



PROVINCIA DI CREMONA
SETTORE INFRASTRUTTURE STRADALI

S.P. ex S.S. n. 415 "PAULLESE"
AMMODERNAMENTO TRATTO "CREMA-SPINO D'ADDA"

LOTTO N. 3 - "NUOVO PONTE SUL FIUME ADDA"
LAVORI DI RADDOPPIO DEL PONTE SUL FIUME ADDA
E DEI RELATIVI RACCORDI IN PROVINCIA DI CREMONA E LODI

emissione	descrizione	disegnato	data emissione
1	revisione a seguito verifica UTP		FEBBRAIO 2016
0	prima emissione		DICEMBRE 2015

livello:	PROGETTO DEFINITIVO	codice CUP:	G41B03000270002
elaborato:	O.A. N.2 - PONTE "ASBURGICO" CONSOLIDAMENTO E RINFORZO RELAZIONE GENERALE	codice:	PS.01.01
		allegato n.:	12.1
IL PROGETTISTA SPECIALISTICO	IL PROGETTISTA GENERALE	IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO	data
(Ing. Fabio Scaroni)	(Ing. Davide Pisana)	(Ing. Roberto Vanzini)	27 MAG. 2016

Percorso file: U:\lavori\09\Progetti\SS415\PONTE SPINO\Definitive_CR\00_COPERTINE.dwg

INDICE

1. INTRODUZIONE	1
2. SINTESI DELLO STATO DI FATTO	2
3. PROPOSTA DI INTERVENTO.....	6
4. ALLEGATI.....	6

1. INTRODUZIONE

La presente relazione ha l'obiettivo di individuare gli INTERVENTI DI CONSOLIDAMENTO E MANUTENZIONE PER IL MANTENIMENTO E LA CONSERVAZIONE DEL PONTE STORICO DI BISNATE, vincolato ai sensi del D.lgs. n. 42 del 2004, recependo la prescrizione del CIPE che richiedeva di individuare gli adeguamenti strutturali più consoni per la conservazione storico – architettonica del ponte storico di Bisnate.

Il quadro conoscitivo ed uno studio di fattibilità sono in possesso della provincia di Cremona in conformità a quanto previsto dal primo atto aggiuntivo prot. S1.2014.0055869 del 22/10/2014 al protocollo di intesa sottoscritto il 15/11/2011.

In appendice al presente documento si riportano la sintesi delle indagini conoscitive e le simulazioni numeriche preliminari contenute nello studio di fattibilità commissionato dalla Provincia di Milano ed attualmente nelle disponibilità della Provincia di Cremona che indirizzeranno il progetto di consolidamento e rinforzo.

2. SINTESI DELLO STATO DI FATTO

Il ponte è stato oggetto di diversi interventi nel corso degli anni, volti al consolidamento del piano di fondazione delle pile mediante micropali e palancole con getto interno in calcestruzzo ed al ripristino della sezione in muratura fessuratasi in seguito al cedimento di una pila. Successivamente due pile hanno recentemente subito interventi di consolidamento delle fondazioni a causa dei dissesti causati dalla corrente.







Inoltre un ulteriore provvedimento adottato in passato è stato quello di realizzare poco a valle del ponte una soglia che mantenesse e stabilizzasse a monte la quota iniziale dell’alveo.



Sulla base del quadro conoscitivo e dall’analisi delle simulazioni numeriche riportate nell’allegato **SI018P-SF-PG-RG-001** che si riporta in allegato emergono le seguenti criticità:

- 1 - Lo stato tensionale delle campate coinvolte nel cedimento della pila raggiunge valori prossimi al valore di resistenza caratteristico ($f_k=6,38\text{MPa}$) pertanto non consentono l’utilizzo della struttura senza interventi di consolidamento dell’arco.
- 2- Le pressioni sul terreno in configurazione di esercizio raggiungono valori non sopportabili dal terreno presente in loco senza un adeguato consolidamento del piano di posa.
- 3 – I valori dello scalzamento per le pile in alveo hanno entità tale da compromettere il buon comportamento del sistema fondale senza una adeguata opera di presidio.

3. PROPOSTA DI INTERVENTO

Gli interventi per la messa a norma del ponte storico riguardano la risoluzione delle criticità riportate nel precedente paragrafo e nello specifico:

- ✓ rinforzo strutturale dell'arco in muratura mediante controarco in c.a. In seguito a tale intervento l'arco in muratura resta gravato solamente dal peso proprio e dal peso del controarco in fase di getto, risultando soggetto a tensioni inferiori rispetto allo stato attuale.
- ✓ rinforzo dei timpani laterali dell'arco mediante catene ancorate in cordoli realizzati internamente all'impalcato e collegati ai timpani laterali per prevenire ribaltamenti fuori dal piano.
- ✓ consolidamento del piano di posa delle fondazioni mediante trattamento colonnare in jet grouting;
- ✓ risoluzione degli scalzamenti al piede delle fondazioni delle pile in alveo (vedi descrizione interventi su relazione idraulica)

Tutti gli interventi di adeguamento e rinforzo avvengono mediante operazioni che non alterano in alcun modo l'aspetto del ponte, pertanto alla vista il ponte rinforzato si presenterà esattamente come nella situazione attuale.

Per una completa definizione degli interventi si vedano le tavole relative all'adeguamento e rinforzo allegate al presente progetto.

4. ALLEGATI

APPENDICE A) allegato **SI018P-SF-PG-RG-001 Relazione generale** inclusa nello studio di fattibilità commissionato dalla Provincia di Milano

APPENDICE B) allegato **SI018P-SF-SF-RG-001 Relazione indagini** inclusa nello studio di fattibilità commissionato dalla Provincia di Milano

Committente:



RIQUALIFICA E POTENZIAMENTO DELLA S.S. n. 415 "PAULLESE"

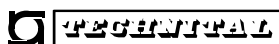
INTERVENTI DI CONSOLIDAMENTO E MANUTENZIONE PER IL MANTENIMENTO E LA CONSERVAZIONE DEL PONTE STORICO DI BISNATE

STUDIO DI FATTIBILITA'

RELAZIONE GENERALE

Progettista:

A.T.I. TECHNITAL S.p.A. (mandataria) - T.E.C.N.I.C. S.p.A. - TERRA COMPANY S.r.l.



INDICE

1. INTRODUZIONE	1
2. RACCOLTA ED ANALISI DEI DATI DI BASE	4
2.1. Documentazione di progetto	4
2.2. Sopralluogo ed esame visivo.....	5
2.3. Rilievo topografico e batimetria.....	10
2.4. Campagna di indagini.....	11
3. INTERVENTI STRUTTURALI	16
3.1. Modellazione numerica	16
3.2. Individuazione dei possibili interventi	19
4. INTERVENTI DI SISTEMAZIONE IDRAULICA	20
4.1. Configurazione al contorno	20
4.2. Interventi su pile e fondazioni.....	22
4.2.1. <i>Sottofondazione delle pile del ponte storico</i>	22
4.2.2. <i>Intervento di protezione della sponda in destra idraulica</i>	23
4.2.3. <i>Aggiunta di massi a protezione del fondo</i>	23
5. STIMA SOMMARIA DELLA SPESA.....	24

1. INTRODUZIONE

Il presente studio di fattibilità ha l'obiettivo di individuare gli INTERVENTI DI CONSOLIDAMENTO E MANUTENZIONE PER IL MANTENIMENTO E LA CONSERVAZIONE DEL PONTE STORICO DI BISNATE, vincolato ai sensi del D.lgs. n. 42 del 2004, recependo la prescrizione del CIPE che richiedeva di individuare gli adeguamenti strutturali più consoni per la conservazione storico – architettonica del ponte storico di Bisnate.

La costruzione del ponte di Bisnate, situato in località Bisnate nei comuni di Spino d'Adda e Zelo Buon Persico, risale ai primi del 1900 ed attualmente è fuori esercizio a causa dei gravi rischi di crollo connessi ai fenomeni di erosione al piede delle pile prodotti dalla corrente del fiume che, in corrispondenza del ponte, passa con inclinazione di circa 23° rispetto all'asse longitudinale delle pile, le quali, dunque, costituiscono un ingombro consistente al regolare deflusso della corrente, con conseguenti problemi idraulici, come verrà descritto nei paragrafi successivi.

Nella FIG. 1.1 viene rappresentata l'area in esame con l'andamento planimetrico del fiume Adda.

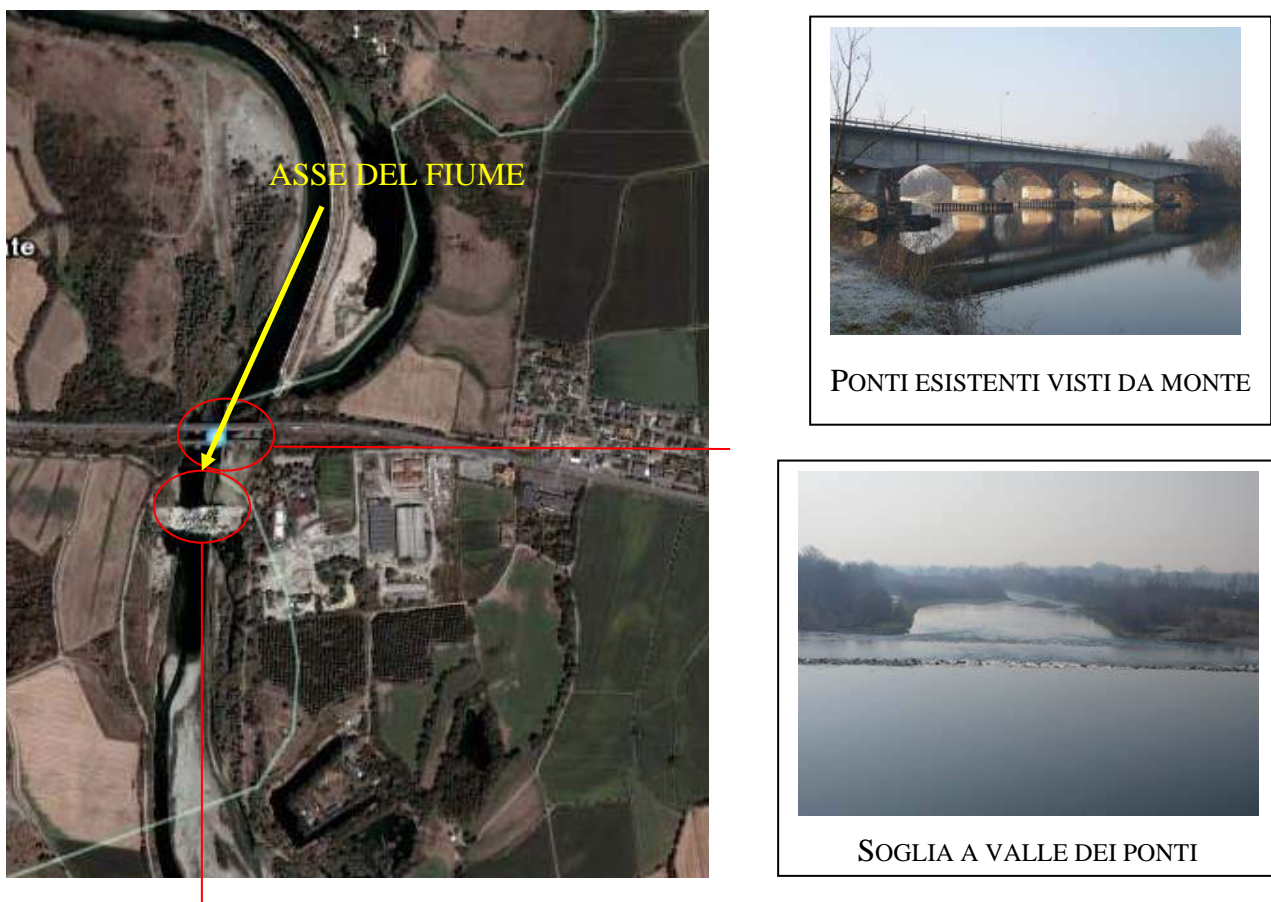


Fig. 1.1 – Area oggetto di studio

L'opera presenta una struttura ad arco in muratura a cinque campate con tutte e quattro le pile in alveo. Le luci rilevate presentano lunghezza pari rispettivamente a 27,84-27,63-27,64-27,64-27,79m. Le pile, realizzate in massi ciclopici, pietra e muratura di mattoni, presentano una sezione allungata ed arrotondata alle estremità mentre le spalle hanno una sezione tipica, con blocco centrale e muri di risvolto. La fondazione di pile e spalle è di tipo diretto.

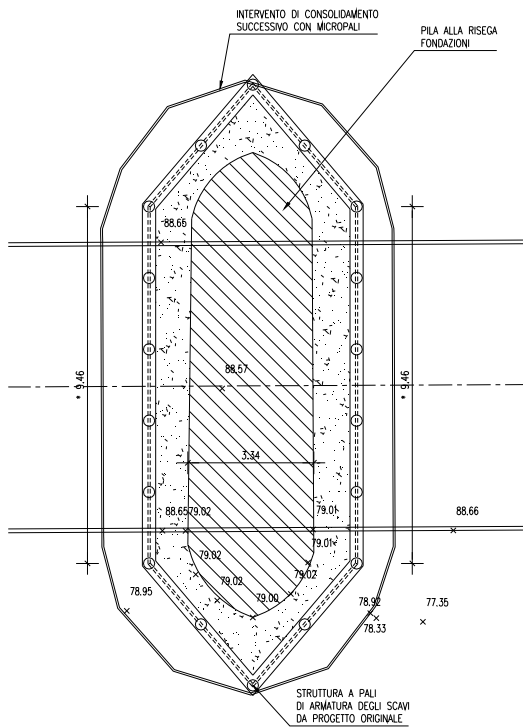


Fig. 1.2 – Sezione pila allo spiccatto fondazione

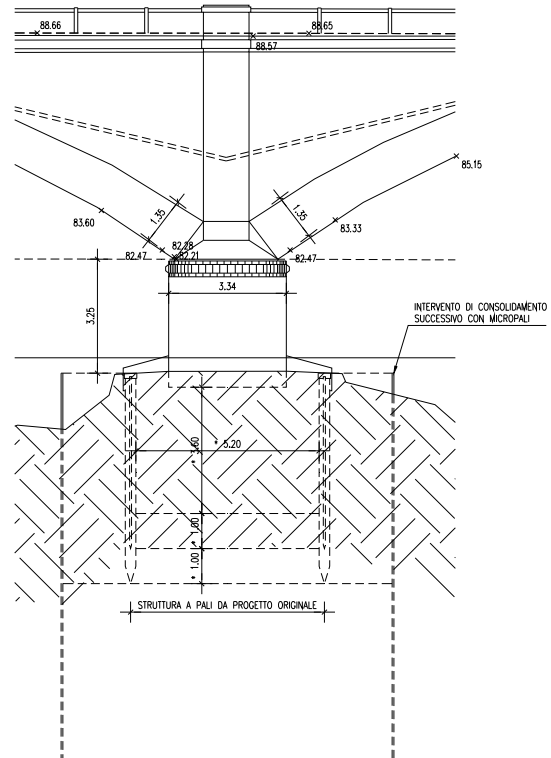


Fig. 1.3 – Prospetto pila

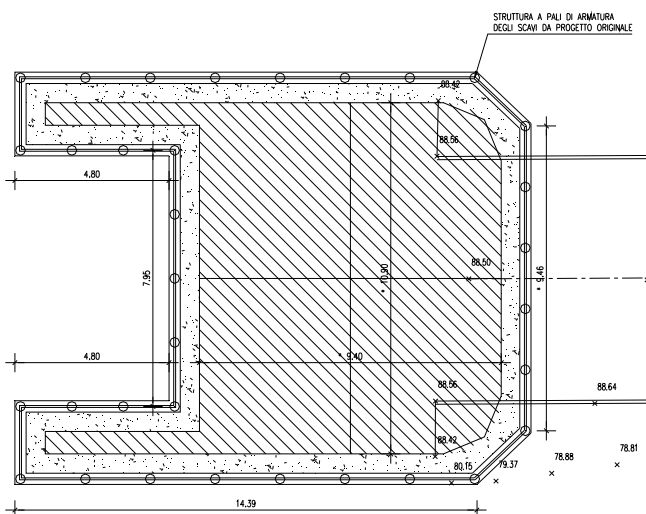


Fig. 1.4 – Sezione spalla allo spiccatto fondazione

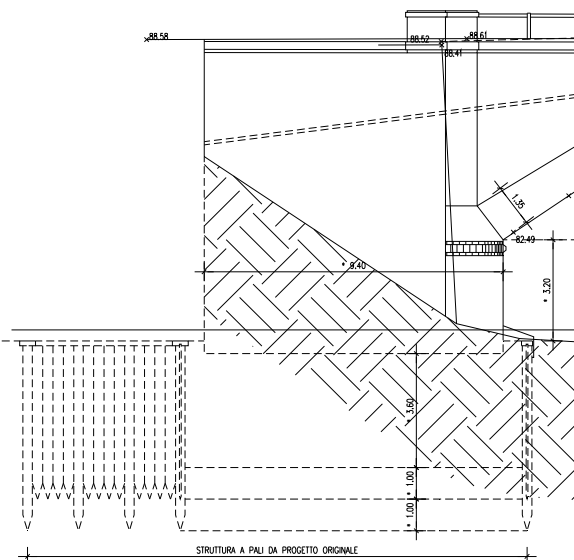


Fig. 1.5 – Prospetto spalla.

Il ponte è stato oggetto di diversi interventi nel corso degli anni, volti al consolidamento del piano di fondazione delle pile mediante micropali e palancole con getto interno in calcestruzzo ed al ripristino della sezione in muratura fessuratasi in seguito al cedimento di una pila. In particolare, come verrà illustrato successivamente, due pile hanno recentemente subito interventi di consolidamento delle fondazioni a causa dei dissesti causati dalla corrente.

Inoltre un ulteriore provvedimento adottato in passato è stato quello di realizzare poco a valle del ponte una soglia che mantenesse e stabilizzasse a monte la quota iniziale dell'alveo.

Tuttavia, come verrà descritto di seguito, tale intervento non è stato sufficiente a contenere lo scavo attorno alle pile dei ponti, entro limiti accettabili.

Lo studio condotto sul ponte di Bisnate si è articolato nelle seguenti fasi:

- ✓ acquisizione di informazioni mediante analisi degli elaborati progettuali, sopralluoghi, rilievi fotografici, topografici e prove sperimentali;
- ✓ individuazione degli interventi strutturali di rinforzo sull'arco in muratura e sui muri laterali dell'arco mediante, con modellazione ad elementi finiti della struttura e successiva elaborazione dei risultati;
- ✓ interventi di sistemazione idraulica delle sponde e delle fondazioni;
- ✓ stima sommaria della spesa.

Nei paragrafi successivi si illustreranno le varie fasi di studio, rimandando agli elaborati specifici per maggiori dettagli.

2. RACCOLTA ED ANALISI DEI DATI DI BASE

La raccolta dei dati di base si è articolata in diverse fasi, che hanno riguardato il reperimento della documentazione di progetto originale non datata ma ascrivibile all'anno 1900 circa, il sopralluogo con esame visivo dell'opera, il rilievo fotografico e topografico.

2.1. Documentazione di progetto

La documentazione di progetto originale, reperita presso gli uffici della Provincia di Cremona, consiste negli elaborati grafici e nella relazione di calcolo.

Il progetto prevede, oltre all'arco in muratura con spessore in chiave di 1,05 m ed all'imposta di 1,35m, un rinfiango in calcestruzzo con spessore di 1,80m all'imposta e nullo in chiave. I carichi di progetto consistono nei pesi propri (2000 kg/mc per la muratura e 2200 kg/cm² per il calcestruzzo) e nel sovraccarico accidentale di 800 kg/m². I basamenti delle pile hanno forma esagonale ed è prevista una cintura di pali della lunghezza di 6 m. Tale cintura di pali, presumibilmente un'armatura per la realizzazione degli scavi e per il successivo getto di conglomerato di riempimento, è prevista anche in corrispondenza delle spalle, il cui basamento segue il perimetro della struttura in elevazione con una sporgenza di 95 cm. Dalla planimetria si nota che le pile inizialmente non si trovavano in alveo ma nell'area golenale del fiume Adda. Il ponte venne pertanto realizzato a fianco dell'alveo originario dell'Adda e solo successivamente, attraverso la realizzazione di un canale d'invito, il naturale corso del fiume è stato fatto deviare sotto il ponte, mantenendo fuori alveo solo le spalle del ponte.

