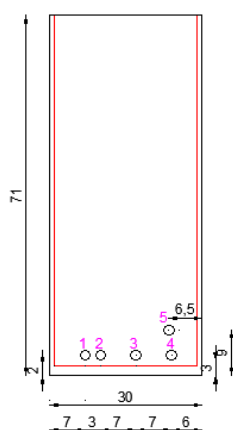


ST2			
RIF. ARMATURA	Ø (mm)	CF (cm)	NOTE
1	30	2.5	-
2	30	2.5	-
3	30	2.5	-
4	30	2.5	-
5	30	10	Sagomato

le barre individuate sono tonde lisce



ST3 – CAMPATA 1 MEZZERIA – TRAVE 3

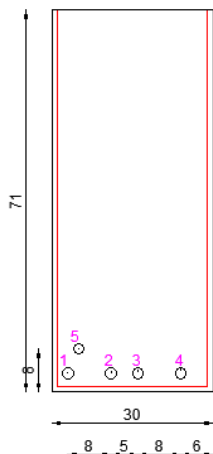


ST3			
RIF. ARMATURA	Ø (mm)	CF (cm)	NOTE
1	30	3	-
2	30	3	-
3	30	3	-
4	30	3	-
5	30	9	Sagomato

le barre individuate sono tonde lisce



ST4 – CAMPATA 1 APPOGGIO – TRAVE 3

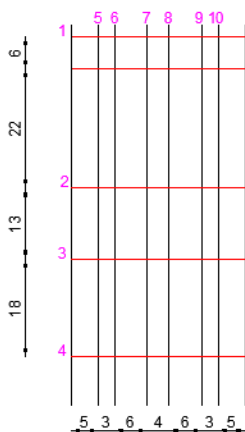


ST4			
RIF. ARMATURA	Ø (mm)	CF (cm)	NOTE
1	30	3.5	-
2	30	3.5	-
3	30	3.5	-
4	30	3.5	-
5	30	8	Sagomato



le barre individuate sono tonde lisce

SAGGIO 5 - TRAVE CENTRALE - CAMPATA CENTRALE MEZZERIA - INTRADOSSO

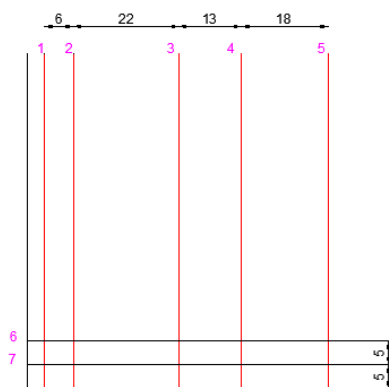


SAGGIO 5 - INTRADOSSO			
RIF. ARMATURA	Ø (mm)	CF (cm)	NOTE
1	8	0,5	-
2	8	0,5	-
3	8	0,5	-
4	8	0,5	-
5	24	2,5	-
6	24	2,5	-
7	30	2,5	-
8	24	2,5	-
9	24	2,5	-
10	24	2,5	-

le barre individuate sono tonde lisce

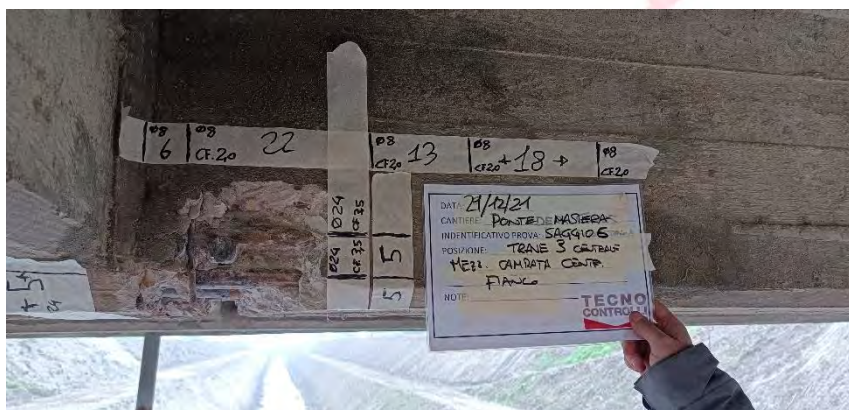


SAGGIO 5 - TRAVE CENTRALE - CAMPATA CENTRALE MEZZERIA - FIANCO



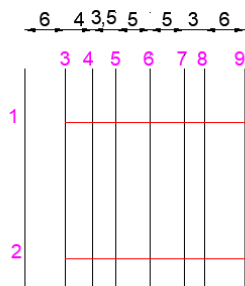
SAGGIO 5 - FIANCO			
RIF. ARMATURA	Ø (mm)	CF (cm)	NOTE
1	8	2	-
2	8	2	-
3	8	2	-
4	8	2	-
5	8	2	-
6	24	3,5	-
7	24	3,5	-

le barre individuate sono tonde lisce





SAGGIO 6 - TRAVE BORDO - CAMPATA CENTRALE MEZZERIA - INTRADOSSO

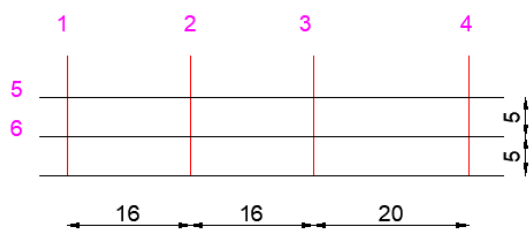


SAGGIO 5 - INTRADOSSO			
RIF. ARMATURA	Ø (mm)	CF (cm)	NOTE
1	8	1.5	-
2	8	1.5	-
3	26	3	-
4	24	3	-
5	30	3	-
6	24	3	-
7	24	3	-
8	26	4	-