Il riferimento presente nella relazione di calcolo ad un testo del prof. Celeste Clericetti colloca l'opera all'inizio del 1900, data confermata da ulteriori ricerche. Sempre dalla relazione di calcolo si comprende che la muratura prevista è composta da "mattoni forti di prima qualità" e da malta di calce idraulica, e la compressione ammissibile per tale muratura è fissata in 100 kg/cm².

2.2. Sopralluogo ed esame visivo

Sono stati condotti diversi sopralluoghi fra i mesi di febbraio e aprile 2008. In tali sopralluoghi e dalla documentazione fotografica degli stessi, è stato possibile rilevare l'effettivo stato della muratura e dell'opera nel suo complesso.

Si è quindi osservato l'intervento di ripristino mediante iniezioni della zona fessurata in seguito al cedimento della pila 3, gli interventi di consolidamento della fondazione delle pile mediante micropali e palancole con getto interno di calcestruzzo (quest'ultimo solo per le pile 3 e 4), lo stato dei doccioni di scarico e lo stato della muratura.



Fig. 2.2.1 – Vista d'insieme del ponte.

Come si può notare in figura 2.2.2, sulle campate adiacenti alla pila 3 in passato è stato eseguito un intervento atto a ripristinare l'integrità della muratura fessurata in conseguenza ad un cedimento subito dalla pila 3. L'entità del cedimento è stato rilevato in circa 9 cm, come visibile nella sezione relativa al rilievo topografico riportata in un elaborato specifico, e l'intervento è stato esteso a tutta la larghezza dell'arco.



Fig. 2.2.2 – Intervento di ripristino della zona fessurata in seguito al cedimento della pila 3.

Lo stato dei doccioni di scarico delle acque è vario: si trovano infatti doccioni che paiono in buono stato (Cfr. fig. 2.2.3.) e doccioni che risultano completamente intasati da vegetazione, come evidente dalla figura 2.2.4. L'intasamento dei doccioni provoca l'accumulo di acqua all'interno della struttura del ponte, rilevato dalle indagini, aumentando il carico sulla struttura.



Fig. 2.2.3 – Doccione di scarico delle acque.



Fig. 2.2.4 – Doccione di scarico delle acque intasato.

Complessivamente la muratura appare in buono stato, con zone di locale degrado probabilmente dovuta all'umidità determinata dall'acqua ristagnante all'interno della struttura (Cfr. Fig. 2.2.5 e 2.2.6).



Fig. 2.2.5 – Stato della muratura in corrispondenza dell'arco.

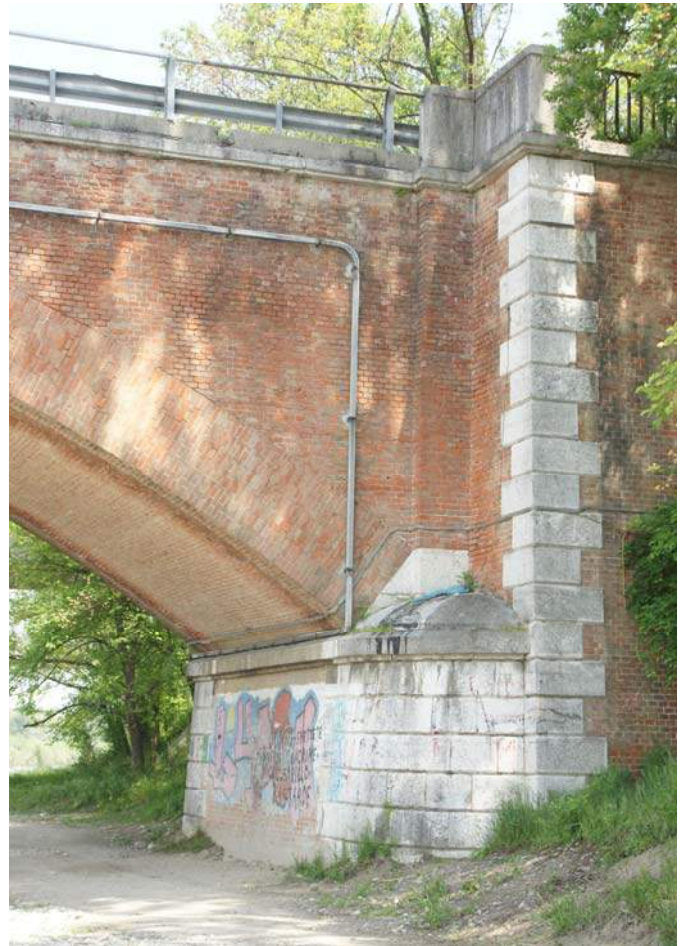


Fig. 2.2.6 – Stato della muratura in corrispondenza della spalla.

Per quel che riguarda le pile e le sue fondazioni, i rilevanti fenomeni di erosione cui sono state soggette negli anni, hanno seriamente compromesso la stabilità del ponte.

In particolare le pile 3 e 4, che si trovano in alveo per i livelli idrici ordinari, sono state recentemente cinturate con una corona di palancole e getto interno di calcestruzzo (Cfr. Fig. 2.2.7).

La Fig. 2.2.8 mostra la deformazione delle palancole che tendono ad “aprirsi” fornendo quindi una via d’ingresso all’acqua che può intaccare la struttura di fondazione della pila.



Fig. 2.2.7 – Consolidamento delle pile 3 e 4 mediante palancole.



Fig. 2.2.8 – Cintura di palancole e calcestruzzo alla base di una delle pile del ponte storico di Bisnate

Precedentemente, a seguito di fenomeni di erosione, tutte le pile erano state soggette ad altri interventi di consolidamento costituiti dalla posa in opera di massi ciclopici di calcestruzzo prefabbricati (cfr. Fig. 2.2.9.) e da una coronella in micropali con cordolo di coronamento in calcestruzzo (cfr. Fig. 2.2.10).



Fig. 2.2.9 – Massi ciclopici in calcestruzzo a difesa della base delle pile del ponte storico



Fig. 2.2.10 – Micropali della cintura a difesa della base delle pile del ponte storico.
Si noti l'erosione prodotta dalla corrente

2.3. Rilievo topografico e batimetria

Il rilievo topografico dell'opera è stato eseguito nel mese di marzo 2008. Esso ha permesso di evidenziare l'effettiva geometria dell'opera e le deformazioni significative subite da questa nel tempo. Le luci rilevate sono di 27,84-27,63-27,64-27,64-27,79m e le dimensioni dell'arco (1,35m all'imposta e 1,05m in chiave) rispettano quelle di progetto. I raggi dell'intradosso e dell'estradosso dell'arco in muratura per le cinque campate sono rispettivamente di 23,05/25,65-23,10/25,75-21,30/26,30-24,05/25,45-22,95/25,65. Il fusto delle pile presenta dimensioni in pianta di 3,34m in nella direzione longitudinale e 12,30m in direzione trasversale. L'altezza in elevazione delle pile, misurata dal terreno è pari rispettivamente a 3,35-3,25-3,97-4,00m.

In corrispondenza della pila 3 è stato rilevato un significativo cedimento, riassunto nella tabella seguente.

Cordolo nord [cm]	Asse strada [cm]	Cordolo sud [cm]
7,55	8,22	9,52

Tab. 1 – Cedimenti rilevati sulla pila 3.

Tale cedimento ha provocato uno stato tensionale nelle campate adiacenti alla pila 3 tale da determinare uno stato fessurativo che ha reso in passato necessario un intervento di ripristino della sezione mediante iniezioni.

Il rilievo batimetrico è stato eseguito in corrispondenza di 4 sezioni, di cui una in corrispondenza del ponte storico, una immediatamente a nord di questa e le altre due rispettivamente in corrispondenza del vicino ponte esistente ed a nord di questo.

La sezione in corrispondenza del ponte storico ha messo in evidenza la profonda buca provocata dall'azione della corrente in corrispondenza della pila 3. A tale fenomeno erosivo è principalmente imputabile il cedimento della pila e, come specificato in precedenza, è stata creata in passato una cintura di palancole al fine di limitarne le conseguenze. Sempre dalla sezione batimetrica in corrispondenza del ponte si vede come l'azione della corrente abbia continuato ad erodere l'alveo, rendendo chiaramente visibile il profilo del palancolato di protezione (Cfr. Fig. 2.3.1).

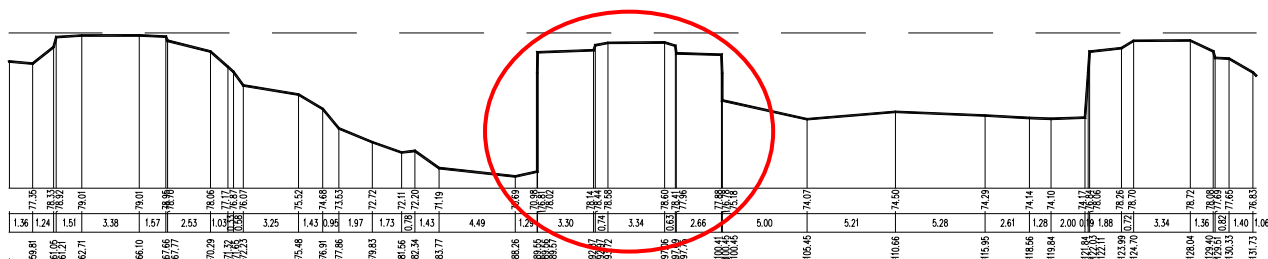


Fig. 2.3.1 – Particolare della sezione batimetrica in corrispondenza della pila 3.

2.4. Campagna di indagini

Sul ponte è stata condotta una campagna di indagini non distruttive eseguita dalla R Teknos (Bergamo) che ha previsto:

- ✓ indagine geotecnica a mezzo di un sondaggio per la verifica del piano di posa della fondazione di una pila del ponte;
- ✓ prove con martinetti piatti per la misura dello stato tensionale e per la determinazione delle caratteristiche di deformabilità;
- ✓ carotaggi meccanici e prospezioni con sonda televisiva per l'analisi delle caratteristiche strutturali delle murature del ponte;
- ✓ analisi delle caratteristiche meccaniche del laterizio;
- ✓ analisi delle caratteristiche chimiche, fisiche e mineralogiche delle malte.

Per i dettagli sull'esecuzione delle prove e sui risultati si rimanda alla relazione specifica.

Il sondaggio a carotaggio continuo effettuato verticalmente sulla pila 3 ha evidenziato l'assenza del rinfiacco in calcestruzzo presente nel progetto originale e la presenza solamente di uno strato di muratura in laterizio con scadenti caratteristiche di aggregazione posta a riempimento della pila. Riguardo all'arco ed alle pile è stata messa in luce la buona qualità della muratura, caratterizzata da omogeneità ed assenza di cavità.

Le prove con martinetti piatti hanno permesso di analizzare sia lo stato tensionale che le caratteristiche di deformabilità della muratura. La misura dello stato tensionale ha evidenziato una redistribuzione delle tensioni dovute al cedimento della pila 3, in corrispondenza della quale si registrano i valori più alti, fino a 2,25 e 2,70 MPa. La misura di deformabilità ha permesso di individuare i valori del modulo di deformabilità e dilatanza della muratura, i quali risultano rispettivamente superiori ai 7000 MPa e 0,2 in corrispondenza delle pile 2 e 4 e registrano una diminuzione in corrispondenza della pila 3 (la pila che ha subito il cedimento), dove si registrano valori medi del modulo di deformabilità e di dilatanza pari rispettivamente a 5800 MPa e 0,07.

Si riportano di seguito le tabelle riassuntive dello stato tensionale e delle caratteristiche di deformabilità registrati.

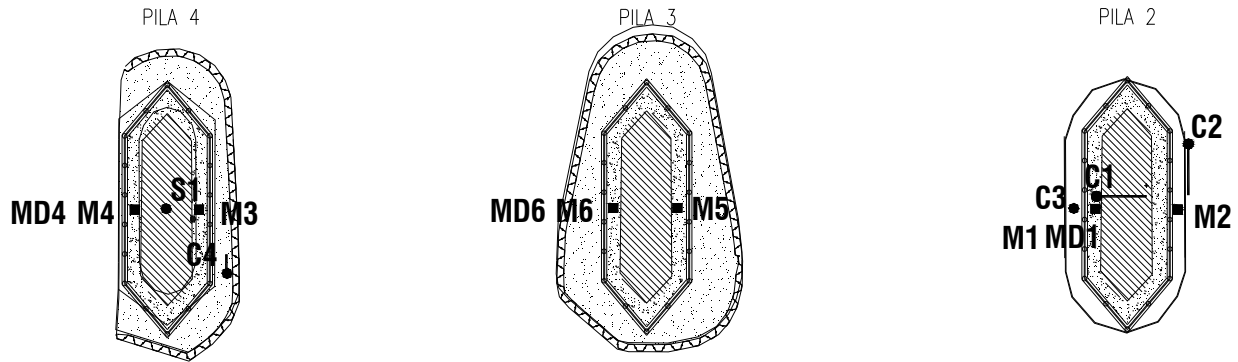


Fig. 2.4.1 – Ubicazione indagini geognostiche.

Tensioni nella muratura

			Prova
pila 2	sx	0,90 MPa	M2
	dx	2,70 MPa	M1
pila 3	sx	1,53 MPa	M5
	dx	1,54 MPa	M6
pila 4	sx	2,25 MPa	M3
	dx	0,45 MPa	M4

Tab. 2 – Tensioni nella muratura.

Modulo d'elasticità muratura

pila 2			Prova	MD1
tensione [MPa]		E [Mpa]		
da	a			
0,4	0,8	7692,3		
0,8	1,2	8333,3		
1,2	1,6	6666,7		
1,6	2,0	8333,3		
2,0	2,4	7692,3		
2,4	2,7	7500,0		
2,7	3,2	7500,0		
3,2	3,6	6250,0		
3,6	4,1	6617,6		
media		7398,4		

Tab. 3 – Modulo d'elasticità pila 2.

pila 3			<i>Prova</i>	MD6
tensione [MPa]		E [Mpa]		
da	a			
0,4	0,8	7142,9		
0,8	1,2	6666,7		
1,2	1,6	6666,7		
1,6	2,0	5633,8		
2,0	2,4	6153,8		
2,4	2,7	6818,2		
2,7	3,2	5357,1		
3,2	3,6	5113,6		
3,6	4,1	4166,7		
4,1	4,5	4891,3		

media 5861,1

Tab. 4 – Modulo d'elasticità pila 3.

pila 4			<i>Prova</i>	MD4
tensione [MPa]		E [Mpa]		
da	a	E		
0,4	0,8	9090,9		
0,8	1,2	6666,7		
1,2	1,6	7142,9		
1,6	2,0	9090,9		
2,0	2,4	5263,2		
2,4	2,7	5371,1		
2,7	3,6	6081,1		

media 8029,5

Tab. 5 – Modulo d'elasticità pila 4.

Modulo di dilatanza muratura

pila 2		pila 3		pila 4	
<i>Prova</i>	MD1	<i>Prova</i>	MD6	<i>Prova</i>	MD4
σ	ν	σ	ν	σ	ν
0,4	0,167	0,4	0,077	0,4	0,364
0,6	0,211	0,8	0,074	0,8	0,318
0,8	0,200	1,2	0,071	1,2	0,216
1,2	0,216	1,6	0,070	1,6	0,176
1,6	0,212	2,0	0,054	2,0	0,226
2,0	0,219	2,4	0,055	2,4	0,198
2,4	0,195	2,7	0,059	2,7	0,189
2,7	0,195	3,2	0,057	3,6	0,167
3,2	0,186	3,6	0,057		
3,6	0,200	4,1	0,071		
4,1	0,204	4,5	0,092		

media 0,200 media 0,067 media 0,232

Tab. 6 – Modulo di dilatanza pile 2,3,4.

Le prove di laboratorio comprendono sia analisi chimiche-fisiche-petrografiche che analisi meccaniche condotte su campioni che, per la loro posizione, risultano rappresentativi della struttura in esame. Le prime hanno permesso di classificare la malta come malta di cemento (diversamente dalla malta di calce idraulica prevista dal progetto) molto datata ma in condizioni di conservazione generalmente discrete e con un buon margine di durabilità. Le seconde hanno riguardato prove di resistenza alla compressione condotte su provini cubici di malta, laterizio e malta confinata fra due strati di laterizio e sono stati registrati i seguenti valori medi di resistenza:

- ✓ per i campioni di laterizio 19,8 N/mm²;
- ✓ per i campioni di malta cementizia 13,5 N/mm²;
- ✓ per i campioni di malta cementizia confinata fra due strati di laterizio 17,9 N/mm².

Da tali valori medi di resistenza si vuole infine desumere un valore di progetto per la resistenza a compressione della muratura da confrontare con i valori registrati sperimentalmente. Avendo a disposizione valori tensionali dovuti a carichi caratteristici si ragiona in termini di tensioni ammissibili. Si prendono a riferimento le indicazioni contenute nel D.M. 20/11/1987 e si seguono due metodologie, che permettono di stimare la resistenza della muratura rispettivamente dalla resistenza del provino composto da malta e laterizio e dalla resistenza dei singoli componenti della muratura.

Ipotizzando una distribuzione gaussiana simile a quella relativa ai campioni di calcestruzzo si può desumere un valore caratteristico della resistenza a compressione del provino composto da malta e laterizio pari a $f_k=0,7 \cdot R_{media}=12,53\text{MPa}$. La tensione ammissibile a compressione viene calcolata come

$$\bar{\sigma}_m = f_k / 5 = 2,506\text{MPa}.$$

Per la determinazione della resistenza caratteristica a compressione in base alle caratteristiche dei componenti si fa riferimento alla seguente tabella riportata in normativa.

Resistenza caratteristica a compressione f_{bk} dell'elemento		Tipo di malta							
		M1		M2		M3		M4	
N/mm ²	kg/cm ²	N/mm ²	kg/cm ²	N/mm ²	kg/cm ²	N/mm ²	kg/cm ²	N/mm ²	kg/cm ²
2.0	20	1.2	12	1.2	12	1.2	12	1.2	12
3.0	30	2.2	22	2.2	22	2.2	22	2.0	20
5.0	50	3.5	35	3.4	34	3.3	33	3.0	30
7.5	75	5.0	50	4.5	45	4.1	41	3.5	35
10.0	100	6.2	62	5.3	53	4.7	47	4.1	41
15.0	150	8.2	82	6.7	67	6.0	60	5.1	51
20.0	200	9.7	97	8.0	80	7.0	70	6.1	61
30.0	300	12.0	120	10.0	100	8.6	86	7.2	72
40.0	400	14.3	143	12.0	120	10.4	104	-	-

Tab. 7 – Tabella per la determinazione delle caratteristiche delle murature.

La malta cementizia in questione può essere classificata come M2 e, adottando gli stessi criteri esposti precedentemente, si può assumere una resistenza caratteristica a compressione dell'elemento pari a 13,86 MPa. L'interpolazione lineare fra i valori relativi a $f_{bk}=15,0$ e $f_{bk}=10,0$ MPa porta ad un valore caratteristico della resistenza a compressione della muratura pari a 6,38 MPa e, di conseguenza, ad un valore di compressione ammissibile di

$$\bar{\sigma}_m = f_k / 5 = 1,276 \text{ MPa}.$$

Si osserva una discrepanza consistente fra i valori ottenuti con le due metodologie. A livello progettuale si ritiene più affidabile il valore desunto dalla resistenza dei singoli componenti in quanto, oltre al fatto che risulta più cautelativo, il campione composto da uno strato di malta confinato fra due strati di laterizio non rispecchia fedelmente la situazione della muratura in esercizio.

Confrontando i valori tensionali registrati durante le prove con il valore ammissibile calcolato si nota che già solamente per i carichi dovuti al peso proprio ed al cedimento della pila la sicurezza del ponte non risulta verificata.

3. INTERVENTI STRUTTURALI

3.1. Modellazione numerica

Sulla base dei dati raccolti nelle fasi precedenti è stata condotta una modellazione ad elementi finiti dell'intera struttura. Il software utilizzato per la modellazione è SAP2000 v. 11 della CSI.

Il modello è stato realizzato mediante elementi solidi, che riproducono fedelmente la geometria dell'arco e delle pile (Cfr. fig. 3.1.1). La dimensione massima degli elementi è inferiore al metro e, dove possibile, sono stati utilizzati elementi di forma parallelepipedica. Avendo a che fare con elementi piuttosto regolari, è stata attivata la formulazione incompatibile per gli elementi solidi: tale formulazione garantisce una deformabilità degli elementi più aderente alla realtà. Si è scelto di non modellare i muri laterali in quanto si è ritenuto trascurabile il loro contributo in termini di resistenza e rigidità conferite all'arco.

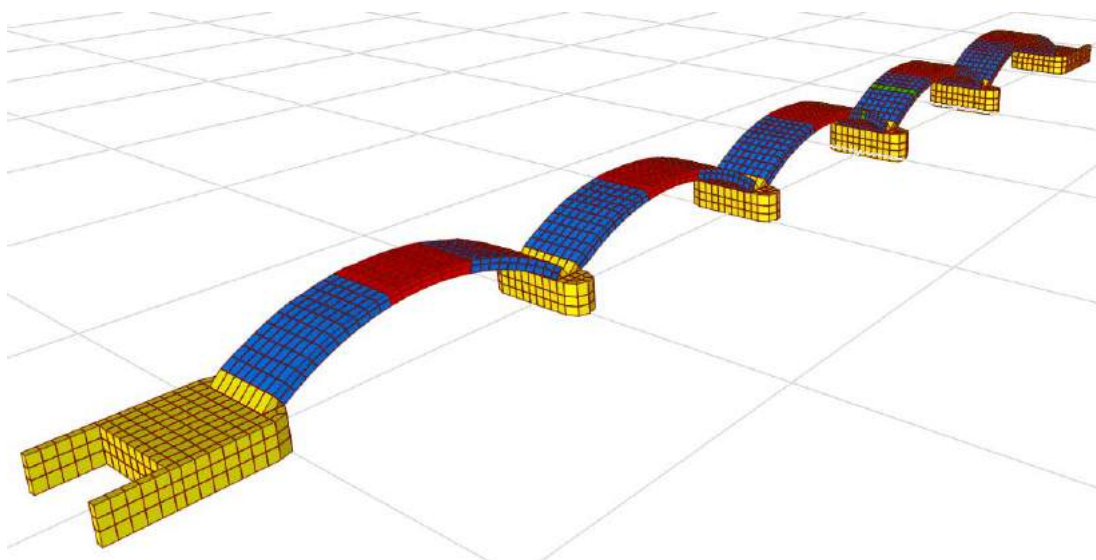


Fig.3.1.1 – Modello ad elementi finiti del ponte.

Le caratteristiche dei materiali utilizzati sono state desunte dalle prove eseguite e a ciascun elemento sono state assegnate le caratteristiche relative alla prova più prossima. Per i valori dei moduli di elasticità e dei coefficienti di Poisson rilevati nelle prove sperimentali ed i valori utilizzati nella modellazione (valori medi) si rimanda alle tabelle riportate nel paragrafo precedente (Cfr. Tab. 3÷6).

L'analisi condotta è di tipo lineare. Il comportamento non lineare della muratura è stato considerato assegnando modulo d'elasticità nullo agli elementi soggetti a sforzo di trazione.

I carichi assegnati comprendono i pesi propri, il peso dei muri laterali ed il peso del riempimento.

Sia alla muratura che al riempimento è stato assegnato un peso specifico di 18kN/mc. Sono inoltre state assegnate delle deformazioni imposte di entità pari ai cedimenti della pila 3.

Nella tabella seguente si riportano i valori tensionali ottenuti con il modello appena descritto. I valori “sx” e “dx” fanno riferimento alle tensioni ottenute in corrispondenza dei due punti di misura sulle pile, mentre i valori “max” fanno riferimento alla tensione massima. L’ubicazione dei punti di misura è riportata in figura 3.1.2 e per maggiori dettagli si rimanda all’elaborato specifico.

Tensioni nella muratura

				Prova
pila 2	sx	1,21	MPa	M2
	dx	2,42	MPa	M1
	max	6,00	MPa	
pila 3	sx	0,95	MPa	M5
	dx	1,00	MPa	M6
	max	2,57	MPa	
pila 4	sx	2,21	MPa	M3
	dx	1,50	MPa	M4
	max	6,08	MPa	

Tab. 8 – Tensioni nella muratura derivanti dal modello ad elementi finiti.

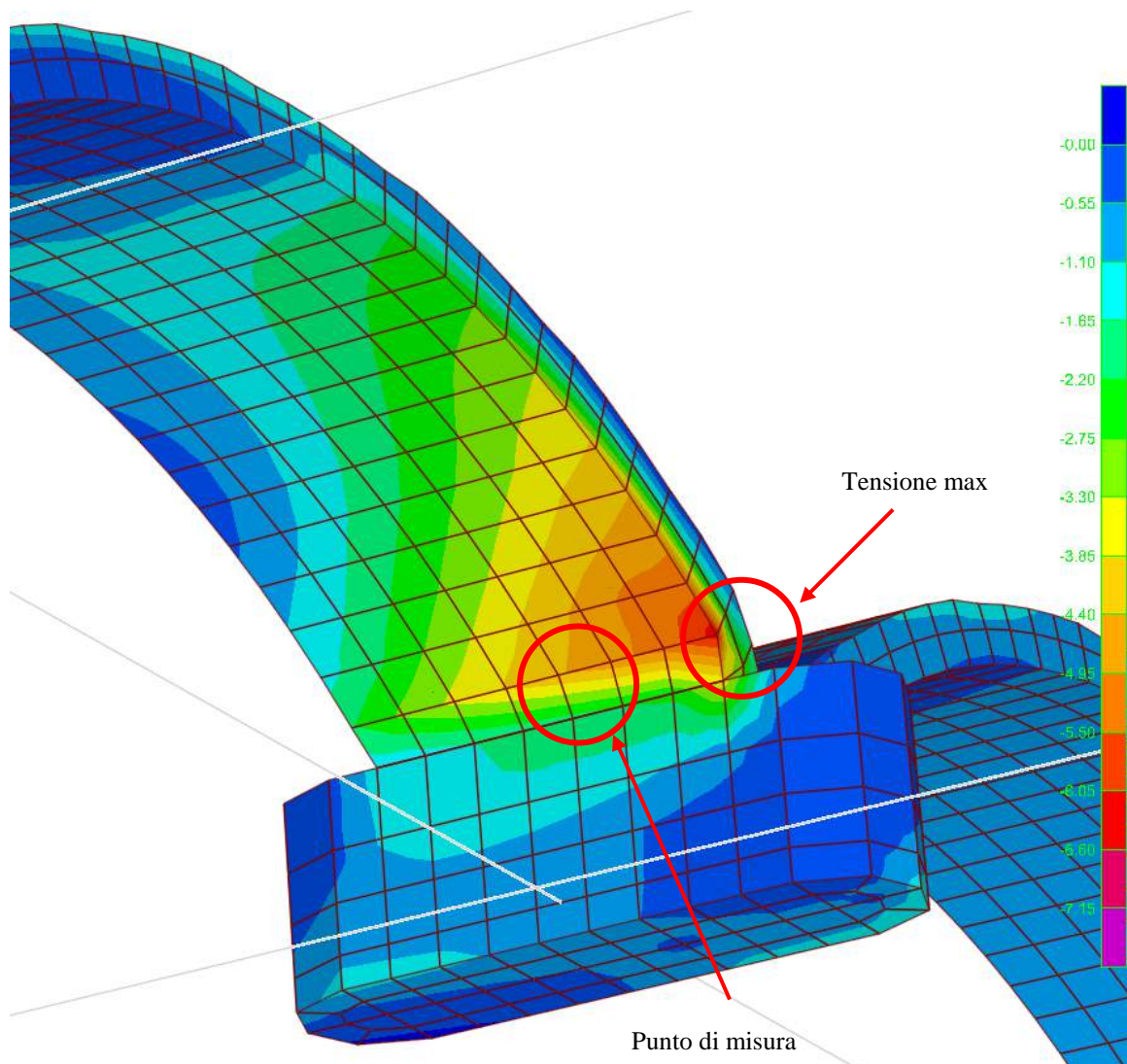


Fig. 3.1.2 – Tensioni all’imposta dell’arco.

Si osserva che il modello riproduce correttamente i valori massimi registrati durante la campagna sperimentale ($M1=2,70$ MPa; $M3=2,25$ MPa) mentre sovrastima le tensioni relative ai punti di misura più esterni ($M2=0,90$ MPa; $M4=0,45$ MPa). Gli unici elementi che risultano in trazione sono quelli in corrispondenza dell’intervento già eseguito, zona che quindi si è effettivamente fessurata. Vista la complessità dell’effettiva storia di carico della struttura e la relativa semplicità del modello di calcolo adottato, i risultati ottenuti appaiono descrivere con buona approssimazione lo stato tensionale che si è determinato nell’opera..

3.2. Individuazione dei possibili interventi

Lo stato tensionale delle campate coinvolte nel cedimento della pila 3 raggiunge valori superiori alla tensione ammissibile per la muratura e prossimi al valore di resistenza caratteristico ($f_k=6,38\text{MPa}$). Inoltre, l'azione di carichi stradali di seconda categoria porterebbe a pressioni sul terreno prossime a 550 kN/mq , valore non supportabile dal terreno presente in loco senza un'adeguato consolidamento del piano di posa. Si ritiene che allo stato attuale il ponte non possa sostenere ulteriori carichi. Si esclude quindi la possibilità della riapertura al traffico anche ciclo-pedonale senza mettere in atto interventi atti a consolidare sia il piano di posa delle pile che l'arco in muratura.

Alle considerazioni di carattere strutturale e tensionale della struttura vanno ad aggiungersi quelle relative alla stabilità generale dell'opera ed in particolare della pila 3.

Se l'intervento di consolidamento realizzato in passato ha fermato apparentemente il cedimento, le condizioni di forte erosione in rapporto al piano di imposta della fondazione impongono la più forte preoccupazione ed allarme. In assenza di un pronto intervento di stabilizzazione e di ripristino strutturale della fondazione un evento di piena che approfondisca la profonda erosione presente potrebbe determinare il crollo dell'opera.

Gli interventi si focalizzano quindi sugli aspetti sopra menzionati e consistono nel:

- ✓ consolidamento del piano di posa delle fondazioni mediante trattamento colonnare in jet grouting previsto nel progetto di sistemazione idraulica;
- ✓ rinforzo strutturale dell'arco in muratura mediante controarco in c.a.;
- ✓ rinforzo dei muri laterali dell'arco mediante catene ancorate in cordoli realizzati internamente all'impalcato e collegati ai muri laterali mediante ancoraggi a coda di rondine.

In seguito a tale intervento l'arco in muratura resta gravato solamente dal peso proprio e dal peso del controarco in fase di getto, risultando soggetto a tensioni inferiori rispetto allo stato attuale.

4. INTERVENTI DI SISTEMAZIONE IDRAULICA

4.1. Configurazione al contorno

Come illustrato nei paragrafi precedenti, attualmente le palancole poste attorno alla pila sono in alcuni punti staccate dal getto di calcestruzzo e quest'ultimo presenta fenomeni di fessurazione.

Inoltre, i massi posti al piede delle pile, essendo di ridotte dimensioni, sono stati spostati dalla corrente andando a scoprire i micropali esistenti.

Gli interventi già condotti sulle pile e le fondazioni del ponte storico se da un lato hanno avuto l'effetto di consolidare la base delle pile, dall'altro hanno prodotto un aumento dell'ingombro delle pile (già consistente) rispetto alla direzione prevalente della corrente.

Infatti i continui interventi di consolidamento hanno peggiorato la situazione dal punto di vista dell'interazione tra la corrente e le pile, con conseguente aumento dell'erosione al piede delle pile stesse.

Il talweg alla base delle pile si è dunque progressivamente abbassato ed attualmente è rilevabile in corrispondenza delle pile uno scavo di 4,0-5,0 m per le due pile centrali, che neppure il trasporto solido del fiume Adda riesce a colmare.

La situazione attuale, ben evidenziata anche dal profilo longitudinale rilevato del talweg del fiume Adda in corrispondenza dei due ponti ove è presente uno scavo permanente di 4-5 m di profondità alla base delle pile, è assai compromessa e molto grave.

L'asse delle pile, infatti, disassato rispetto alla direzione prevalente della corrente, provoca un ingombro rilevante nell'alveo del fiume.

Non solo, la posizione delle pile del ponte nuovo rispetto a quelle del ponte vecchio è tale per cui i due ingombri trasversali misurati ortogonalmente all'asse della corrente si sommano andando ad occludere in maniera drastica la luce libera di deflusso.

Attualmente la sezione idraulica utile in corrispondenza dei due ponti è praticamente dimezzata. Ciò rappresenta un caso di assoluta gravità e di rara criticità idraulica dacché un fiume come l'Adda al quale viene sottratta metà della propria sezione utile naturale non può che determinare danni rilevanti alle strutture in alveo.

La luce libera che risulta sotto i ponti è di circa 52 m mentre l'ingombro totale delle opere in alveo misurato ortogonalmente alla corrente è di circa 55 m.

La situazione è destinata a peggiorare in futuro dato che l'asse del fiume tende a ruotare in senso orario e la sponda destra a valle.



Fig. 4.1 – Erosioni provocate dalla dire-

zione della corrente



Sponda in sinistra idraulica
a monte del ponte nuovo



Sponda in destra idraulica a valle del ponte
storico

Dai calcoli effettuati si è potuto desumere che l'entità dello scavo alla base del ponte storico durante l'evento di piena è rilevante (oltre 13 m) e tale da compromettere la stabilità dei due ponti (sia quello storico sia quello nuovo esistente).

Il principale problema è, quello delle fondazioni, potendosi temere per le grosse pile e i relativi plinti posti in alveo, escavazioni anche notevoli: approssimativamente il doppio della larghezza (esposta alla corrente) della pila, ed eventualmente, del plinto.

Nel caso in esame la larghezza esposta alla corrente non corrisponde alla larghezza effettiva della pila avendo quest'ultima l'asse ruotato di 23° rispetto la direzione della corrente. Questo può considerarsi il motivo principale della formazione di uno scavo così rilevante.

Sono state perciò sviluppate alcune proposte di possibili soluzioni d'intervento riguardo i due ponti esistenti.

4.2. Interventi su pile e fondazioni

Sulla base delle considerazioni fatte nel precedente capitolo e alla luce dei risultati del modello matematico, si è ritenuto opportuno combinare diversi interventi al fine di:

1. ridurre lo scavo alla base dei ponti esistenti con interventi di sottofondazione delle pile del ponte storico;
2. proteggere le sponde poste in destra idraulica;
3. stabilizzare il fondo dell'alveo mediante l'aggiunta di massi.

4.2.1. Sottofondazione delle pile del ponte storico

Le operazioni di intervento prevedono la costruzione di un argine attorno alle pile al fine di operare all'asciutto.

L'argine viene realizzato prima attorno alla spalla e alle pile poste in destra idraulica e successivamente, ad intervento ultimato, viene realizzato attorno alla spalla e alle pile poste in sinistra idraulica.

L'argine presenta una larghezza di 5 m e un'altezza calcolata sulla base della piena con $T_r=25$ anni più un franco di 1 m; esso è posto ad una distanza di 13 m dal bordo esterno delle pile.

Per evitare di ridurre la sezione liquida con la realizzazione dei nuovi interventi, si prevede la demolizione delle palancole che cerchiano le due pile poste in destra idraulica e si procede poi per tutte le quattro pile con la stessa modalità.

La realizzazione dell'argine consente di deviare il corso del fiume e di mettere all'asciutto le pile interessate dall'intervento.

Viene successivamente effettuato uno scavo in prossimità della pila per permettere la realizzazione dei micropali sino ad una profondità di 25 m.

Poiché le fondazioni dirette realizzate nel 1890 risultano insufficienti per capacità portante a sostenere la sovrastruttura nel caso di piena, si ritiene opportuno affiancare alla realizzazione della fondazione indiretta con micropali anche un'iniezione di Jet-grouting sotto l'attuale fondazione per consolidare il terreno.

La peculiarità di questa tecnica consiste nella capacità, durante l'iniezione, di disgregare il terreno, miscelandolo contemporaneamente con un fluido cementizio fino a formare una colonna di materiale che ha come asse il foro di perforazione, e che ha caratteristiche geomeccaniche migliori rispetto a quelle del terreno originario.

L'iniezione prevede la realizzazione di colonne del diametro di 1 m fino alla profondità di 10 m.

Si realizza infine la testa del micropalo tramite un cordolo in c.a. collegato alla pila da un elemento di chiusura, e vengono gettati dei massi del diametro di 1m a protezione del cordolo.

Viene successivamente smantellato l'argine e si procede con la stessa modalità per le altre due pile.

4.2.2. Intervento di protezione della sponda in destra idraulica

La sistemazione di sponda con massi ciclopici prevede la realizzazione di un'ideale fondazione con massi per una profondità di 3 m e con un'ulteriore rivestimento di protezione lato fiume disponendo i massi su un idoneo geotessuto. L'utilizzo di massi regolari di grandi dimensioni, garantisce un'ottima resistenza alla velocità della corrente anche nei tratti in curva e un'ottima stabilità del rilevato arginale. Il tratto a lato fiume non direttamente interessato dalla corrente, viene ricoperto con del terreno vegetale adatto allo sviluppo di vegetazione che possa oltre a garantire ulteriore stabilità al rivestimento, permettere all'opera di inserirsi in maniera adeguata nel contesto ambientale esistente.

4.2.3. Aggiunta di massi a protezione del fondo

Per evitare l'erosione del fondo dell'alveo e quindi proteggere le pile da un eventuale scavo, si prevede la collocazione in opera di massi del diametro di 1 m disposti su un idoneo geotessuto. Tale intervento riguarda la porzione di fiume compresa tra il ponte storico e il ponte nuovo.

5. STIMA SOMMARIA DELLA SPESA

OMISSIS

**RIQUALIFICA E POTENZIAMENTO
DELLA SS N.° 415 “PAULLESE”**

PONTE STORICO SUL FIUME ADDA

STUDIO DI FATTIBILITA’

**RELAZIONE D’INDAGINI DIAGNOSTICA SULLE STRUTTURE
DEL PONTE STORICO**



INDICE

1. INTRODUZIONE	3
2. INDAGINI IN SITO	4
2.1. DESCRIZIONE DELLE TECNICHE DI PROVA.....	4
2.1.1 Sondaggi geotecnici a carotaggio continuo sulle strutture di fondazione.....	4
2.1.2 Sondaggi meccanici a carotaggio continuo sulle murature in elevazione	4
2.1.3 Ispezioni con sonda televisiva.....	5
2.1.4 Misura dello stato tensionale mediante prova con martinetto piatto	6
2.1.5 Determinazione delle caratteristiche di deformabilità mediante prova con martinetti piatti paralleli.....	8
2.2. UBICAZIONE DEI PUNTI DI PROVA	10
2.3. RISULTATI DELLE INDAGINI	13
2.3.1 SONDAGGIO A CAROTAGGIO CONTINUO IN CORRISPONDENZA DELLA PILA 4	13
2.3.2 Carotaggi meccanici sulle murature in elevazione e prospezioni con sonda televisiva.....	15
2.3.3 Prove con martinetti piatti	17
2.3.3.1 Misura dello stato tensionale.....	17
2.3.3.2 Determinazione delle caratteristiche di deformabilità	18
3. PROVE DI LABORATORIO	23
3.1. ANALISI CHIMICHE, FISICHE, PETROGRAFICHE	23
3.1.1 Campionamento.....	23
3.1.2 Risultati analitici.....	23
3.1.2.1 Analisi termogravimetrica (TG-DTA)	23
3.1.2.2 Porosità accessibile al mercurio	24
3.1.2.3 Analisi petrografica al microscopio ottico polarizzatore	25
3.1.2.3.1 Campione SD-C2.....	26
3.1.2.3.2 Campione SD-C3.....	26
3.1.2.3.3 Campione SD-SG	26
3.1.3 Sintesi dei risultati	27
3.1.3.1 La composizione delle malte.....	27
3.1.3.2 Lo stato di conservazione	27
3.2. PROVE MECCANICHE	28



3.2.1 Prove di resistenza alla compressione 28

APPENDICE A	DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA
APPENDICE B	SONDAGGIO A CAROTAGGIO CONTINUO CON SONDA GEOTECCNICA – Elaborati di prova
APPENDICE C	CAROTAGGI MECCANICI SULLE MURATURE IN ELEVAZIONE E PROSPEZIONI CON SONDA TELEVISIVA – Elaborati di prova
APPENDICE D	PROVE CON MARTINETTI PIATTI PER LA MISURA DELLO STATO TENSIONALE – Elaborati di prova
APPENDICE E	PROVE CON MARTINETTI PIATTI PER LA DETERMINAZIONE DELLE CARATTERISTICHE DI DEFORMABILITA' DELLE MURATURE – Elaborati di prova
APPENDICE F	ANALISI CHIMICHE, FISICHE, PETROGRAFICHE – Elaborati di prova



1. INTRODUZIONE

Nella presente relazione sono riportati i risultati delle indagini diagnostiche eseguite dalla Società R.tekno s.r.l. di Bergamo sulle strutture murarie del ponte storico di Bisnate in Spino d'Adda.