le barre individuate sono tonde lisce

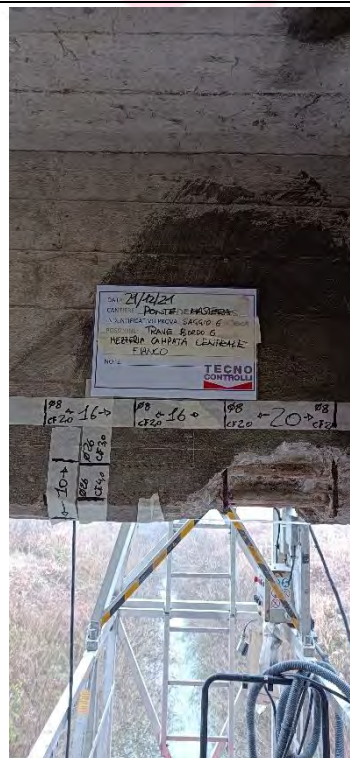


SAGGIO 6 - TRAVE BORDO - CAMPATA CENTRALE MEZZERIA - FIANCO



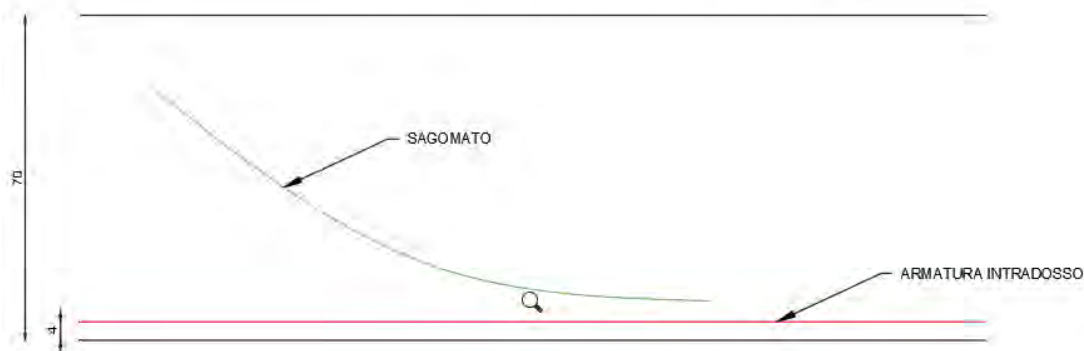
SAGGIO 5 - FIANCO			
RIF. ARMATURA	Ø (mm)	CF (cm)	NOTE
1	8	2	-
2	8	2	-
3	8	2	-
4	8	2	-
5	26	3	-
6	26	4	-

le barre individuate sono tonde lisce



SAGGIO 7 – TRAVE BORDO CENTRALE – CAMPATA 2

ST7 - CAMPATA 2 - TRAVE DI BORDO CENTRALE - CAMPATA 2



ST7 - ARMATURE INTRADOSSO



STR7 - BARRE TRASVERSALI			
RIF. ARMATURA	Ø (mm)	CF (cm)	NOTE
A	8	2,5	-
B	8	2,5	-
C	8	2,5	-
D	8	2,5	-
E	8	2,5	-
F	8	2,5	-
G	8	2,5	-
H	8	2,5	-
I	8	2,5	-

STR7 - BARRE LONGITUDINALI			
RIF. ARMATURA	Ø (mm)	CF (cm)	NOTE
1	26	3	-
2	24	3	-
3	24	3	-
4	24	3	-
5	24	3	-

le barre individuate sono tonde lisce



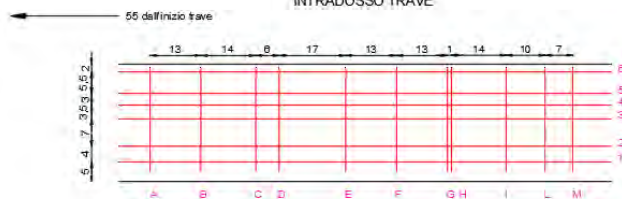
SAGGIO 8 – TRAVE CENTRALE – APPOGGIO – CAMPATA 2

ST8 - CAMPATA 2 - TRAVE CENTRALE - APPOGGIO

VISTA FRONTALE



INTRADOSSO TRAVE



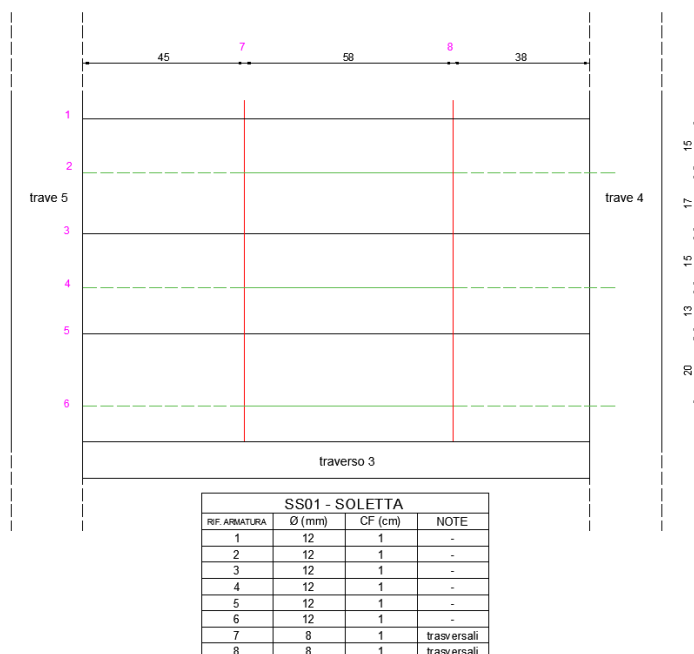
STR8 - BARRE LONGITUDINALI			
RF. ARMATURA	Ø (mm)	CF (cm)	NOTE
1	24	<1	-
2	24	<1	-
3	24	<1	-
4	24	<1	-
5	24	<1	-
6	26	<1	-

STR8 - BARRE TRASVERSALI			
RF. ARMATURA	Ø (mm)	CF (cm)	NOTE
A	8	<1	-
B	8	<1	-
C	8	<1	-
D	8	<1	-
E	8	<1	-
F	8	<1	-
G	8	<1	-
H	8	<1	-
I	8	<1	-
L	8	<1	-
M	8	<1	-

le barre individuate sono tonde lisce

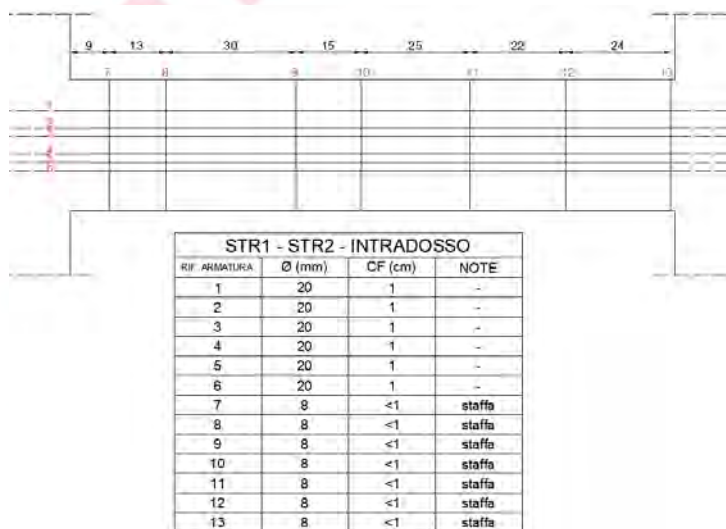


SS01 - SOLETTA - CAMPATA 1 - tra trave 5-4 - tra traverso 2-3



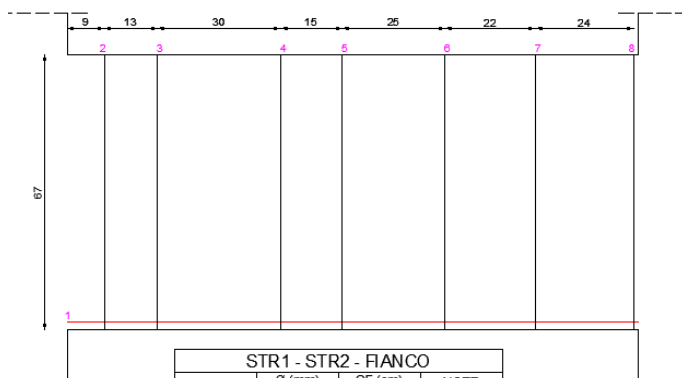
le barre individuate sono tonde lisce

STR 1 APPOGGIO + STR 2 MEZZERIA + PBTR1 - TRAVERSA - INTRADOSSO



le barre individuate sono tonde lisce

STR 1 APPOGGIO + STR 2 MEZZERIA + PBTR1 - TRAVERSA - FIANCO

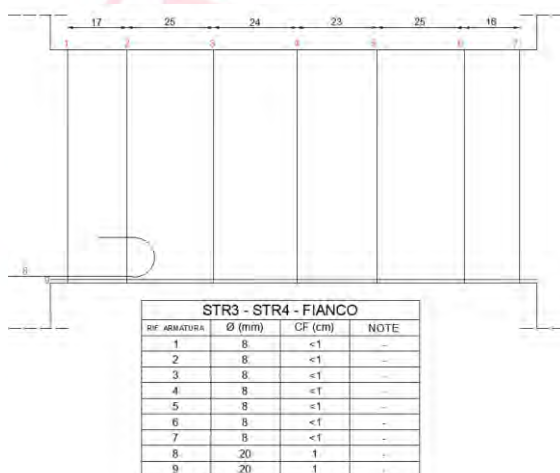


STR1 - STR2 - FIANCO			
REF. ARMATURA	Ø (mm)	CF (cm)	NOTE
1	20	1	PBTR1 - 40 CM
2	8	3	staffa
3	8	3	staffa
4	8	3	staffa
5	8	3	staffa
6	8	3	staffa
7	8	3	staffa
8	8	3	staffa



le barre individuate sono tonde lisce

STR 3 APPOGGIO + STR 4 MEZZERIA - CAMPATA 3 - FIANCO



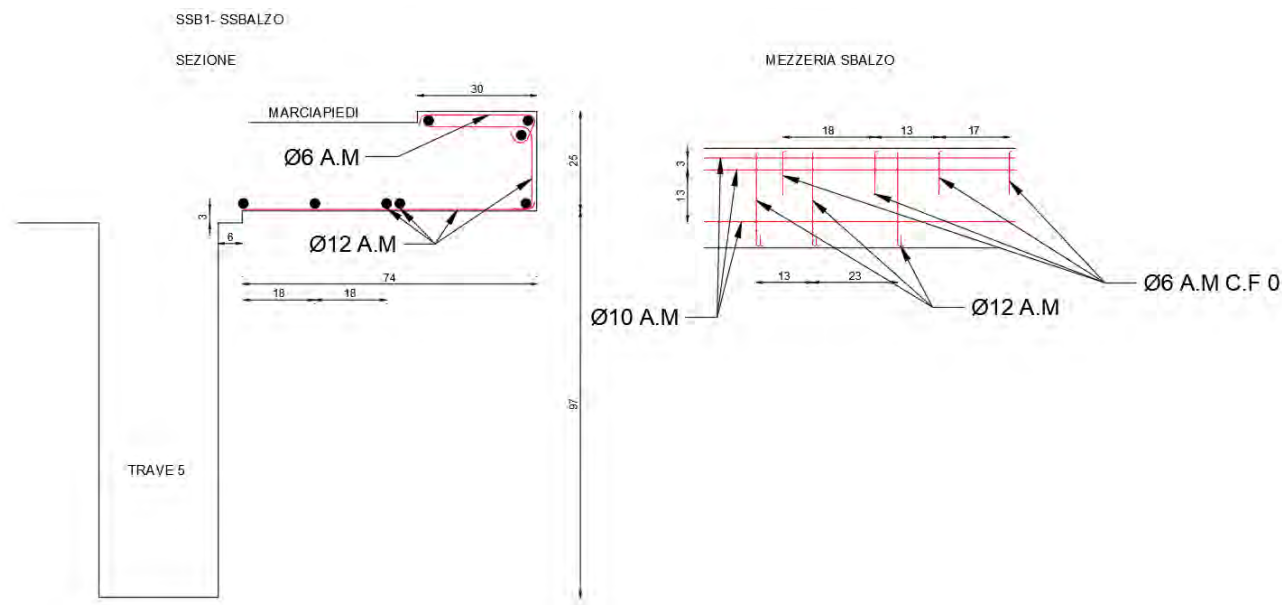
STR3 - STR4 - FIANCO			
REF. ARMATURA	Ø (mm)	CF (cm)	NOTE
1	8	<1	-
2	8	<1	-
3	8	<1	-
4	8	<1	-
5	8	<1	-
6	8	<1	-
7	8	<1	-
8	20	1	-
9	20	1	-