Le indagini, eseguite nel Maggio 2008 sono state articolate secondo il programma di seguito indicato:

- n° 1 sondaggio meccanico a carotaggio continuo, di lunghezza 13 m e diametro 100 mm, eseguito in direzione verticale a partire da quota impalcato in corrispondenza della pila 4, Il sondaggio ha raggiunto il piano d'imposta della fondazione della pila e ha attraversato i terreni immediatamente sottostanti la fondazioni.
- n° 4 sondaggi meccanici a carotaggio continuo di diametro 76 mm sulle strutture murarie in elevazione compresa l'ispezione della parete del foro con sonda televisiva a colori;
- n° 6 prove con martinetto piatto singolo per la misura dello stato di sollecitazione delle murature;
- n° 3 prove con martinetti piatti paralleli per la determinazione delle caratteristiche di deformabilità delle murature;
- analisi chimiche fisiche e petrografiche eseguite su n° 3 campioni di malta e laterizio;
- n° 10 prove meccaniche di compressione su campioni di laterizio e malta.

Le indagini sono state eseguite con l'assistenza di rocciatori in modo tale da evitare l'installazione di ponteggi.

Nelle Tavole 1÷7 di Appendice A sono riportate l'ubicazione di tutte le indagini eseguite e alcune riprese fotografiche delle varie fasi lavorative.

Nel seguito vengono descritte le metodologie di prova utilizzate e vengono illustrati e commentati i risultati ottenuti.

2. INDAGINI IN SITO

2.1. DESCRIZIONE DELLE TECNICHE DI PROVA

2.1.1 Sondaggi geotecnici a carotaggio continuo sulle strutture di fondazione

I sondaggi meccanici a carotaggio continuo sulle strutture di fondazione permettono di determinare il piano di posa delle fondazioni, di analizzare la composizione e la tessitura muraria delle murature e di osservare le caratteristiche dei terreni di fondazioni.

Il sondaggio a carotaggio continuo (Figura 1) è stato eseguito utilizzando una sonda geotecnica dotata di doppio carotiere di diametro 100 mm, posizionata sull'impalcato del ponte. Il sondaggio è stato eseguito in corrispondenza di una pila del ponte fino ad interessare per alcuni metri il terreno di fondazione.



Figura 1. Esecuzione del sondaggio a carotaggio continuo S1, diametro 100mm con sonda geotecnica.

2.1.2 Sondaggi meccanici a carotaggio continuo sulle murature in elevazione

I sondaggi meccanici a carotaggio continuo consentono di analizzare la composizione e la tessitura muraria e di prelevare campioni dei materiali costituenti le murature; in tal modo è possibile determinare l'eventuale presenza di murature a sacco, rilevando gli spessori del paramento murario esterno e del riempimento interno, l'esistenza di murature con differenti tessiture.

I sondaggi a carotaggio continuo sono stati eseguiti utilizzando una carotatrice ad avanzamento manuale, con raffreddamento a circolazione d'acqua, dotata di corona diamantata a parete sottile, con diametro esterno pari a 76 mm (Figura 2).



Figura 2. Esecuzione dei carotaggi meccanici sulle murature in elevazione mediante l'assistenza di rocciatori

I campioni estratti vengono collocati in apposite cassette catalogatrici, contrassegnati con l'indicazione della sigla e della profondità del sondaggio e fotografati direttamente in sito. Il materiale recuperato viene descritto attraverso stratigrafie di dettaglio distinguendo le presenze di malte, elementi in pietra ed elementi in laterizio.

2.1.3 Ispezioni con sonda televisiva

L'ispezione con sonda televisiva consente di esaminare con grande dettaglio la superficie laterale di perforazioni ove la muratura conserva intatte le sue caratteristiche tessiturali e consente di individuare e misurare le cavità presenti all'interno del corpo murario.

Per effettuare le prospezioni all'interno dei fori di carotaggio viene utilizzata una sonda televisiva costituita da una telecamera a colori di piccolo diametro (diametro 24 mm, sensibilità 1 Lux, con otturatore controllato elettronicamente) e da un video digitalizzatore collegato ad un computer, il quale consente di effettuare riprese fotografiche digitalizzate a diverse profondità.



Figura 3. Prospezione con sonda televisiva all'interno dei fori dei carotaggi

2.1.4 Misura dello stato tensionale mediante prova con martinetto piatto

La prova con martinetto piatto consente di rilevare lo stato di sollecitazione locale presente nella muratura, misurando la variazione dello stato tensionale, in un punto della parete, provocata da un taglio piano di limitate dimensioni eseguito in direzione normale al paramento.

Il rilascio delle tensioni provoca una parziale chiusura del taglio, la quale viene rilevata tramite misure di convergenza fra coppie di punti predisposti in posizione simmetrica rispetto al taglio stesso. Viene quindi inserito, all'interno del taglio, uno speciale martinetto piatto, realizzato mediante sottili lamiere in acciaio saldate, collegato ad un circuito idraulico, in cui la pressione viene gradualmente aumentata fino ad annullare la deformazione misurata in fase di esecuzione del taglio. In queste condizioni la pressione all'interno del martinetto è uguale alla sollecitazione preesistente nella muratura in direzione normale al piano del martinetto, a meno di una costante che tiene conto del rapporto tra l'area del martinetto e l'area del taglio e della rigidità intrinseca di ogni martinetto.

Il valore dello stato di sollecitazione nel punto di prova è dato da:

$$\sigma = p \cdot K_m \cdot K_a$$

dove:

- p = pressione dell'olio all'interno del martinetto piatto
- K_m = costante del martinetto che deve essere determinata mediante prova di taratura in laboratorio
- K_a = A_j/A_c (rapporto tra l'area del martinetto e quella del taglio)

Nella campagna di prove oggetto della presente relazione sono stati utilizzati martinetti piatti semicircolari di dimensione 345×255×3 mm. Nelle Figure 4 e 5 vengono mostrate le fasi di esecuzione della prova.

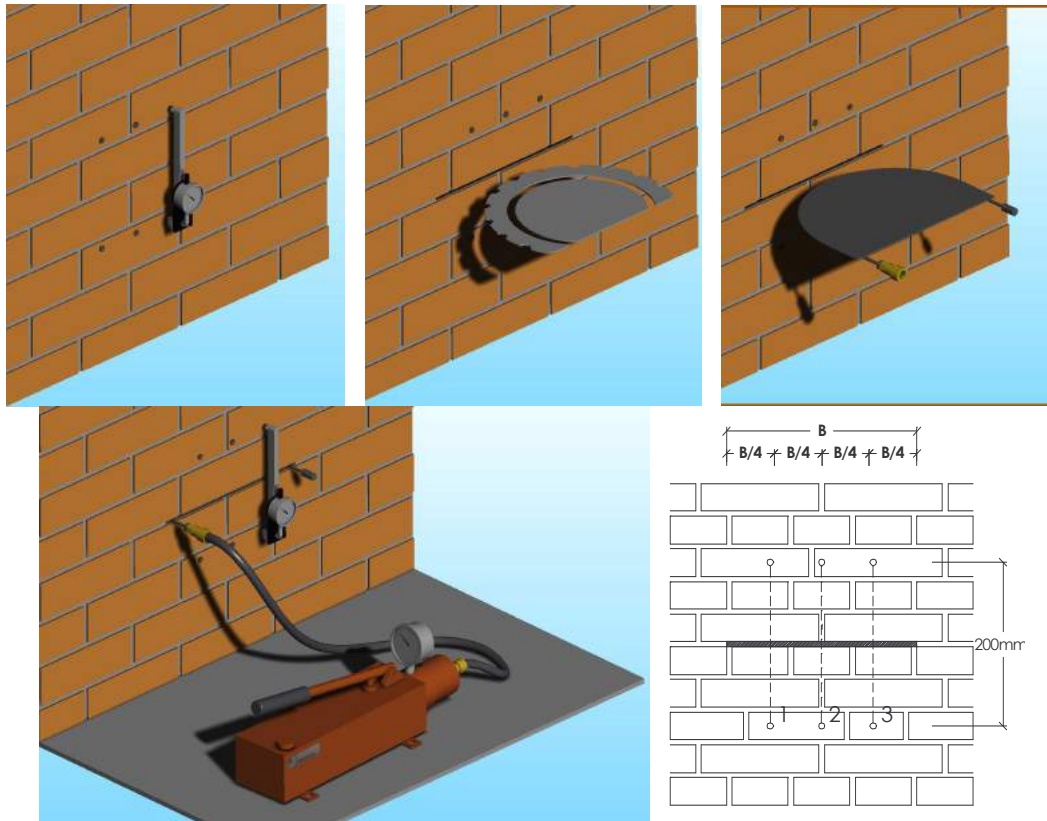


Figura 4. Fasi di esecuzione della prova con martinetto piatto semicircolare e disposizione delle basi di misura

Il taglio viene eseguito mediante disco metallico provvisto di utensili diamantati. È opportuno rilevare che il disturbo arrecato alla muratura dall'introduzione dei martinetti piatti è molto limitato poiché lo spessore del taglio è pari a 3 mm. Al termine della prova il martinetto piatto può essere facilmente rimosso e il taglio sigillato mediante malta cementizia. Le misure di convergenza vengono effettuate utilizzando un estensimetro meccanico rimovibile che rileva gli spostamenti fra n° 3 coppie di basi di misura disposte secondo lo schema illustrato nella figura seguente. Le basi di misura sono realizzate incollando sulla muratura piastrine di riferimento in acciaio invar, del diametro di 5 mm, poste a distanza di 200 mm l'una dall'altra.

Al termine della prova i martinetti piatti sono stati rimossi e i tagli sigillati mediante malta cementizia espansiva.



Figura 5. Fase di esecuzione della prova con martinetto piatto con l'assistenza di rocciatori

2.1.5 Determinazione delle caratteristiche di deformabilità mediante prova con martinetti piatti paralleli

La prova con due martinetti piatti paralleli consente di determinare in modo non distruttivo le caratteristiche di deformabilità della muratura.

La prova viene eseguita inserendo nella muratura due martinetti piatti paralleli alla distanza di circa 50-60 cm. I due martinetti delimitano in tal modo un campione di muratura di apprezzabili dimensioni sul quale i martinetti stessi applicano uno stato di compressione monoassiale. Alcune basi di misura per estensimetro meccanico rimovibile, installati sulla superficie libera del campione, permettono di misurarne le deformazioni assiali e trasversali.

In questo modo viene eseguita una prova di compressione monoassiale su un campione indisturbato di grandi dimensioni, certamente molto rappresentativo del comportamento globale della struttura.

Vengono eseguiti due cicli di carico in corrispondenza di livelli di sollecitazione gradualmente crescenti allo scopo di determinare i moduli di deformabilità per diversi intervalli di sollecitazione.

E' stato utilizzato il seguente tipo di martinetto:

- martinetto piatto semicircolare di dimensione $345 \times 255 \times 3$ mm

Lo schema delle fasi di esecuzione della prova con due martinetti piatti paralleli è riportato nelle Figure 6 e 7.

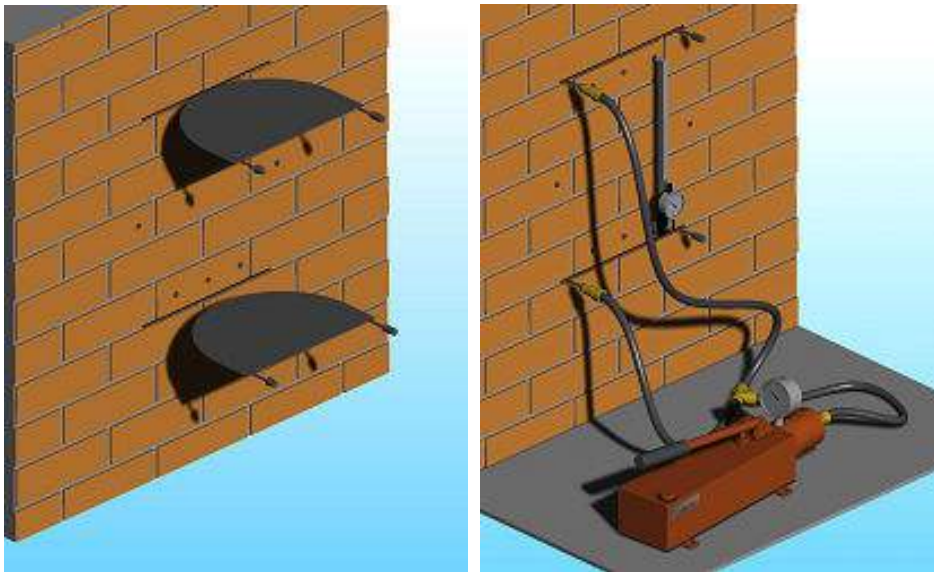


Figure 6 e 7. Fase di esecuzione della prova con martinetti piatti paralleli per la determinazione delle caratteristiche di deformabilità delle murature

Le modalità di esecuzione del taglio ed il tipo di basi di misura corrispondono a quanto descritto al precedente punto 2.3.

Le misure di deformabilità verticale ed orizzontale del campione vengono rilevate mediante l'impiego di un estensimetro meccanico rimovibile, utilizzando, rispettivamente, tre basi di misura verticali ed una base di misura orizzontale, di lunghezza 400 mm secondo la disposizione illustrata nella Figura 8.

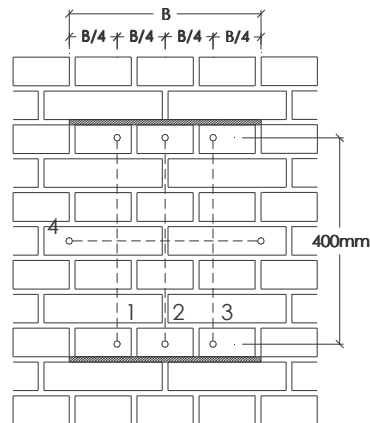


Figura 8. Disposizione delle basi di misura per la prova con martinetti piatti per la determinazione delle caratteristiche di deformabilità delle murature.

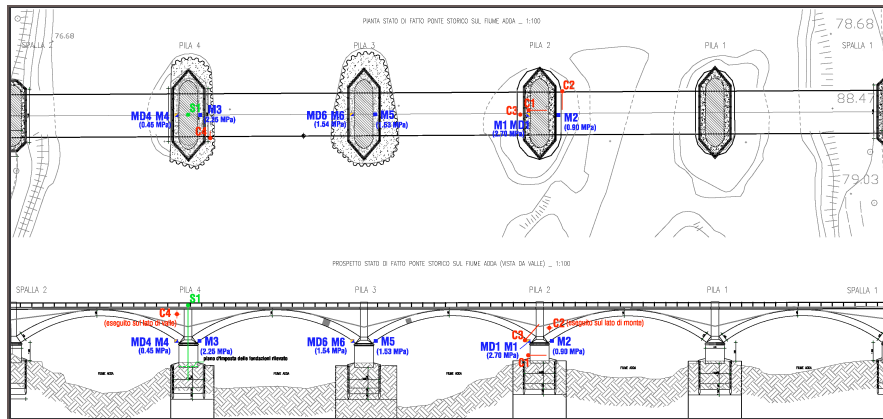
2.2. UBICAZIONE DEI PUNTI DI PROVA

Nella Tavola 1 di Appendice A e nella Figura 9 è riportata l'ubicazione e la numerazione dei punti in cui sono stati eseguite le indagini diagnostiche.

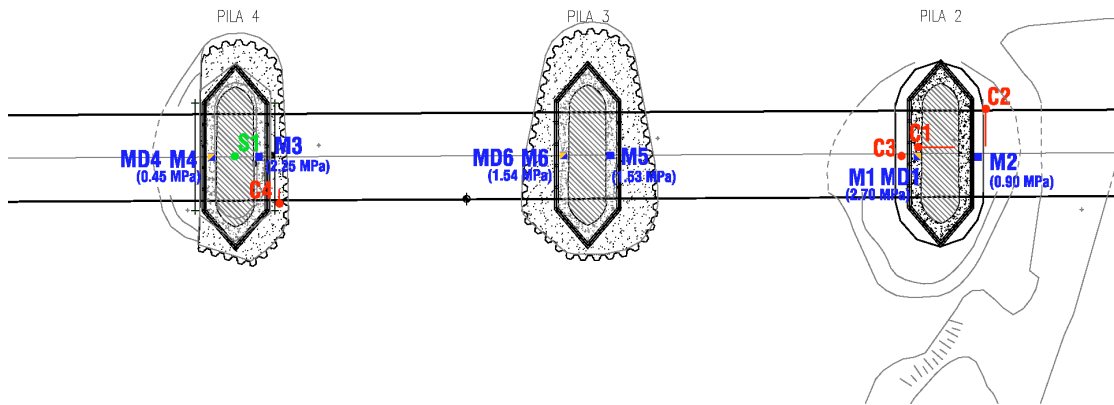
Nel seguito sono riportate le simbologie adottate per le prove eseguite:

- **Sn** : sondaggio verticale a carotaggio continuo, diametro 100 mm, con sonda geotecnica in corrispondenza della pila 4;
- **Cn** : carotaggi meccanici sulle murature in elevazione e ispezione con sonda televisiva;
- **Mn** : prove con martinetto piatto per la misura dello stato di sollecitazione (martinetti di dimensioni 345x255x3 mm);
- **MDn** : prove con martinetti piatti paralleli per la determinazione delle caratteristiche di deformabilità (martinetti di dimensioni 345x255x3 mm).

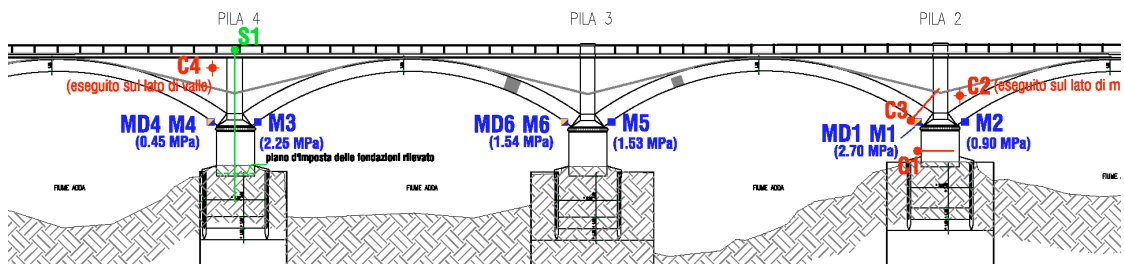
ove n è il numero della prova.