le barre individuate sono tonde lisce

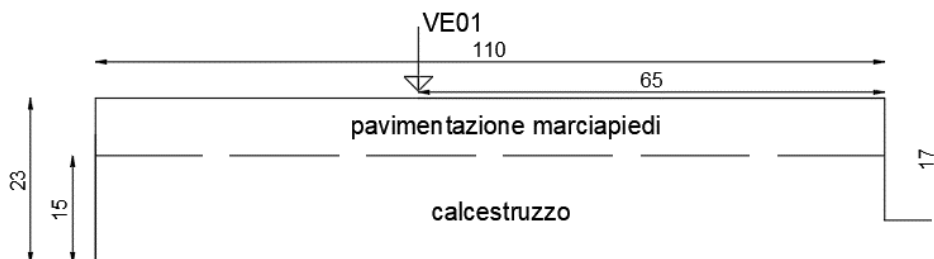




SSB1 - SSBALZO



VE01 – SBALZO LATO EST

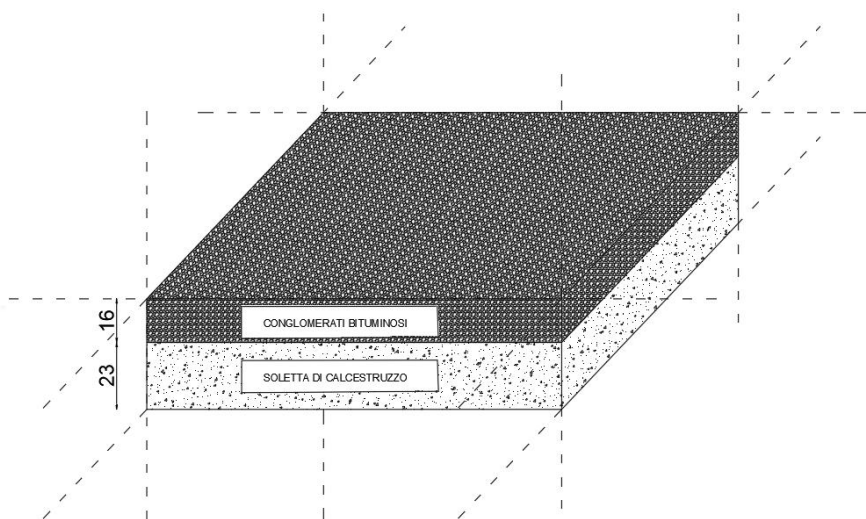
VE01 - SBALZO LATO EST



Data rilievo	21/01/2022	Nome punto foro	VE01 1	POSIZIONE SBALZO
cm	DESCRIZIONE		INFORMAZIONI GENERALI	
0	calcestruzzo		Profondità perforazione (cm)	23
1			immagine a profondità di circa 16 cm	
2				
...				
14				
15	pavimentazione marciapiedi		immagine a profondità di circa 21 cm	
16				
17				
18				
...				
22				
23				

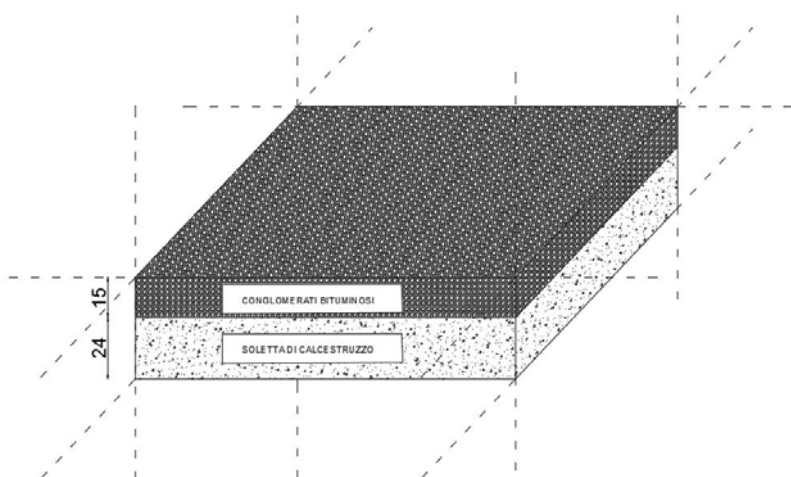
CSOL1

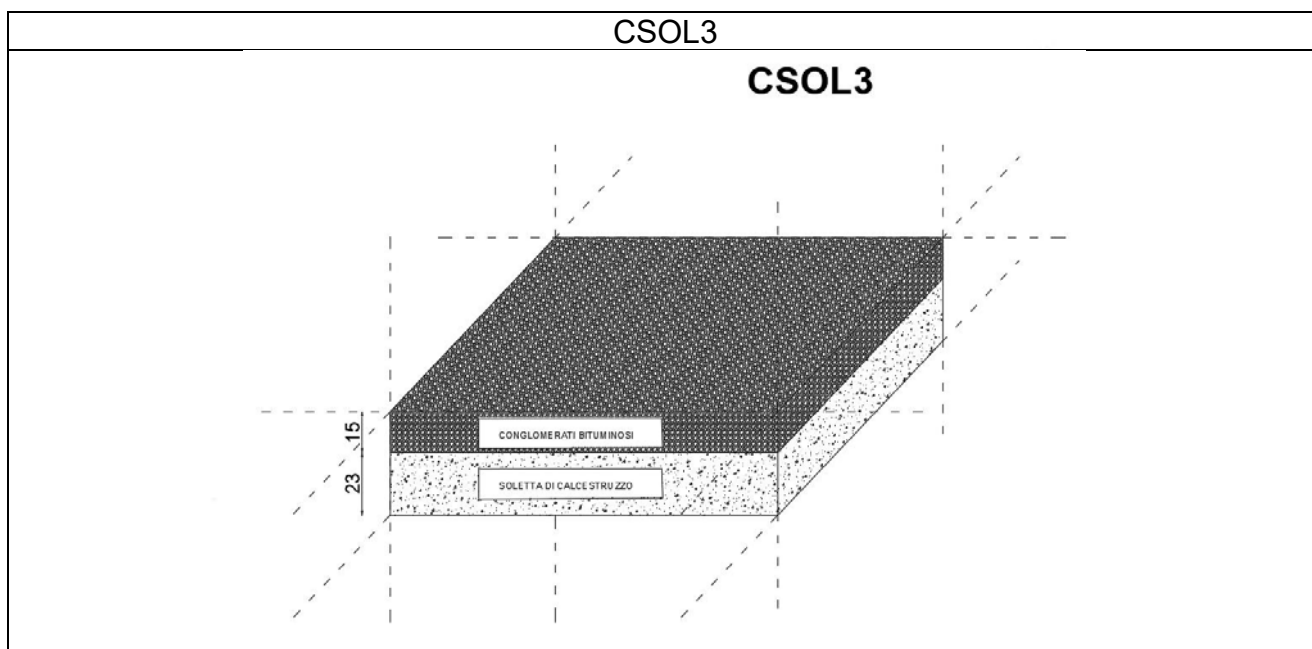
CSOL1



CSOL2

CSOL2









8. ALLEGATI

- Allegato A – documentazione fotografica

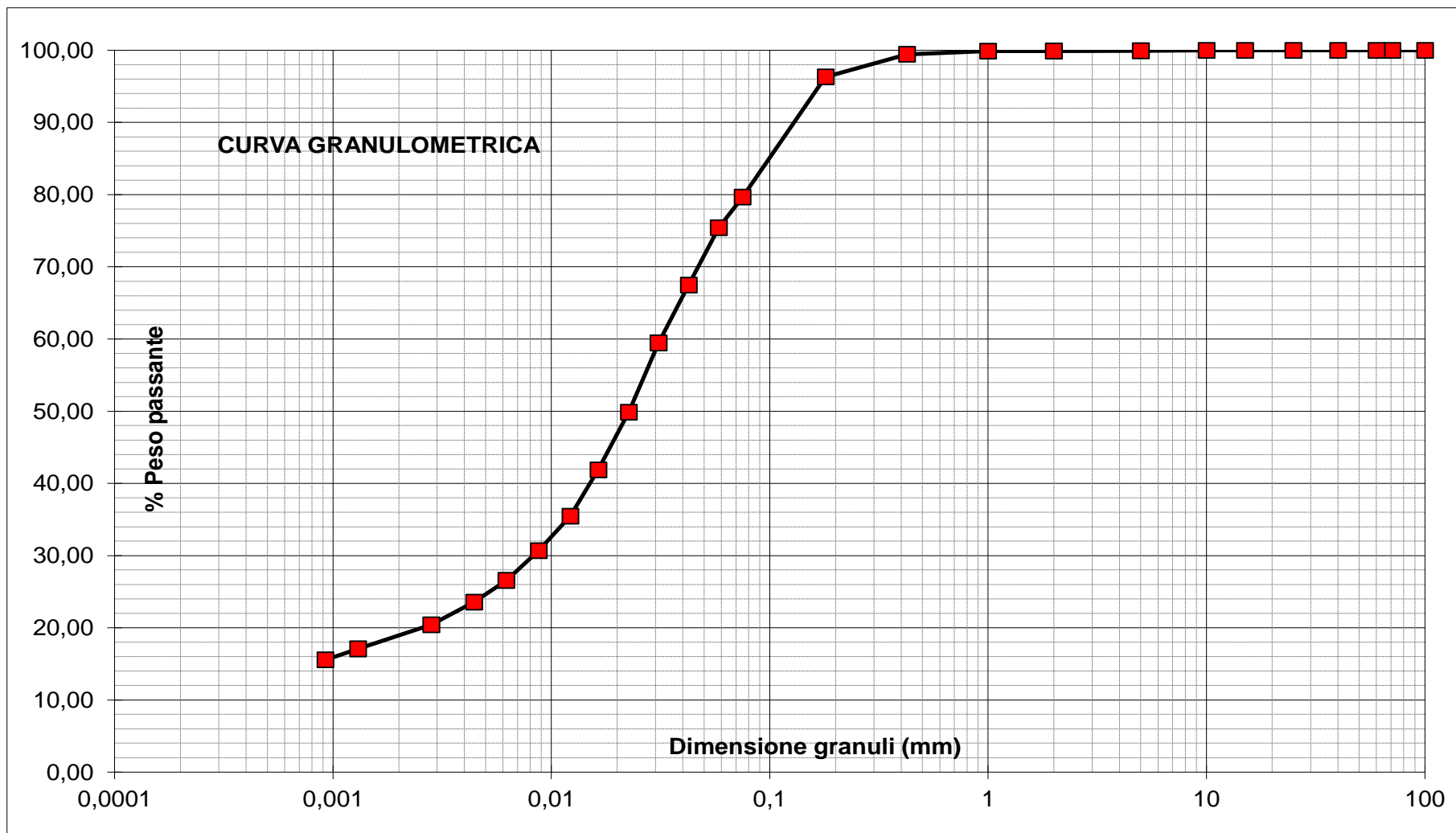
I Tecnici addetti alle prove in sito	Tecnici addetti alle prove in laboratorio	Documento redatto da	Il Direttore del Laboratorio e Prove Esterne
Ing. Giuseppe Putrino <i>Putrino</i>	Dott. Francesco Lamura <i>Francesco Lamura</i>		
Geom. Samuele Savia <i>Savie</i>	Sig. Mattia Regazzi <i>Mattia Regazzi</i>		
Ing. Antonello Foresta <i>Antifora</i>	Ing. Giulia Gazzotti <i>Giulia Gazzotti</i>	Ing. Camilla Pica <i>Camilla Pica</i>	Ing. Pietro Cardone <i>Pietro Cardone</i>
Geom. Massimiliano Cagnacci <i>Cagnacci</i>	Ing. Camilla Pica <i>Camilla Pica</i>	Ing. Amer Shaaban <i>AMER SHAABAN</i>	
Geom. Giovanni Cirianni <i>Cirianni</i>			
Ing. Amer Shaaban <i>AMER SHAABAN</i>			

INDAGINI DI LABORATORIO GEOLOGIA

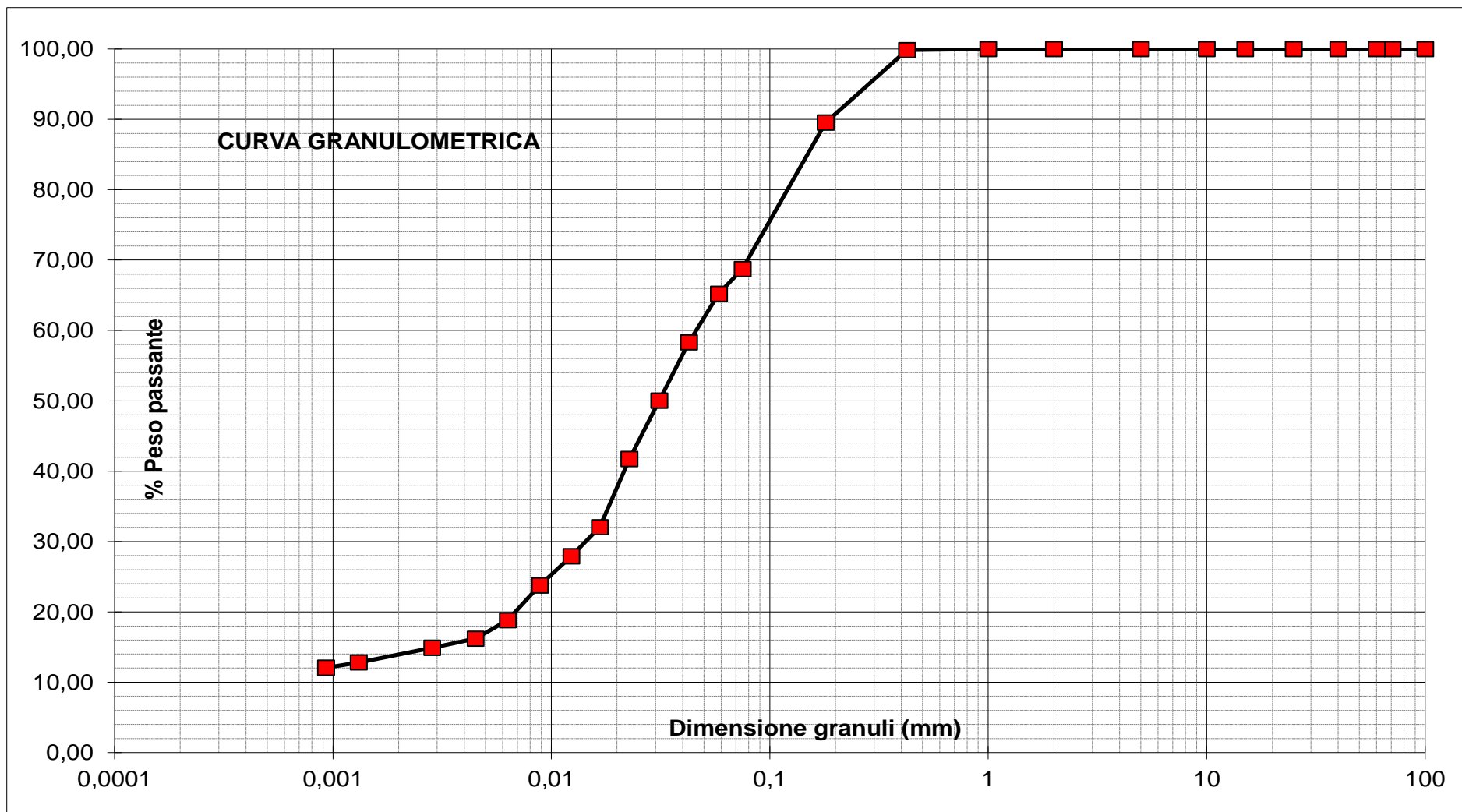
LEGENDA:		campioni indisturbati	Metodo di perforazione: carotaggio continuo.	Ø Carotiere 101 mm
		campioni rimaneggiati		Ø Rivestimento 127 mm
				Cassette catalogatrici n. 3
		carotiere singolo		
		carotiere doppio		