PIANTA STATO DI FATTO PONTE STORICO SUL FIUME ADDA _ 1:100



PROSPETTO STATO DI FATTO PONTE STORICO SUL FIUME ADDA (VISTA DA VALLE) _ 1:100



- **Mn** Prove con martinetto piatto semicircolare (dimensioni 345x255x3 mm) per la misura dello stato tensionale
- **Mn**
MDn Prove con martinetto piatto semicircolare (dimensioni 345x255x3 mm) per la misura dello stato tensionale e prove con martinetti doppi per la determinazione delle caratteristiche di deformabilità delle murature
- (0.00 MPa) Misura della sollecitazione di compressione in MPa
- **Cn** Carotaggi meccanici sulle strutture in elevazione (diametro 76mm)
- **Sn** Sondaggio a carotaggio continuo con sonda geotecnica (diametro 100mm)

Figura 9. Ubicazione delle indagini diagnostiche

2.3. RISULTATI DELLE INDAGINI

2.3.1 SONDAGGIO A CAROTAGGIO CONTINUO IN CORRISPONDENZA DELLA PILA 4

I risultati completi (stratigrafie di dettaglio e foto) relativi al carotaggio meccanico sono riportati in Appendice B. L'ubicazione del carotaggio è indicata nella Tavola 1 di Appendice A.

In particolare, nel certificato elaborato, sono indicati:

- ubicazione del punto di prova in planimetria;
- stratigrafia di dettaglio della muratura indagata;

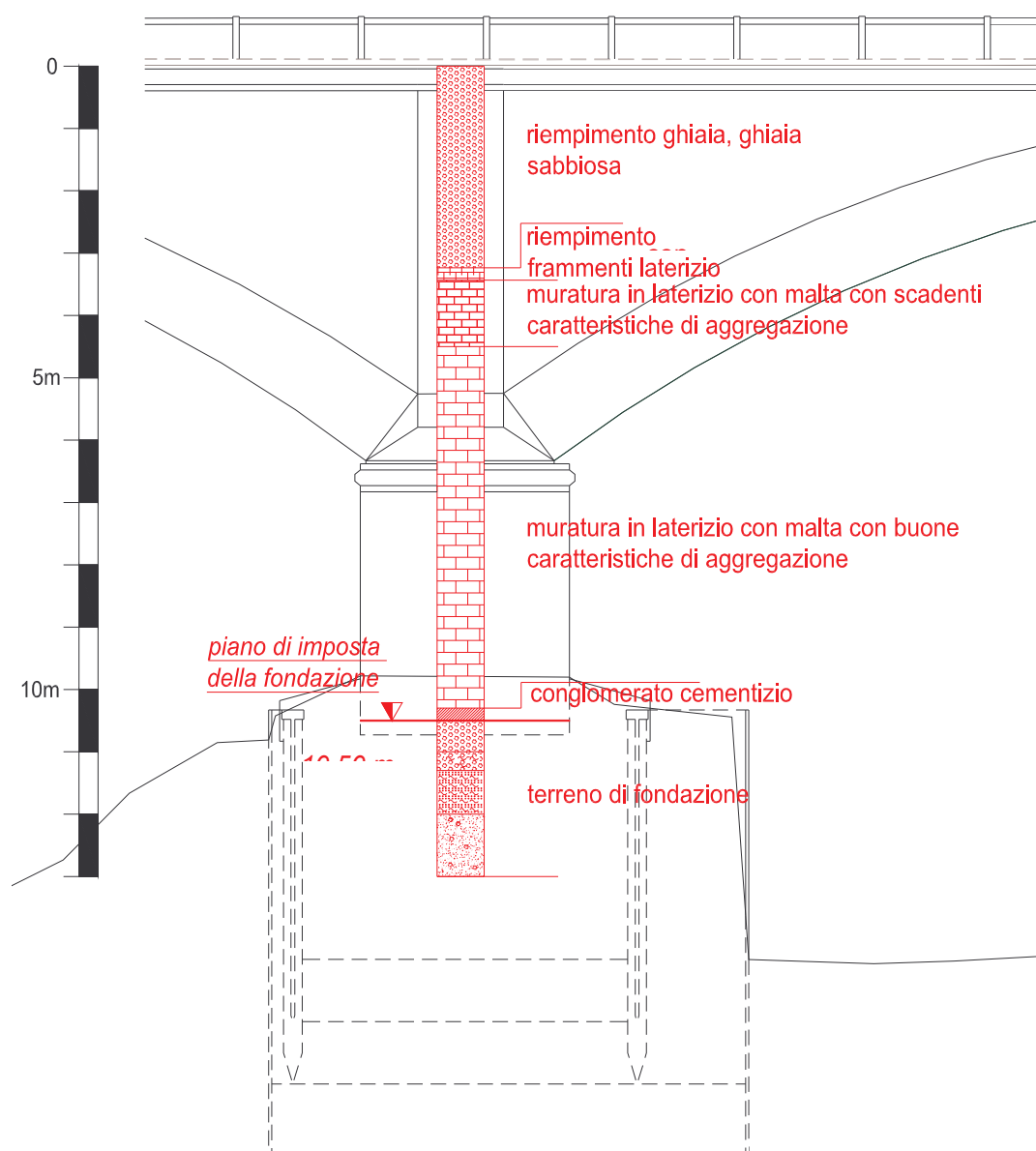


Figura 10. Stratigrafia del sondaggio S1 in corrispondenza della pila 4

La lunghezza complessiva del carotaggio è di 13 m ed è stato eseguito in direzione verticale a partire dalla quota impalcato al centro della pila 4.

Nella Figura 10 è riportata la stratigrafia rilevata nel corso del sondaggio.

Sino alla profondità di 3.60 m è stato rinvenuto un riempimento costituito da ghiaia e ghiaia sabbiosa e, per circa 20 cm, da frammenti di laterizio. Al di sotto è presente una muratura in laterizio omogenea con malta con scadenti caratteristiche di aggregazione per circa 90 cm e con buone caratteristiche sino alla profondità di 10.30 m. A tale quota è presente uno strato di conglomerato cementizio di 20 cm, al di sotto del quale si rinviene il terreno di fondazione costituito da ghiaie sabbiose, ghiaie limose e sabbie limose e a tratti con ghiaia.

Pertanto si può assumere la quota di -10.50 m dall'impalcato del ponte come quota di imposta delle fondazioni.

Nel foro del carotaggio S1 è stato possibile eseguire alcune riprese con la sonda televisiva nel tratto di muratura in laterizio, al di sotto del rivestimento metallico utilizzato per sostenere le pareti del foro. Le riprese hanno confermato l'omogeneità e l'assenza di cavità per la muratura in esame, come è visibile dalla Figura 11.

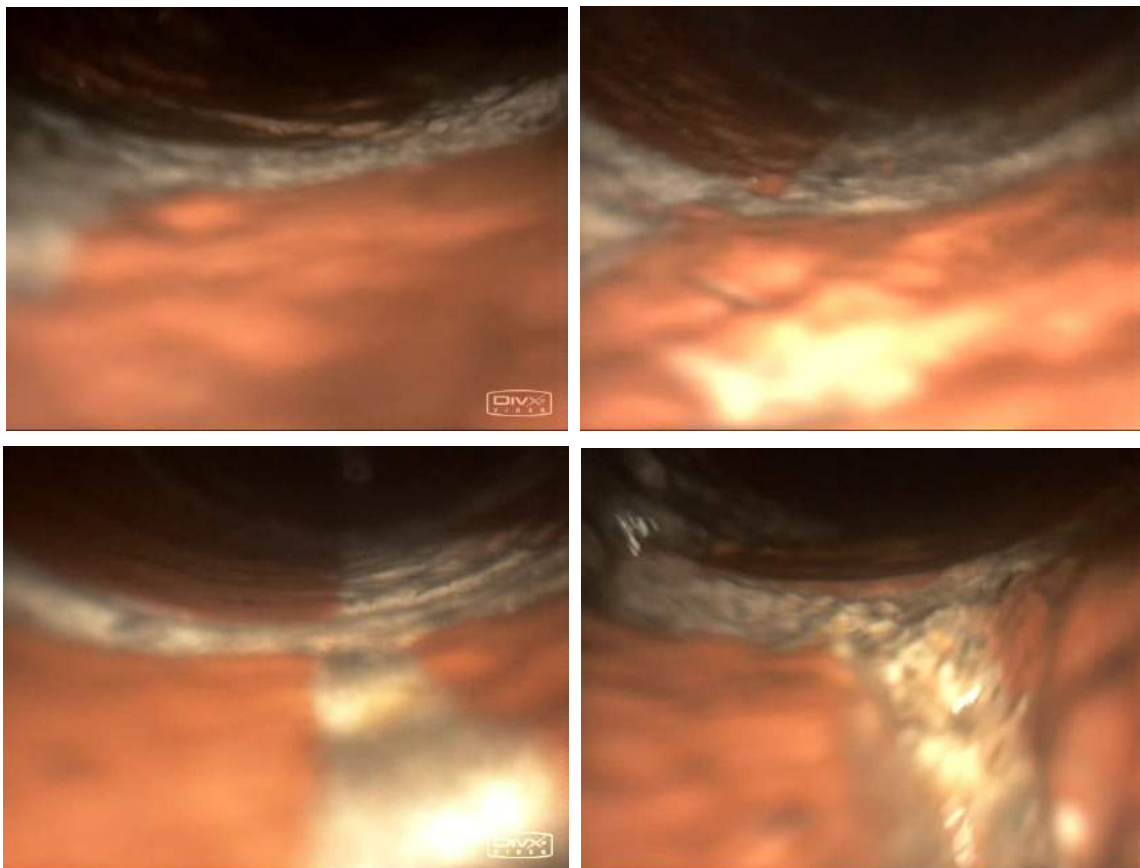


Figura 11. Riprese con sonda televisiva delle pareti del foro S1 nel tratto di muratura in laterizio al di sotto del rivestimento metallico utilizzato per sostenere le pareti del foro durante le operazioni di carotaggio.

2.3.2 Carotaggi meccanici sulle murature in elevazione e prospezioni con sonda televisiva

I risultati completi (stratigrafie di dettaglio e foto) relativi ai carotaggi meccanici e alle prospezioni con sonda televisiva sulle murature in elevazione sono riportati in Appendice C mentre l'ubicazione è indicata nella Tavola 1 di Appendice A.

Per ciascuna prova vengono riportati:

- ubicazione del punto di prova in planimetria;
- stratigrafia di dettaglio della muratura indagata;
- riprese fotografiche delle pareti del foro con passo 25 cm.

Il ponte è costituito da muratura in laterizio con malta con buone caratteristiche di aggregazione; tutti i carotaggi hanno evidenziato che la muratura si presenta molto omogenea e non si osserva, ad un esame delle pareti dei fori con sonda televisiva, cavità o anomalie. Nella Figura 12 è mostrata la tipologia rappresentativa delle murature indagate.

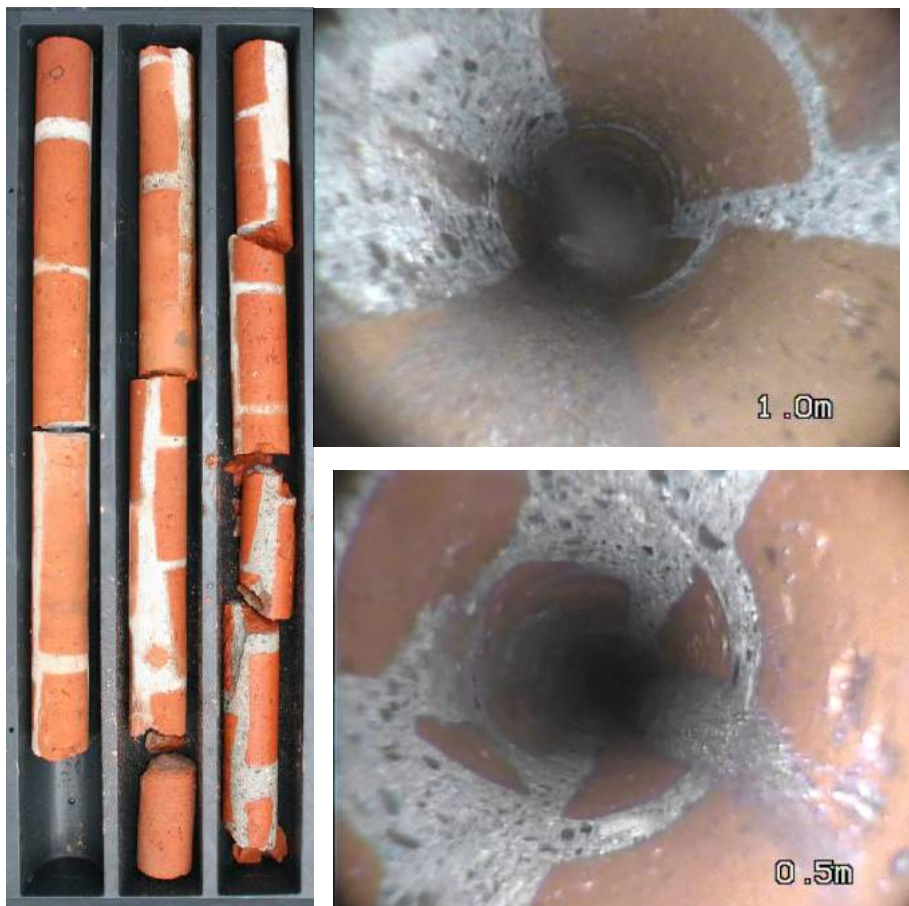


Figura 12. Tipologia della muratura in laterizio che costituisce il ponte. Campioni e riprese con sonda televisiva relativi al for C2..

Il carotaggio C1, eseguito per indagare il fusto della pila 2, ha evidenziato che la muratura in laterizio della pila si presenta omogenea e senza cavità. Non sono presenti soluzioni di continuità tra paramento esterno e muratura interna né murature a sacco.

Il carotaggio C3, eseguito perpendicolarmente all'arco al suo intradosso, ha attraversato per 1.40 m la muratura dell'arco, riconoscibile (Figura 13) dalla giacitura dei mattoni radiale e parallela alla direzione del carotaggio, per poi incontrare la muratura in laterizio con giacitura orizzontale dei rinfianchi delle arcate.

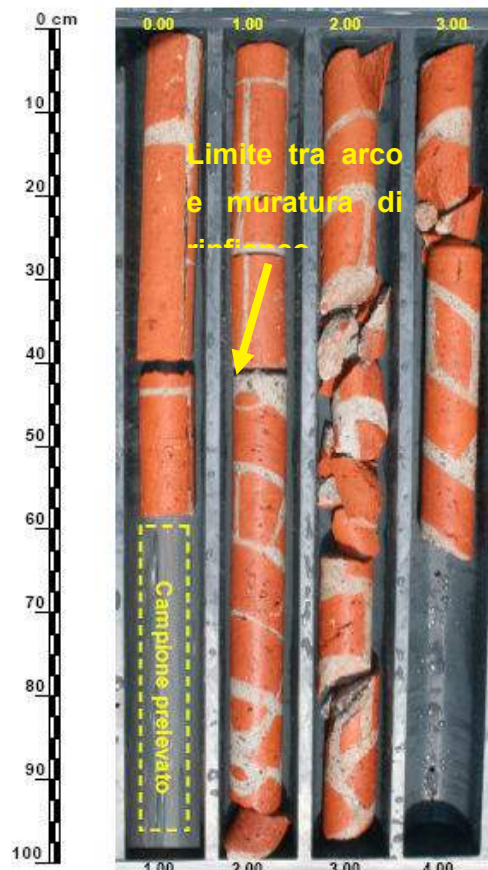


Figura 13. Ripresa fotografica della cassetta catalogatrice del carotaggio C3 ove è visibile lo spessore dell'arco.

I carotaggi C2 e C4 hanno indagato i muri laterali del ponte.

Il carotaggio C2 eseguito a quota più bassa del carotaggio C4, ha mostrato che non esiste soluzione di continuità tra il paramento esterno e la muratura di rinfianco degli archi retrostante.

Il carotaggio C4 ha attraversato il muro laterale per tutto il suo spessore pari a 0.90 m, prima di incontrare il riempimento in ghiaia.

2.3.3 Prove con martinetti piatti

2.3.3.1 Misura dello stato tensionale

In Appendice D sono riportati gli elaborati completi relativi alle prove con martinetto piatto per la misura dello stato tensionale. In particolare per ogni prova si riportano:

- tabella dei valori delle deformazioni misurate nelle n° 3 basi nel corso della prova (sia in fase di taglio che in fase di ripristino del carico) in funzione della sollecitazione verticale e del tempo;
- diagramma delle deformazioni ottenute nel corso della prova in fase di rilascio ed in fase di carico per tutte le basi di misura in corrispondenza di tutti i gradini di carico applicato. Si può osservare che, allorchè in corrispondenza della base centrale si verifica l'uguaglianza fra le deformazioni di rilascio e di ripristino, l'intero diagramma delle deformazioni rilevate durante la fase di ripristino (linea continua) segue fedelmente il diagramma delle deformazioni rilevate durante la fase di rilascio (linea tratteggiata). Questo comportamento deformativo di tipo reversibile è stato osservato in tutte le prove confermando il grado di affidabilità della prova.

Nella Tavola 1 in Appendice A e nella Figura 14 è riportata l'ubicazione di tutte le prove con l'indicazione del valore della sollecitazione misurata.

Nella tabella seguente sono indicati i valori della sollecitazione verticale rilevati nella muratura in corrispondenza dei punti di prova, unitamente alle caratteristiche dei martinetti piatti utilizzati e alla tipologia della muratura indagata.

Prova N.	Tipologia muratura	Tipo di martinetto	Dimensioni martinetto (mm)	σ_v (MPa)
M1	laterizio	semicircolare	345x255	2.70
M2	laterizio	semicircolare	345x255	0.90
M3	laterizio	semicircolare	345x255	2.25
M4	laterizio	semicircolare	345x255	0.45
M5	laterizio	semicircolare	345x255	1.53
M6	laterizio	semicircolare	345x255	1.54

TABELLA 1

PROSPETTO STATO DI FATTO PONTE STORICO SUL FIUME ADDA (VISTA DA VALLE) _ 1:100

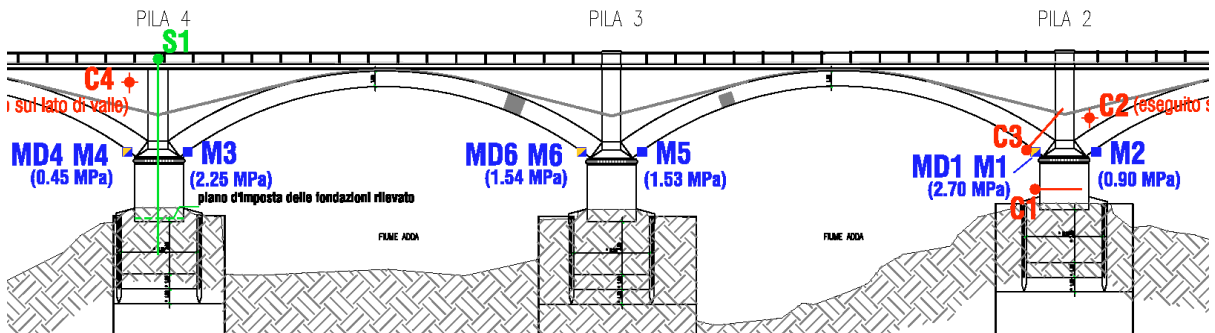


Figura 14. Ubicazione delle prove con martinetti piatti e indicazione dello stato tensionale misurato

Tutte le prove sono state eseguite sulla muratura di intradosso degli archi, in corrispondenza dell'imposta sulla pila 3, la quale in passato ha subito un cedimento, e sulle pile 2 e 4 adiacenti. Dall'esame dei risultati ottenuti sintetizzati nella Figura 14, si osserva una distribuzione dello stato tensionale disomogenea e simmetrica rispetto alla pila 3 interessata dal cedimento; il cedimento della pila ha causato una redistribuzione dei carichi all'imposta dei due archi adiacenti; all'imposta degli archi sulla pila 3 (prove M5 e M6) si registrano valori della sollecitazione minori e pari a 1.53 e 1.54 MPa, mentre all'imposta sulle pile 2 e 4 (M1 e M3) si registrano concentrazioni di carico sino a valori di 2.25 e 2.70 MPa. All'imposta sulle pile 2 e 4 (prove M2 e M4) degli archi più esterni sono stati registrati valori di sollecitazioni inferiori e pari a 0.45 e 0.90 MPa.