Profondità (m)	Progressiva (m)	Campioni	Tipo carotiere	Committente : Provincia di Ravenna Località : Fusignano/Bagnacavallo Cantiere : Manutenzione straordinaria del Ponte Masiera sul fiume Senio, al km 5+274 della S.P. 9 Masiera Data : 28_29/07/2021	Sondaggio S1
----------------	-----------------	----------	----------------	--	-----------------

Colonna stratigrafica	Descrizione dei terreni	P.P.	T.V.	Falda	S.P.T.
0					
1					
2	Sabbia ghiaiosa con elementi ben classificati, di color beige				
3					
4	Ghiaia fine sabbiosa sciolta, da beige a marroncino				
5					
6					
7	Sabbia limosa, da bruno a beige				
8	Sabbia sciolta beige				
9					
10	Sabbia limosa beige, a tratti compatta				
11					
12	Limo sabbioso bruno-rossastro			11.4	
13					
14	Limo con sabbia, da grigio a beige, con intercalazioni ghiaiose				
15					
16	FINE SONDAGGIO				
17					
18					
19					
20					
21					
22					
23					
24					
25					
26					
27					
28					
29					
30					
31					
32					
33					
34					
35					



Ghiaia	Sabbia	Limo	Argilla
%	%	%	%
0,1	23,0	58,2	18,7



Ghiaia	Sabbia	Limo	Argilla
%	%	%	%
0,0	33,6	52,6	13,8



Indagini geofisiche eseguite nel Comune di Fusignano

Dott. Geol.
CRINI
Dott. Geol.
CRINI Massimiliano

**Indagini geotecniche, geofisiche, ambientali - controllo qualità - qualifica di prodotti e processi - sistemi gestionali -
assistenza tecnica alla progettazione ed in corso d'opera - relazioni tecniche - direzione lavori**

Via Barbacci, 43 - 40139 Bologna, P.I. 03014171205, Mobile +393388595779, SDI - KRRH6B9

SOMMARIO

1.	IDENTIFICAZIONE DOCUMENTO	3
2.	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	4
3.	PREMESSE	5
4.	PROVE GEOFISICHE	7
4.1.	PROFILO SISMICO IN ARRAY CON TECNICA MASW	7
4.2.	PROFILO SISMICO IN ARRAY CON TECNICA REMI	7
4.1.	MISURA A STAZIONE SINGOLA HVSR	7
4.2.	RISULTATI E ANALISI DEI DATI OTTENUTI	8
5.	CONCLUSIONI	10



1. identificazione documento

Identificazione.

Il presente lavoro viene identificato per mezzo del seguente codice R1_21_051

Composizione del documento.

Il presente documento è formato da n° 10 pagine



2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- UNI EN ISO 22476-12:2009
- UNI EN ISO 22476-2:2012
- UNI EN ISO 22476-1:2012
- RACCOMANDAZIONI AGI 1994
- Eurocodice 7.2 (2002)
- Progettazione geotecnica – Parte II :Progettazione assistita da prove di laboratorio (2002).UNI
- Eurocodice 7.3 (2002)
- Progettazione geotecnica – Parte II :Progettazione assistita con prove in sito (2002).UNI
- Eurocodice 8 (1998)
- Indicazioni progettuali per la resistenza fisica delle strutture
- Parte 5:Fondazioni,strutture di contenimento ed aspetti geotecnici (stesura finale 2003)
- Eurocodice 7.1 (1997)
- Progettazione geotecnica – Parte I :Regole Generali .-UNI



3. Premesse

Su incarico della committenza, in data 04/07/2021, sono state eseguite le seguenti indagini geofisiche e geotecniche:

- N° 1 Profilo sismico masw/remi
- N° 1 Lettura a stazione singola HVSR

Nelle figura seguente è indicata l'area in esame.



Figura 1 – Ubicazione dei luoghi



Nella figura seguente è riportata l'ubicazione schematica delle indagini eseguite