2.3.3.2 Determinazione delle caratteristiche di deformabilità

In Appendice E sono riportati gli elaborati completi relativi alle prove con martinetti piatti per la determinazione delle caratteristiche di deformabilità della muratura. In particolare per ogni prova si riportano:

- tabella dei valori delle deformazioni assiali misurate nelle n° 3 basi verticali e delle deformazioni trasversali misurate in corrispondenza di n° 1 base orizzontale, in funzione del carico e del tempo;
- diagramma delle deformazioni assiali (base n° 2) e trasversali (base n° 4) in funzione della sollecitazione applicata dai martinetti. Su tale diagramma è indicato anche il valore di sollecitazione misurato nella muratura durante l'esecuzione della corrispondente prova con martinetto singolo. Vengono inoltre riportati i diagrammi delle deformazioni assiali (basi n° 1 e 3) in funzione della sollecitazione applicata ai martinetti;
- tabella e diagramma dei moduli di deformabilità secante della muratura in funzione degli intervalli di sollecitazione, calcolati nella prima fase di carico di ogni ciclo;
- tabella e diagramma riportante l'andamento del rapporto fra deformazione trasversale e deformazione assiale (coefficiente di dilatazione) in funzione della sollecitazione.

Nella Tavola 1 in Appendice A è riportata l'ubicazione di tutte le prove. Il campione di muratura in corrispondenza delle prove è stato sottoposto a cicli di carico e scarico protratti fino a livelli massimi di sollecitazione gradualmente crescenti, mantenendo un valore del carico di fondo pari a 0.2 MPa.



I moduli di deformabilità secante della muratura in funzione del livello di sollecitazione sono riassunti nelle Tabelle 2, 3, 4 successive.

Si è ritenuto opportuno omettere il calcolo del modulo di deformabilità relativamente all'intervallo di sollecitazione 0.0÷0.4 MPa poiché questo intervallo risulta scarsamente rappresentativo.

MD1	
Sollecitazioni	Modulo di deformabilità
σ (MPa)	E (MPa)
0.4 - 0.8	7692.3
0.8 - 1.2	8333.3
1.2 - 1.6	6666.7
1.6 - 2.0	8333.3
2.0 - 2.4	7692.3
2.4 - 2.7	7500.0
2.7 - 3.2	7500.0
3.2 - 3.6	6250.0
3.6 - 4.1	6617.6

TABELLA 2

MD4	
Sollecitazioni	Modulo di deformabilità
σ (MPa)	E (MPa)
0.4 - 0.8	9090.9
0.8 - 1.2	6666.7
1.2 - 1.6	7142.9
1.6 - 2.0	9090.9
2.0 - 2.4	5263.2
2.4 - 2.7	5357.1
2.7 - 3.6	6081.1

TABELLA 3

MD6

Sollecitazioni	Modulo di deformabilità
σ (MPa)	E (MPa)
0.4 - 0.8	7142.9
0.8 - 1.2	6666.7
1.2 - 1.6	6666.7
1.6 - 2.0	5633.8
2.0 - 2.4	6153.8
2.4 - 2.7	6818.2
2.7 - 3.2	5357.1
3.2 - 3.6	5113.6
3.6 - 4.1	4166.7
4.1 - 4.5	4891.3

TABELLA 4

Le murature indagate sono caratterizzate da valori elevati del modulo di deformabilità, mediamente compresi tra 6200 e 7750 MPa. Nella Figura 15 è riportato l'istogramma relativo ai moduli elastici determinati relativamente ad intervalli di sollecitazione inferiori al massimo valore di sollecitazione misurato in sito, pari a 2.7 MPa.

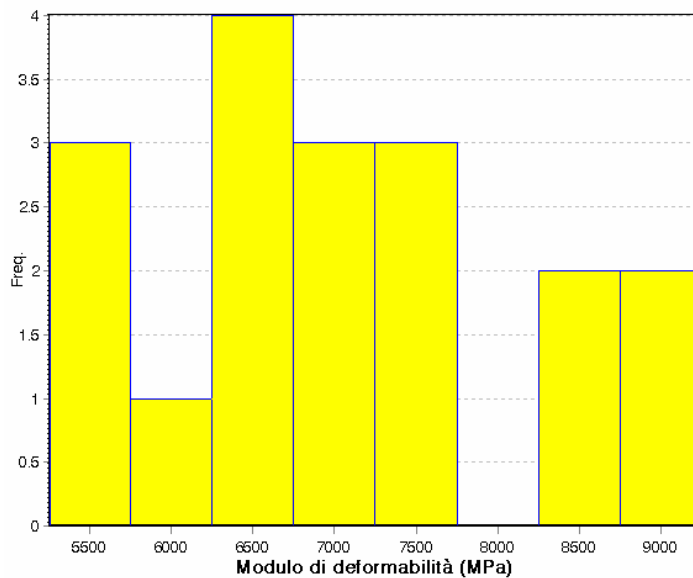


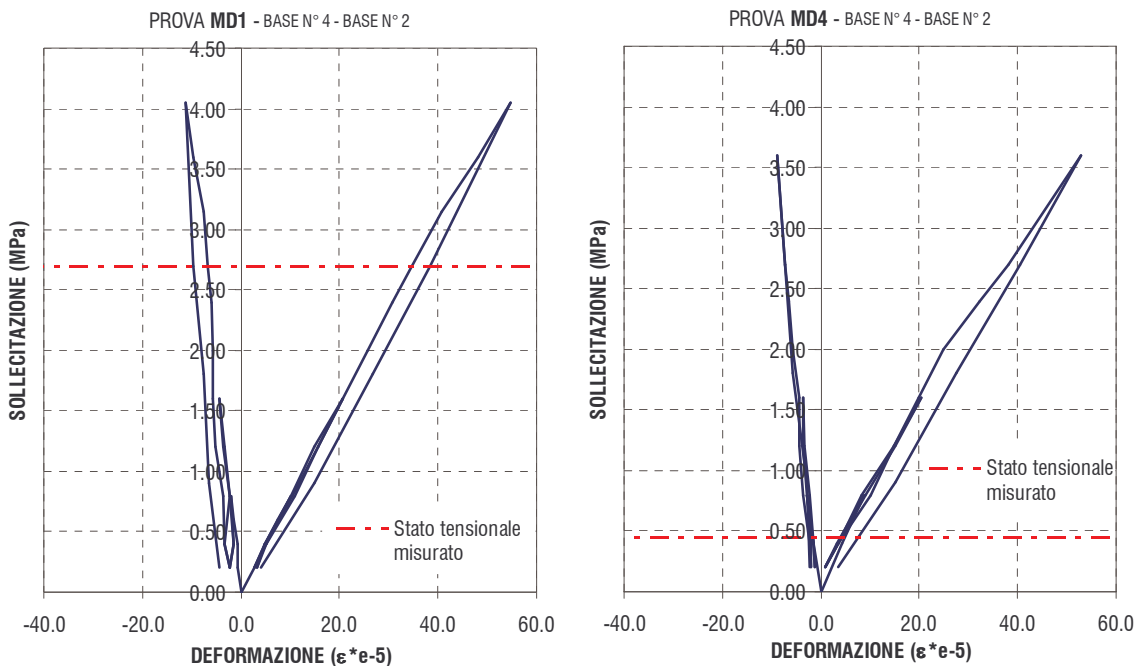
Figura 15. Distribuzione dei moduli di deformabilità determinati relativi ad intervalli di sollecitazione inferiori a 2.7 MPa (massimo valore di sollecitazione misurato in sito)

Nella Figura 16 sono riportati i diagrammi deformazioni – sollecitazioni assiali e trasversali per le tre prove eseguite, confrontate con lo stato tensionale misurato.

Nei legami costitutivi determinati per la muratura in esame non si osservano, per i livelli di sollecitazioni raggiunti nel corso delle prove, significativi scostamenti dalla linearità.

Si segnala per la prova MD4 un abbassamento dei moduli di deformabilità da valori superiori a 7000 MPa a valori compresi fra 5000 e 6000 MPa a partire dal livello di sollecitazione pari a 2.0 MPa.

Per la prova MD6 i valori dei moduli sono inferiori a partire da livelli di sollecitazione di 2.6 MPa. Il valore minimo di dei moduli registrati è pari a 4166 MPa.



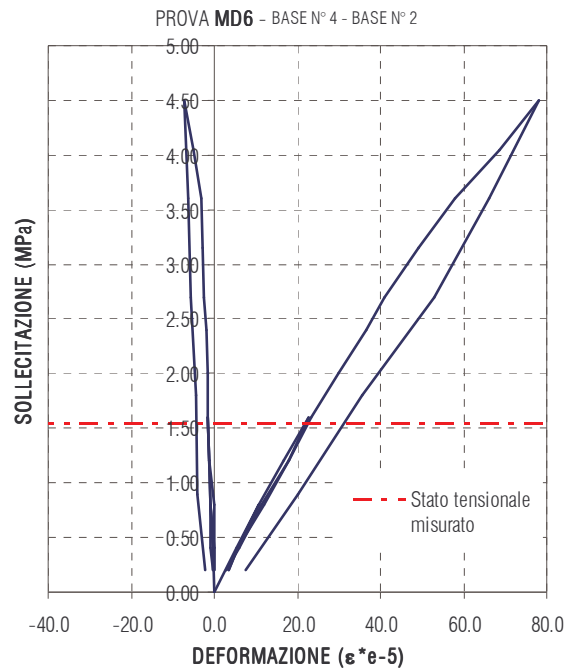


Figura 16. Prove con martinetti piatti paralleli. Diagrammi deformazioni – sollecitazioni assiali e trasversali e indicazione del livello di sollecitazione misurato in sito dalle prove con martinetto piatto singolo.

3. PROVE DI LABORATORIO

3.1. ANALISI CHIMICHE, FISICHE, PETROGRAFICHE

3.1.1 Campionamento

Nel corso dei carotaggi sono stati prelevati alcuni campioni per l'esecuzione di analisi chimiche fisiche e petrografiche.

I campioni, prelevati nel corso dei carotaggi, sono stati identificati come segue.

- SD-C2: malta di allettamento dal sondaggio C2 alla profondità 0.0÷0.30 m
- SD-C3: malta di allettamento dal sondaggio C3 alla profondità 0.7÷1.00 m
- SD-SG: malta di allettamento dal sondaggio S1 alla profondità 8.60÷8.80 m

Sui campioni sono state eseguite le seguenti indagini:

- Analisi termogravimetrica TG-DTA
- Porosimetria a pressione di mercurio
- Analisi petrografica a luce trasmessa polarizzata
-

3.1.2 Risultati analitici

3.1.2.1 Analisi termogravimetrica (TG-DTA)

L'analisi termogravimetrica misura le variazioni di peso del campione al crescere della temperatura nell'intervallo tra 20°C e 1000°C e fornisce informazioni sulla stabilità termica dei composti, che costituiscono il campione nello stesso intervallo termico. I risultati sono rappresentati sui diagrammi termogravimetrici, riportati nelle Figure 1÷3 di Appendice F.

Attraverso i termogrammi è possibile valutare il numero e la natura degli eventi termici, la temperatura alla quale avvengono, la loro entità e se gli eventi sono endotermici o esotermici. La comparazione con curve campione, fornisce notizie semi-quantitative sulla natura chimica delle molecole coinvolte dall'evento termico.

L'analisi è effettuata dopo essiccazione in stufa a 60°C per 24 ore e stabilizzazione in atmosfera ambiente. Nella tabella 5 sono riassunti i risultati analitici, mentre i termogrammi relativi sono riportati alle Figure 1÷3 di Appendice F.

Campione	umidità [%]	gesso [%]	H2O da sil. idrati [%]	acqua da Ca (OH)2	Sostanza organica [%]	CaCO3 [%]	Residuo
SD-C2	1.76	0.99	3.39	0.00	0.00	11.87	81.99
SD-C3	3.08	1.30	3.69	0.00	0.00	17.42	74.51
SD-SG	1.77	0.58	3.21	0.00	0.00	16.17	78.27
media	2.20	0.96	3.43	0.00	0.00	15.15	78.26

TABELLA 5. Analisi termogravimetrica

Dall'esame dei termogrammi delle malte emerge quanto segue:

- Il contenuto di umidità varia da 1.76% (SD-C2) a 3.08% (SD-C3) con un valore medio di 2.20%.
- Il contenuto di acqua da silicati idrati di calcio varia da 3.21% (SD-SG) a 3.69% (SD-C3) con un valore medio di 3.43%.
- Il contenuto di carbonato di calcio varia da 11.87% (SD-C2) a 17.42% (SD-C3) con un valore medio di 15.15%.
- Il residuo, che rappresenta essenzialmente la frazione silicatica dell'aggregato, varia da 74.51% (SD-C3) a 81.99% (SD-C1) con un valore medio di 78.26%.
- Il gesso varia da 0.58% (SD-SG) a 1.30% (SD-C3) con un valore medio di 0.96%.

3.1.2.2 Porosità accessibile al mercurio

La porosimetria a pressione di mercurio, per la quale si fa riferimento alla Raccomandazione NORMAL 4/80, consente di misurare la distribuzione volumetrica dei pori aperti in funzione del loro diametro. Il campione, essiccato e posto in un apposito contenitore (dilatometro), è inserito nel porosimetro dove prima è fatto il vuoto e quindi è immerso il mercurio a pressione crescente da 0.13 a 2000 Bar così da permeare i pori del campione. Lo strumento è in grado di registrare il volume di mercurio immerso nel campione ai vari valori di pressione. Il volume dei pori di un certo diametro è quindi calcolato grazie ad una funzione matematica ricavata da un opportuno modello. Si calcolano inoltre il raggio medio dei pori, il diagramma di distribuzione dei pori in funzione del raggio, la superficie specifica e la porosità accessibile al mercurio.

Nelle Figure 4÷6 di Appendice F si riassumono i principali parametri fisici determinati con questa metodologia d'indagine e l'istogramma di distribuzione percentuale dei pori, mentre nelle Tabelle 6 e 7 si riassumono i principali dati fisici determinati con questa metodologia analitica.

Campione	Volume cumulativo [mm ³ /g]	Superficie specifica [m ² /g]	Raggio medio [μm]	Σ Pori <0.01μm [%]	Σ Pori <0.1μm [%]	Σ Pori <0.5μm [%]
SD-C2	41.18	6.12	0.0403	27.52	82.56	85.03
SD-C3	33.28	4.61	0.0420	21.81	79.25	83.55
SD-SG	37.90	5.76	0.0460	32.58	78.62	84.70
Media	37.23	5.37	0.0412	24.67	80.91	84.29

TABELLA 6. Analisi porosimetrica

I risultati ottenuti mettono in evidenza che nelle malte:

- Il volume cumulativo varia da 33.28 mm³/g (SD-C3) a 41.18 mm³/g (SD-C2), con una media di 37.23 mm³/g.
- La superficie specifica varia da 4.61m²/g (SD-C3) a 6.12 m²/g (SD-C2), con una media di 5.37 m²/g.
- Il raggio medio varia da 0.0403 μm (SD-C2) a 0.0460 μm (SD-SG), con una media di 0.0412 μm.
- La quantità di pori con diametro inferiore a 0.01 μm varia da 21.81 % (SD-C3) a 32.58% (SD-SG), con una media di 24.67 %.

- La quantità di pori con diametro inferiore a $0.1 \mu\text{m}$ varia da 78.62 % (SD-SG) a 82.56% (SD-C2), con una media di 80.91 %.
- La quantità di pori con diametro inferiore a $0.5 \mu\text{m}$ varia da 83.55 % (SD-C3) a 85.03% (SD-C2), con una media di 84.29 %.

Campione	Raggio medio	Zona dei macropori ($\varnothing > 2\mu\text{m}$)	Zona dei mesopori ($\varnothing 0.1 \div 2\mu\text{m}$)	Zona dei micropori ($\varnothing < 0.1\mu\text{m}$)
SD-C2	sopra la norma	picchi a pettine	molto appiattita	molto sviluppata
SD-C3	sopra la norma	picchi a pettine	molto appiattita	molto sviluppata
SD-SG	sopra la norma	picchi a pettine	molto appiattita	molto sviluppata

TABELLA 7. Valutazione degli istogrammi di distribuzione del raggio dei pori nelle analisi porosimetriche

Gli istogrammi della distribuzione del raggio dei pori forniscono informazioni sulle condizioni di conservazione e sulla qualità dell'impasto in base al loro andamento. Nell'istogramma si possono riconoscere tre zone:

- la zona dei pori di raggio maggiore di $2 \mu\text{m}$
- la zona dei pori di raggio compreso tra $0.1 \mu\text{m}$ e $2 \mu\text{m}$
- la zona dei pori di raggio inferiore a $0.1 \mu\text{m}$

osservando le quali possono essere fatti i seguenti apprezzamenti:

- zona dei pori di raggio maggiore di $2 \mu\text{m}$
 - o picchi a pettine indicano microfratture
- zona dei pori di raggio compreso tra $0.1 \mu\text{m}$ e $2 \mu\text{m}$
 - o molto sviluppata indica dilavamento
 - o poco sviluppata si correla alle zone adiacenti molto sviluppate
 - o appiattita indica deposizione di sostanze di neoformazione o ricristallizzazione di sostanze mobilitate nel sistema
- zona dei pori di raggio inferiore a $0.1 \mu\text{m}$
 - o molto sviluppata indica ricristallizzazione di sostanze mobilizzate nel sistema
 - o poco sviluppata si correla alla zona adiacente molto sviluppata
 - o appiattita indica deposito di sostanze di neoformazione.
 - o

3.1.2.3 Analisi petrografica al microscopio ottico polarizzatore

Le analisi sono state eseguite secondo la norma UNI-Normal 12/83, su sezioni sottili preparate secondo la norma UNI-Normal 14/83. Questa tecnica d'analisi consente di valutare l'aspetto del legante, la composizione litologica e la distribuzione granulometrica dell'aggregato e la definizione di alcuni elementi che hanno notevole importanza relativamente al comportamento meccanico dei materiali, quali frequenza e dimensioni delle cavità e delle fessure, eventuale riempimento delle fratture, grado di alterazione dei materiali.

Di seguito sono riportate nel dettaglio le più interessanti osservazioni effettuate mediante il microscopio ottico polarizzatore a luce trasmessa, sui campioni di malta preparati in lamine di



20÷30 µm di spessore, mentre le schede riassuntive sono riportate alle Figure 8÷10 di Appendice F.

3.1.2.3.1 Campione SD-C2

Malta a granulometria conglomeratica fine, con alta densità dell'aggregato e distribuzione omogenea. Matrice tendenzialmente estinta a Nicol incrociati e beige a Nicol paralleli.

L'aggregato, formato da granuli ad alta sfericità subarrotondato, a composizione eminentemente silicatica, è di provenienza fluviale. Si riconoscono essenzialmente rocce del Basamento Cristallino (gneiss, micascisti, frammenti isolati di quarzo policristallino ad estinzione ondulata, plagioclasti, feldspati, lamelle di biotite e muscovite) Subordinati calcari e calcari dolomitici da micritici a sparitici.

Il legante è idraulico a tessitura sparitica e struttura disomogenea. L'adesione ai granuli è buona. Nella massa di fondo isotropa, la calcite è segregata e ricristallizzata. Sono presenti granuli alterati di cemento non reagito.

La porosità è bassa, rappresentata da vuoti sferici nella matrice.

Condizioni di conservazione: discrete.

La malta può essere classificata come MALTA DI CEMENTO.

3.1.2.3.2 Campione SD-C3

Malta a granulometria conglomeratica fine, con alta densità dell'aggregato e distribuzione omogenea. Matrice estinta a Nicol incrociati e beige a Nicol paralleli. L'aggregato, formato da granuli ad alta sfericità subarrotondato, a composizione eminentemente silicatica, è di provenienza fluviale. Si riconoscono essenzialmente rocce del Basamento Cristallino (gneiss, micascisti, frammenti isolati di quarzo policristallino ad estinzione ondulata, plagioclasti, feldspati, lamelle di biotite e muscovite) Subordinati calcari e calcari dolomitici da micritici a sparitici. Il legante è idraulico a tessitura sparitica e struttura disomogenea. L'adesione ai granuli è buona. Nella massa di fondo isotropa, la calcite è segregata e ricristallizzata. Sono presenti granuli alterati di cemento non reagito. La porosità è media, rappresentata da vuoti lobati nella matrice. Si osservano deboli segni di dilavamento.

Condizioni di conservazione: discrete.