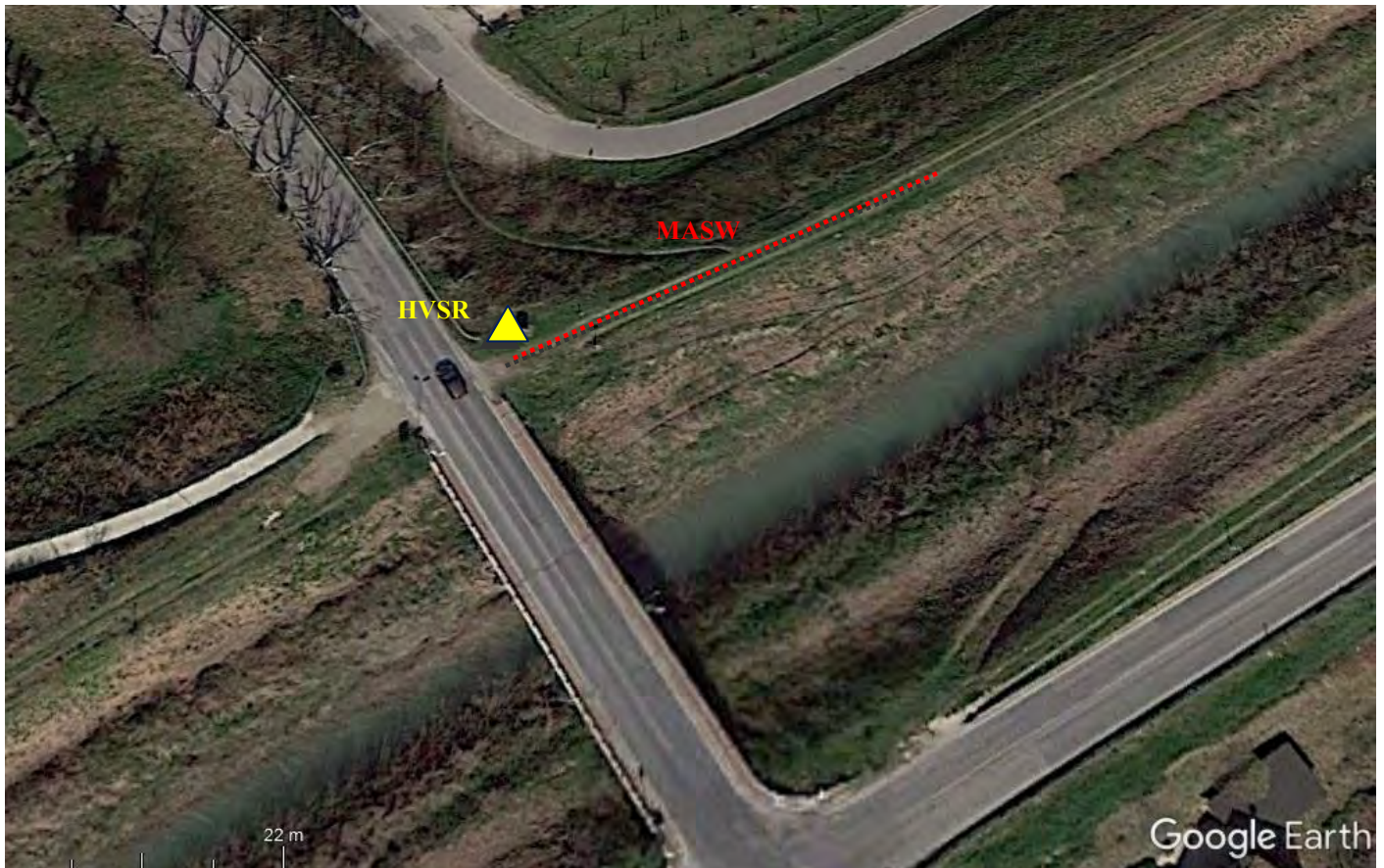


Figura 2 – Ubicazione schematica delle indagini

4. Prove Geofisiche

4.1. *PROFILO SISMICO IN ARRAY CON TECNICA MASW*

Il metodo MASW è classificabile come tecnica di indagine sismica simile alla sismica a rifrazione e alla sismica a riflessione, perché il principio alla base della prova sperimentale in sito è analogo e consiste nel misurare le onde superficiali sul suolo. La Multichannel Analysis of Surface Waves (MASW) è un metodo d'indagine mediante il quale è possibile costruire un profilo di velocità delle onde di taglio (V_s) in relazione alla profondità, sulla base della misura delle onde superficiali. Il contributo predominante di quest'ultime è dato dalle onde di Rayleigh, che viaggiano ad una velocità correlata alla rigidità del terreno interessato dalla propagazione. Nei terreni stratificati, le onde di Rayleigh sono dispersive e si propagano con diverse velocità di fase e di gruppo. La natura dispersiva è correlabile al fatto che onde ad alta frequenza (lunghezza d'onda corta) si propagano negli strati superficiali, mentre onde a bassa frequenza si propagano in strati profondi. La ricerca del profilo di velocità delle onde di taglio V_s con il metodo MASW consiste nel modificare il profilo di velocità V_s finché non sia raggiunto un buon accordo tra la curva di dispersione (o velocità di fase) apparente, misurata in sito, e la curva di dispersione (o velocità di fase) apparente simulata numericamente.

4.2. *PROFILO SISMICO IN ARRAY CON TECNICA REMI*

La tecnica di analisi del sottosuolo mediante l'uso dei microtremori prende origine dagli studi e dalle sperimentazioni condotte da J. Louie presso la Nevada University e si basa sull'analisi delle onde di superficie ed in particolare delle onde di Rayleigh. Si basa su due concetti fondamentali; il primo è che una comune attrezzatura adatta ad effettuare sismica a rifrazione può campionare onde di superficie con frequenza anche inferiore ai 2 Hz e il secondo che una trasformata bidimensionale slowness-frequency (p-f) consente di individuare e separare le onde di Rayleigh da altri tipi di onde e consentire quindi la determinazione della loro velocità di fase. Di queste onde (Rayleigh), che hanno carattere dispersivo, viene analizzata la velocità di propagazione lungo stendimenti sismici e valutata la relativa lunghezza d'onda e slowness (o inverso di velocità). Il loro carattere dispersivo determina il fatto che le onde con maggiore frequenza attraversano i livelli di terreno più superficiali mentre quelle con frequenza inferiore attraversano i livelli inferiori e ciò consente di determinare un profilo di velocità 1-D che mostra l'andamento delle velocità V_s con la profondità.

4.1. *MISURA A STAZIONE SINGOLA HVSR*

Il metodo HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) proposto da Nogoshi e Igarashi (1970) e successivamente modificato da Nakamura (1989), si basa sull'analisi del rapporto spettrale tra le componenti orizzontale (H) e verticale (V) del rumore sismico registrato in un sito. Il rumore sismico è presente ovunque ed è generato sia da fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) che dall'attività antropica. Il rumore sismico è indicato spesso come microtremore poiché è caratterizzato da oscillazioni molto deboli (dell'ordine dei $\mu\text{m/s}$). I microtremori sono in parte costituiti da onde di volume, P o S, ma soprattutto da onde superficiali, la cui velocità è comunque prossima a quella delle onde S (Mulargia et al., 2007). La tecnica di misura del rumore sismico richiede tempi di registrazione pari a 15-20 minuti e necessita di sensori tridirezionali da sismologia con messa in bolla, digitalizzatore 24 bit con elevata dinamica, elevato guadagno ed elevata frequenza di campionamento nativo, con minimizzazione del rumore elettro/meccanico. L'acquisizione è stata eseguita utilizzando un tromografo digitale, "TROMINO" (Micromed S.p.A.) dotato di 3 canali velocimetrici (N-S, E-W, Up-Down) ad alto guadagno per l'acquisizione del microtremore sismico ambientale (fino a $\sim 1.5 \text{ mm/s}$); il sistema



opera nell'intervallo di frequenze 0.1–1024 Hz. E' stata acquisita una misura di rumore sismico per un tempo di registrazione in genere compreso tra 10 e 20 minuti. La misura è stata poi ripetuta per controllo. L'elaborazione dei dati di rumore sismico acquisiti è avvenuta mediante software Grilla (Micromed S.p.A.).

4.2. RISULTATI E ANALISI DEI DATI OTTENUTI

Elaborazione congiunta profilo sismico masw1 ed HVSR 1

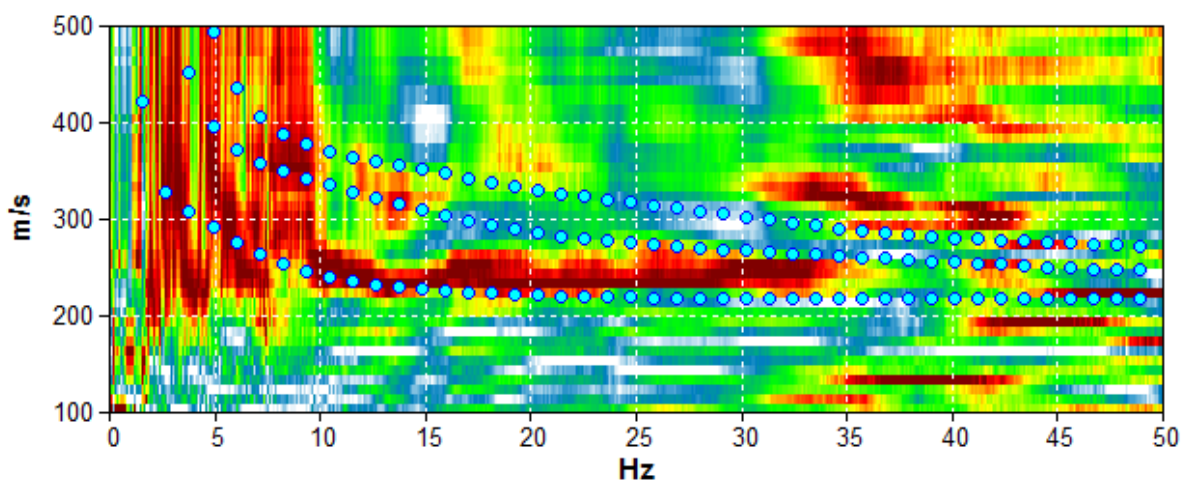


Figura 3 –Spettro dell'indagine MASW/REMI

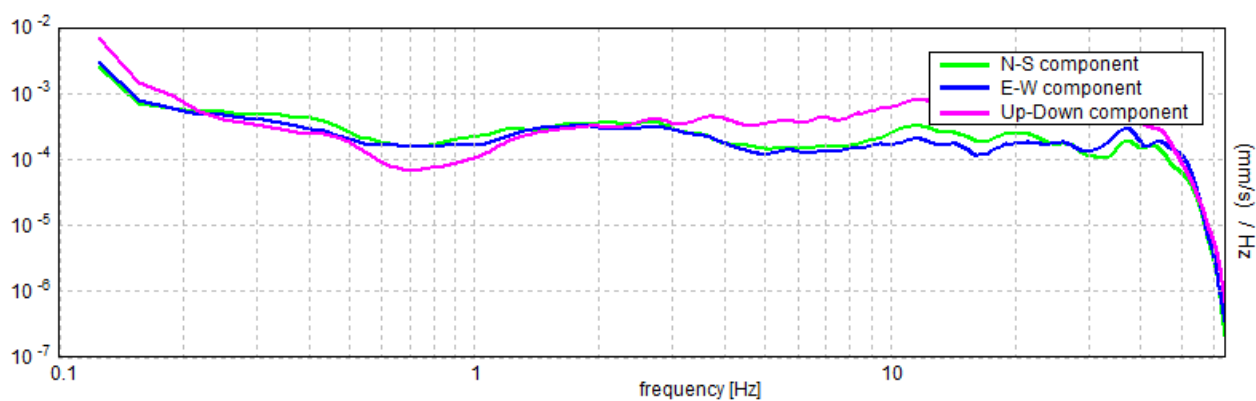
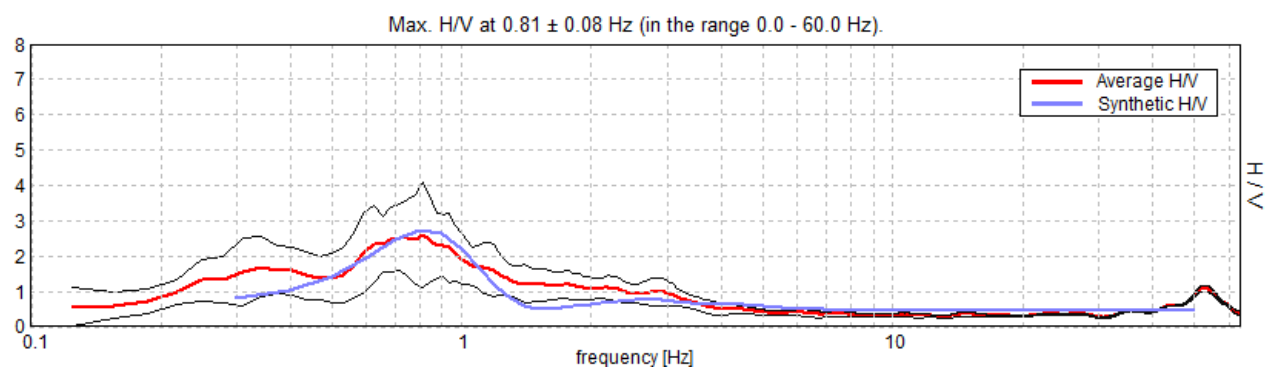


Figura 4 –traccia del profilo HVSR a singole componenti



Sulla base dei dati ricavati dalle sopracitate indagini di campagna è stato redatto il seguente modello del profilo verticale di velocità delle onde di taglio S:



Depth at the bottom layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]
8.00	8.00	230
18.0	10.0	270
30.0	12.0	320
70.0	40.0	350
110.	40.0	380
inf.	inf.	600

Figura 5 –Tabella e grafico delle variazione delle onde di taglio



5. Conclusioni

L'analisi congiunta delle tecniche di acquisizione utilizzate, ha permesso sia di ricostruire il profilo verticale di velocità delle onde S nel sito in esame, sia di individuare la presenza di contrasti di impedenza-rigidezza nel sottosuolo medesimo.

Il profilo sismico (MASW, REMI) e la relativa elaborazione ha permesso di ricostruire il modello delle velocità delle onde di taglio fino ad una profondità di circa 15-16 m dal piano campagna. L'estensione in profondità è stata eseguita utilizzando l'analisi congiunta con le acquisizioni HVSR.

La V_{s30} [m/s] dalla quota del piano campagna su cui è stato eseguito il profilo è risultata pari a 274 m/s. L'incertezza sul valore calcolato di V_{s30} è dell'ordine del 20% (cfr. Mulargia e Castellaro, 2009, Seism. Res. Lett., 80, 985-989).