La malta può essere classificata come MALTA DI CEMENTO.

3.1.2.3.3 Campione SD-SG

Malta a granulometria conglomeratica fine, con alta densità dell'aggregato e distribuzione omogenea. Matrice estinta a Nicol incrociati e beige a Nicol paralleli. L'aggregato, formato da granuli ad alta sfericità subarrotondato, a composizione eminentemente silicatica, è di provenienza fluviale. Si riconoscono essenzialmente rocce del Basamento Cristallino (gneiss, micascisti, frammenti isolati di quarzo policristallino ad estinzione ondulata, plagioclasti, feldspati, lamelle di biotite e muscovite) Subordinati calcari e calcari dolomitici da micritici a sparitici. Il legante è idraulico a tessitura sparitica e struttura disomogenea. L'adesione ai granuli è buona. Nella massa di fondo isotropa, la calcite è segregata e ricristallizzata. Sono presenti granuli alterati di cemento non reagito. La porosità è media, rappresentata da vuoti lobati nella matrice. Si osservano deboli segni di dilavamento.

Condizioni di conservazione: discrete.

La malta può essere classificata come MALTA DI CEMENTO.



3.1.3 Sintesi dei risultati

Dalle analisi eseguite è stato possibile ricavare indicazioni sulla natura, sulla composizione e sullo stato di conservazione dei materiali.

3.1.3.1 *La composizione delle malte*

I campioni di malta analizzati sono molto simili tra loro e sono costituiti da malta a granulometria conglomeratica fine, costituita da aggregato di provenienza fluviale, di natura eminentemente silicatica e da cemento. La massa di fondo appare estinta a Nicol incrociati, alterazione comune nei calcestruzzi molto datati. Nella massa di fondo si osserva la segregazione e la ricristallizzazione della calcite di reazione.

Dall'analisi termogravimetrica, che permette di valutare la quantità di cemento ancora efficace si ricava che tale quantità è mediamente di circa 210 kg/mc.

3.1.3.2 *Lo stato di conservazione*

Lo stato di conservazione è spesso ritenuto sinonimo dello stato di degrado. In realtà la conservazione è relativa alla conformità con le condizioni originali, mentre il degrado è in rapporto alla perdita delle proprietà (di aggregazione, di adesione, di resistenza meccanica, ecc.) di una malta. Le modificazioni delle condizioni originali possono essere motivo di degrado, solo quando comportano una perdita delle proprietà originali. Il pacchetto di analisi, al quale sono state sottoposte le malte, serve a definire lo stato di conservazione e a conoscere lo stato di degrado e le sue cause.

Per apprezzare lo stato di conservazione delle malte sono stati valutati vari fattori:

- L'analisi petrografica attraverso l'osservazione delle caratteristiche della matrice, dello stato di adesione della matrice all'aggregato, la presenza di minerali di neoformazione, la forma dei vuoti.
- La resistenza meccanica residua.
- La porosimetria a mercurio.
- La presenza di specie chimiche estranee al sistema.

L'analisi petrografica ha messo in evidenza che nella matrice, che è estinta, sono presenti cristalli di calcite, indice di fenomeni di vetrificazione e segregazione, con conseguente ricristallizzazione della calce di reazione. La porosità è da bassa a media, rappresentata da vuoti sferici, talvolta lobati, indice di debole dilavamento. Questi elementi sono tipici delle malte cementizie molto datate, ma in condizioni di conservazione generalmente discrete.

L'analisi termogravimetrica non evidenzia la presenza di specie chimiche estranee al sistema. Si osserva unicamente la presenza di gesso (mediamente 0.96%), che è dovuta in parte alla composizione del cemento (circa 0.6% del totale) e per il rimanente a fenomeni di alterazione da inquinamento.

Per la valutazione dello stato di conservazione si fa uso, in aggiunta alle analisi già note, di un diagramma interpretativo della porosimetria a pressione di mercurio (L. Cimitan et alii – Utilizzo della porosimetria a mercurio nell'analisi delle malte storiche, Giornate di studio sulla porosimetria a mercurio, Roma 17÷18 nov. '00 - Atti del convegno). In questo diagramma s'individuano come condizioni di normalità un raggio medio compreso in un intervallo definito (individuato dalle rette verticali in nero nel diagramma), al quale corrispondono la quantità di pori inferiori a 0.01µm (micropori) definita dalla curva inferiore, la quantità di pori inferiori a 0.1µm (mesopori) definita dalla curva mediana e la quantità di pori inferiori a 0.5µm (macropori) definita dalla

curva superiore, in prossimità dei quali devono collocarsi le rispettive sommatorie di ciascun punto. Il campione è rappresentato, quindi, da una barra verticale, che individua il raggio e da tre punti della barra stessa (le due estremità ed un punto intermedio) che individuano i tre valori caratteristici.

Si riporta nella Figura 17 il diagramma di valutazione in base alla distribuzione del raggio dei pori:

In riferimento a quanto richiesto dalle condizioni di normalità, nel digramma si osserva un raggio medio più basso ed un eccesso di pori inferiori a $0.1\mu\text{m}$.

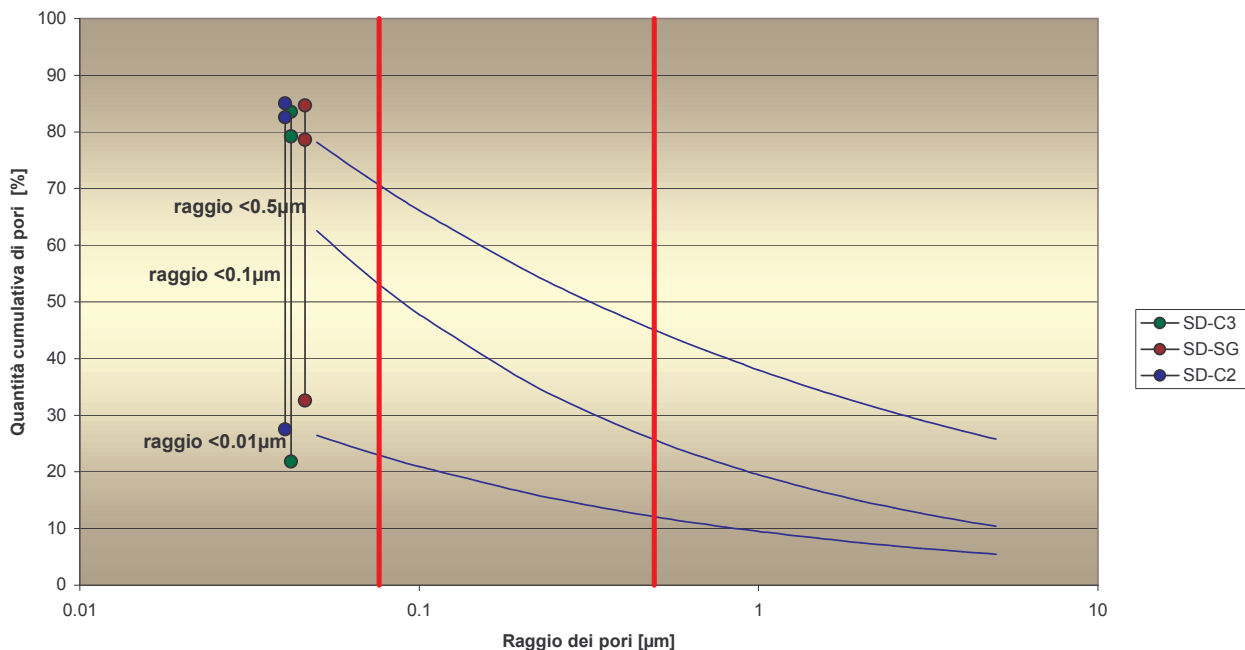


Figura 17. Diagramma interpretativo dei dati porosimetrici

L'alterazione è associata alla segregazione e ricristallizzazione della calce di reazione delle matrici cementizie.

Si conclude, quindi, che le alterazioni riscontrate nei campioni esaminati sono coerenti con la loro età e sono dovute alla degenerazione generalmente osservata nelle malte cementizie

Si ritiene che le malte osservate siano in discrete condizioni di conservazione e abbiano un buon margine di durabilità.

3.2. PROVE MECCANICHE

3.2.1 Prove di resistenza alla compressione

Sui campioni prelevati nel corso dei carotaggi sono state eseguite le seguenti prove meccaniche:

- n° 4 prove di resistenza a compressione su provini cubici di malta
- n° 3 prove di resistenza a compressione su provini cubici di laterizio
- n° 3 prove di resistenza a compressione su provini cubici di muratura

I campioni sono elencati nel seguito:

sondaggio C2

- SD-C2/1: provino di malta tra 2 mattoni per prove di resistenza a compressione
- SD-C2/2: provino di malta tra 2 mattoni per prove di resistenza a compressione
- SD-C2/3: provino di malta tra 2 mattoni per prove di resistenza a compressione

sondaggio C3

- SD-C3/1: provino laterizio per prove di resistenza a compressione

sondaggio S1

- SD-SG/1: provino laterizio per prove di resistenza a compressione
- SD-SG/2: provino laterizio per prove di resistenza a compressione
- SD-SG/3: provino malta per prove di resistenza a compressione
- SD-SG/4: provino malta per prove di resistenza a compressione
- SD-SG/5: provino malta per prove di resistenza a compressione
- SD-SG/6: provino malta per prove di resistenza a compressione

Dai campioni prelevati nel corso dei carotaggi meccanici sono stati ricavati provini cubici di malta di dimensioni circa 32 x 32 x 32 mm mediante taglio e rettifica del campione. I provini sono mostrati nella Figura 18.

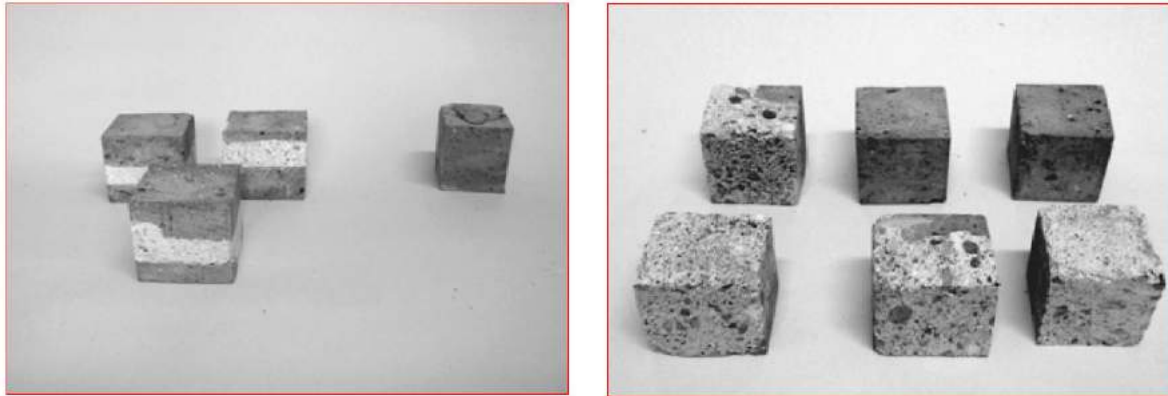


Figura 18: A sinistra i provini della serie SD-C2 (a sinistra) e il provino di laterizio della serie SD-C3 (a destra). Nella foto di destra i provini di malta e laterizio della serie SD-SG.

I provini sono stati sottoposti a prova di compressione secondo lo schema indicato nella Figura 19 seguente.

Sono stati sottoposti a prova 4 provini di malta di allettamento, 3 provini di laterizio e 3 provini formati da uno strato di malta di allettamento compreso tra due strati di laterizio. Nella figura 7 si riporta la documentazione fotografica dei campioni prima della prova e nella tabella 4 si riportano i risultati delle prove.

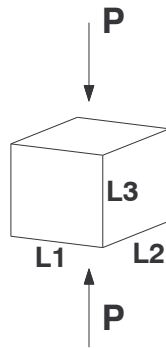


Figura 19: Schema di applicazione del carico

i risultati sono riassunti nella Tabella 8 seguente:

Malta

Campione	Carico di rottura	Dimensioni		σ
	[N]	L1 [mm]	L2 [mm]	[N/mm ²]
SD-SG/3	14500	32.0	32.0	14.2
SD-SG/4	13800	32.0	32.0	13.5
SD-SG/5	12400	32.0	31.5	12.3
SD-SG/6	14300	32.0	32.0	14.0
media				13.5

Laterizio

Campione	Carico di rottura	Dimensioni		σ
	[N]	L1 [mm]	L2 [mm]	[N/mm ²]
SD-C/3	17593	32.0	31.0	17.7
SD-SG/1	18980	32.5	29.5	19.8
SD-SG/2	21961	32.0	31.5	21.8
media	19511	32.2	30.7	19.8

Campione composto da due laterizi e uno strato di malta

Campione	Carico di rottura	Dimensioni		σ
	[N]	L1 [mm]	L2 [mm]	[N/mm ²]
SD-C2/1	18483	31.5	32.0	18.3
SD-C2/2	19200	32.5	32.5	18.2
SD-C2/3	18100	32.5	32.5	17.1
media				17.9

TABELLA 8. Risultati delle prove di compressione

Le prove di resistenza alla compressione hanno messo in luce:



-
- i laterizi hanno una resistenza media di 19.8 N/mm^2 ,
 - la malta cementizia ha una resistenza media di 13.5 N/mm^2 ,
 - la malta cementizia confinata tra gli strati di laterizio, ha una resistenza media di 17.9 N/mm^2 .



Appendice A

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

Oggetto:

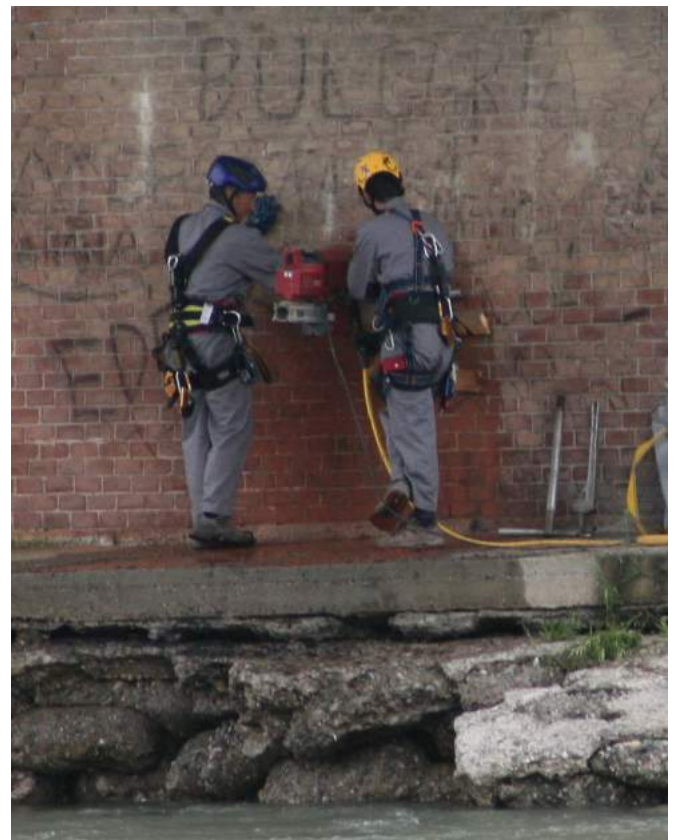
Tavola n°:

Documentazione fotografica

2



Ripresa fotografica della calata alla base della pila 2



Fasi di esecuzione del carotaggio C1 alla base della pila 2

Oggetto:

Tavola n°:

Documentazione fotografica

3



Sondaggio S1



Fasi di esecuzione del carotaggio C2 e del sondaggio S1

Oggetto:

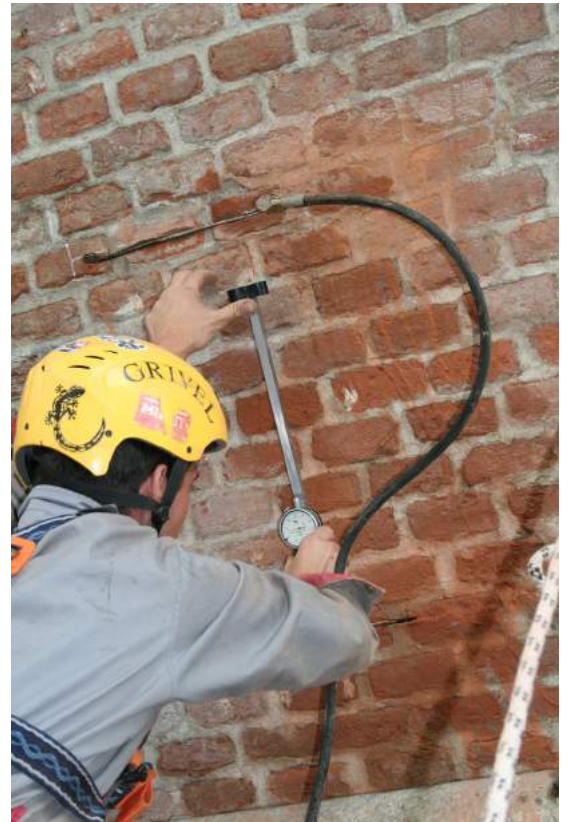
Tavola n°:

Documentazione fotografica

4



Carotaggio C2



Fasi di esecuzione delle prove con martinetti piatti M1 e MD1

Oggetto:

Tavola n°:

Documentazione fotografica

5



Carotaggio C3



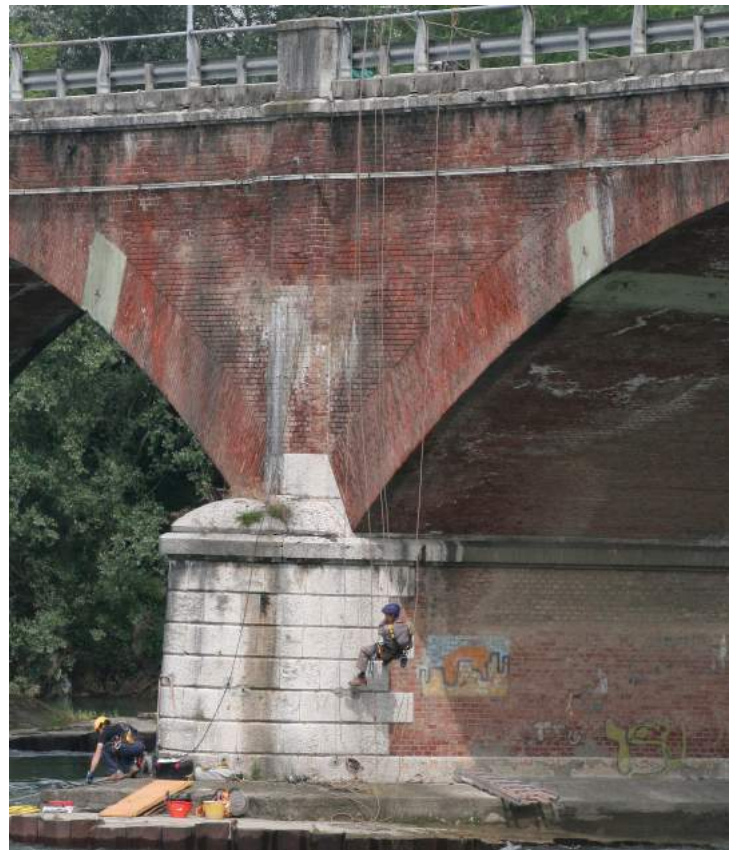
Fasi di esecuzione della prova con martinetto piatto M5

Oggetto:

Tavola n°:

Documentazione fotografica

6



Ispezione con sonda televisiva nel foro del carotaggio C1 e ripresa fotografica delle fasi di preparazione delle prove nella pila 3



Ripresa fotografica della calata alla base della pila 3

Oggetto:

Documentazione fotografica

Tavola n°:

7



Fasi preparatorie per l'esecuzione del carotaggio C4 nella pila 4



Fasi di esecuzione del carotaggio C4



Appendice B

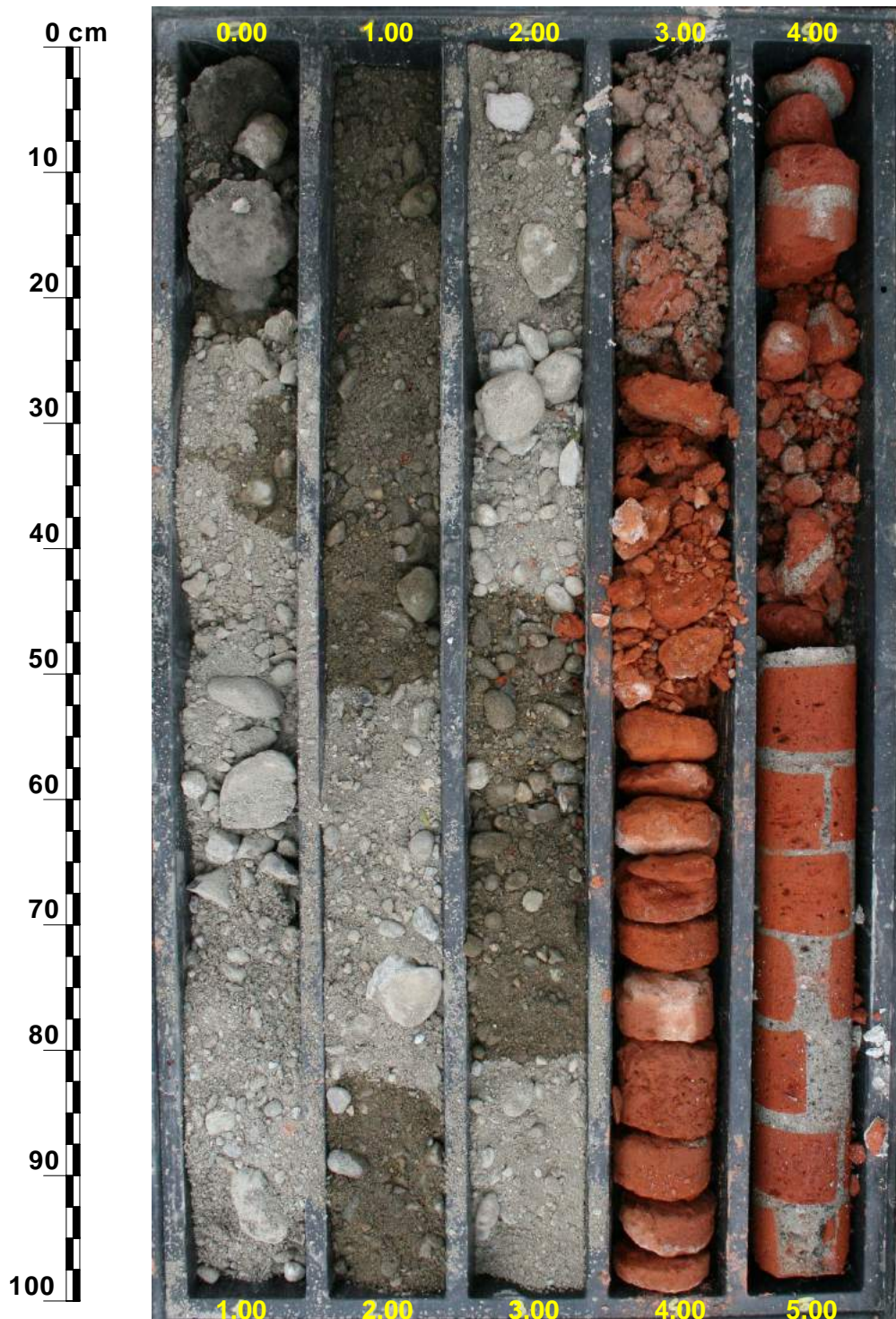
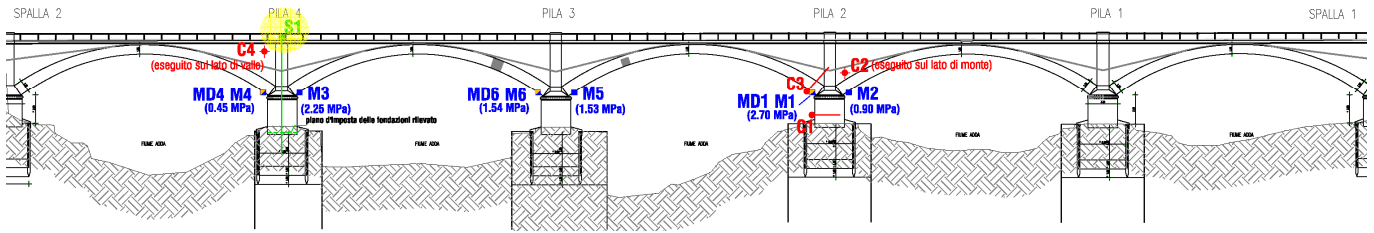
SONDAGGIO A CAROTAGGIO CONTINUO CON SONDA GEOTECNICA

Elaborati di prova

Oggetto:
Ubicazione del punto di prova e riprese fotografiche dei campioni

Carotaggio: **S1**
da 0.0 a 5.0 m da p.c.

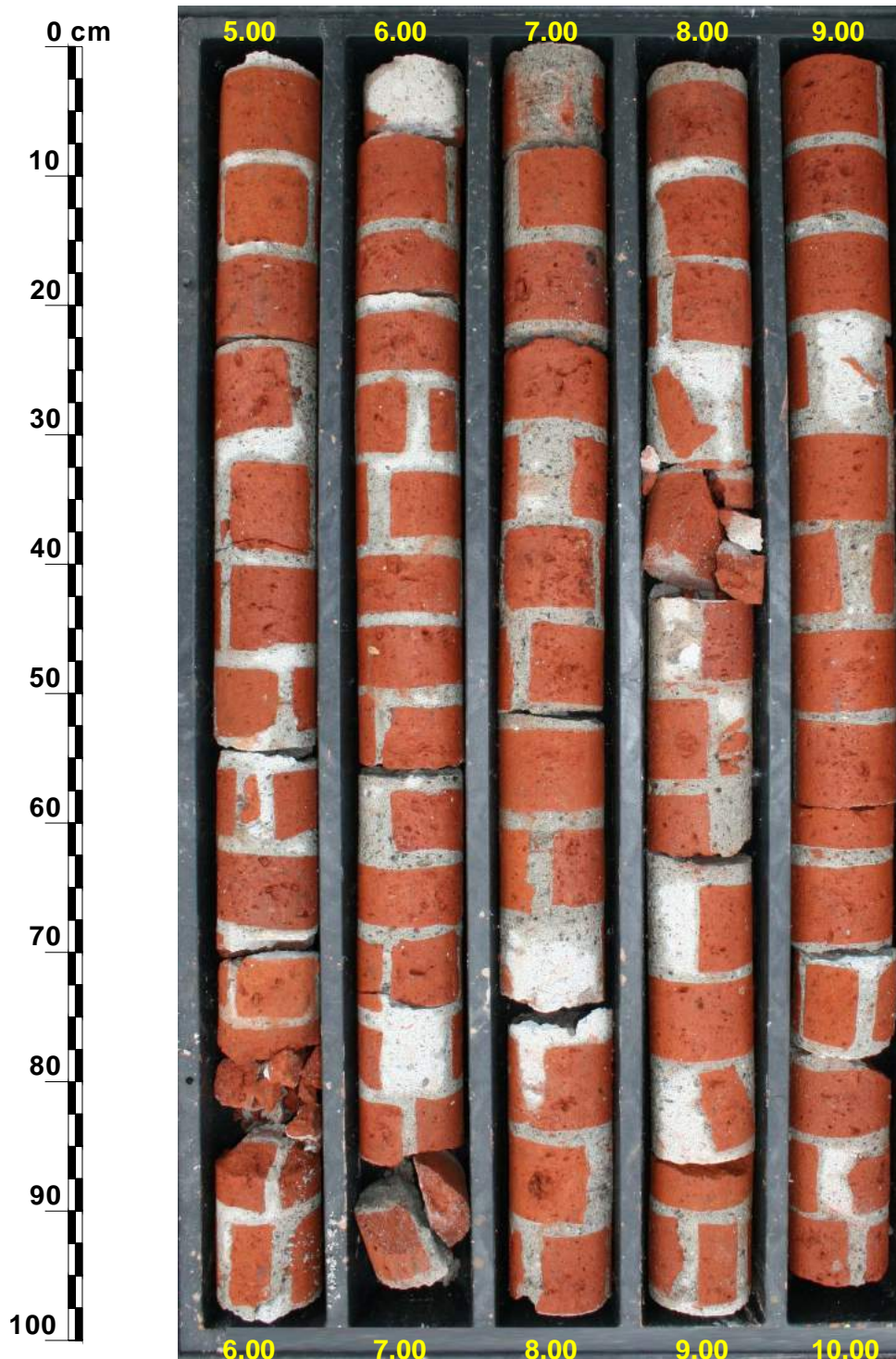
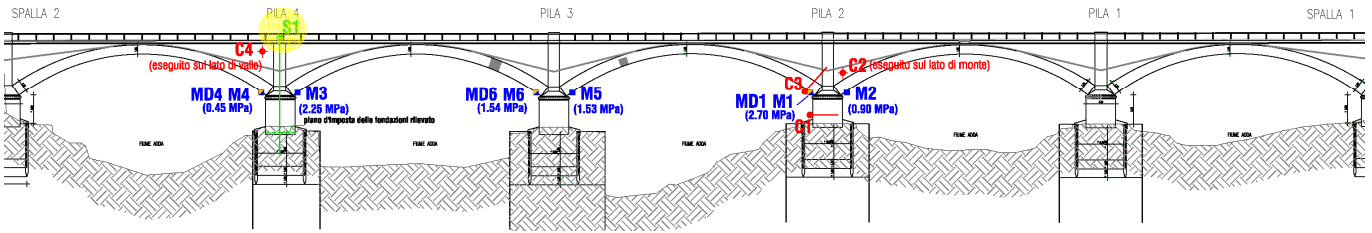
PROSPETTO STATO DI FATTO PONTE STORICO SUL FIUME ADDA (VISTA DA VALLE) _ 1:100



Oggetto:
Ubicazione del punto di prova e riprese fotografiche dei campioni

Carotaggio: **S1**
da 5.0 a 10.0 m da p.c.

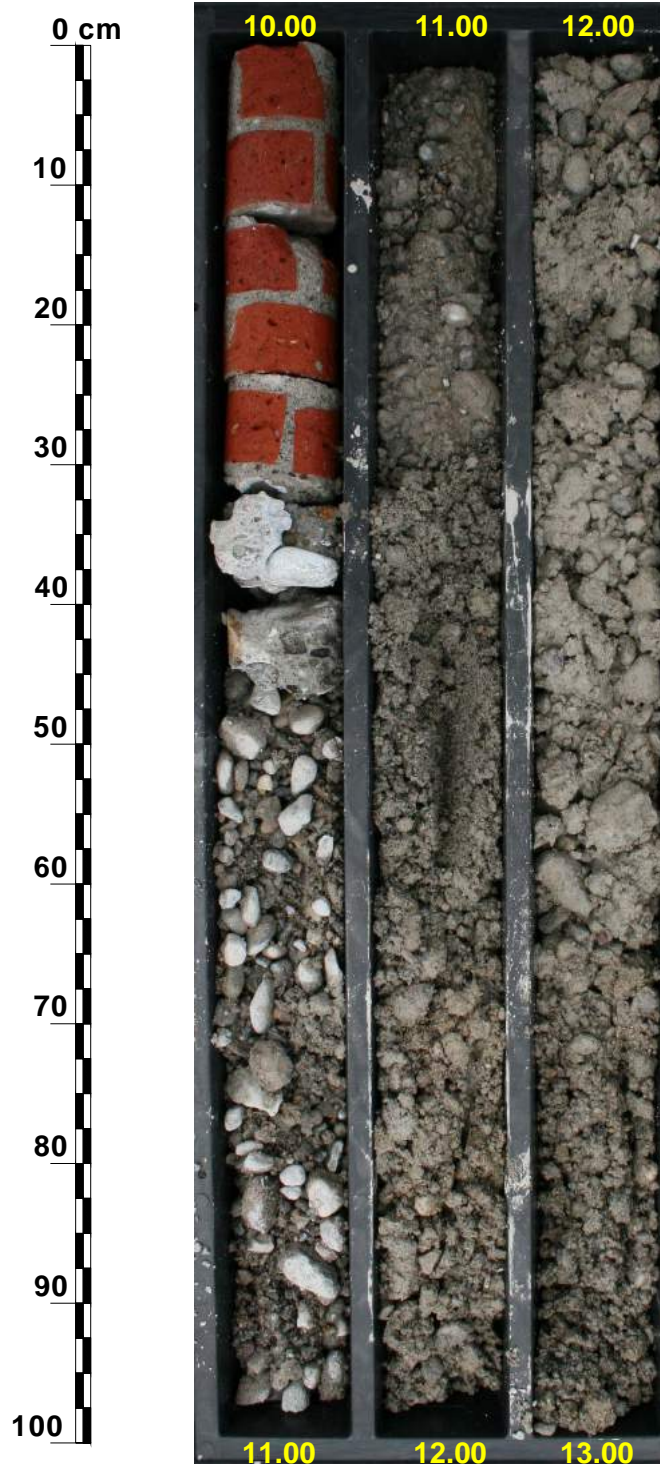
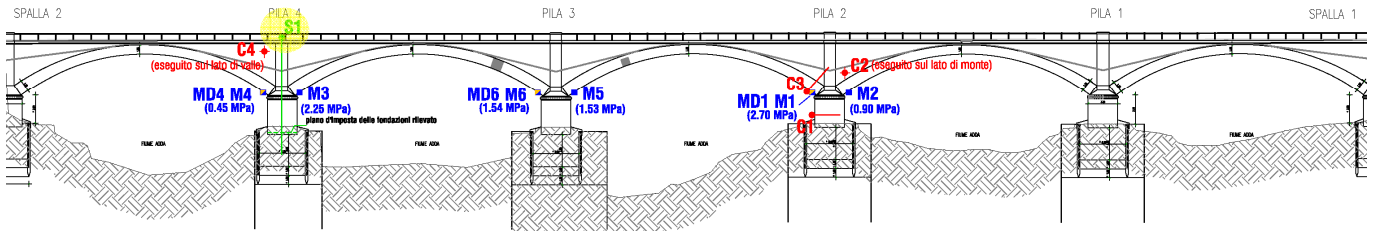
PROSPETTO STATO DI FATTO PONTE STORICO SUL FIUME ADDA (VISTA DA VALLE) _ 1:100



Oggetto:
Ubicazione del punto di prova e riprese fotografiche dei campioni

Carotaggio: **S1**
da 10.0 a 13.0 m da p.c.

PROSPETTO STATO DI FATTO PONTE STORICO SUL FIUME ADDA (VISTA DA VALLE) _ 1:100



Committente:		Carotaggio: S1
Cantiere: Ponte storico di Bisnate - Spino d'Adda		Pagina: 1
Certificato n°: sa_S1	Tipo di muratura: Muratura della pila	Sonda: Sonda geotecnica (diametro 100mm)

Scala (m)	Descrizione	Quota
1	Riempimento costituito da ghiaia e sabbia ghiaiosa e ghiaia con sabbia	
2		
3		
		3.40
	Riempimento in frammenti di laterizio	3.60
4	Muratura in laterizio con malta con scadenti caratteristiche di aggregazione	
		4.50
	Muratura omogenea in laterizio con malta con buone caratteristiche di aggregazione. Non si osservano cavità	
		5.00







--

Committente:		Carotaggio: S1
Cantiere: Ponte storico di Bisnate - Spino d'Adda		Pagina: 2
Certificato n°: sa_S1	Tipo di muratura: Muratura della pila	Sonda: Sonda geotecnica (diametro 100mm)

Scala (m)	Descrizione	Quota
6	Muratura omogenea in laterizio con malta con buone caratteristiche di aggregazione. Non si osservano cavità	
7		
8		
9		
		10.00

--

Committente:		Carotaggio: S1
Cantiere: Ponte storico di Bisnate - Spino d'Adda		Pagina: 3
Certificato n°: sa_S1	Tipo di muratura: Muratura della pila	Sonda: Sonda geotecnica (diametro 100mm)

Scala (m)		Descrizione	Quota
		Muratura omogenea in laterizio con malta con buone caratteristiche di aggregazione.	10.30
		Conglomerato cementizio	10.50
		ghiaia sabbiosa	11.00
11		ghiaia limosa e sabbiosa limosa	11.30
		sabbia limosa	12.00
12		sabbia limosa a tratti con ghiaia	13.00
13			
14			

--



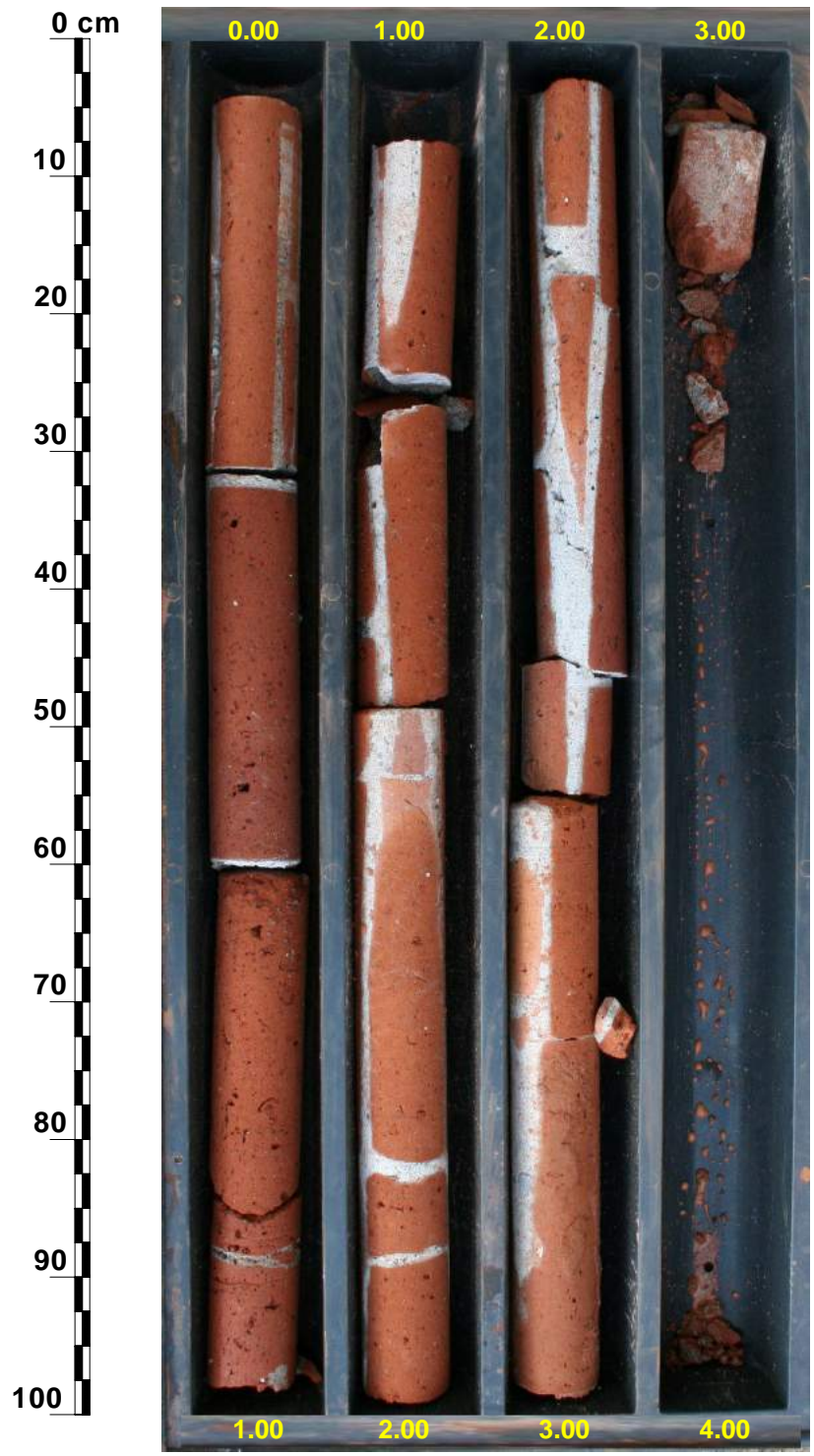
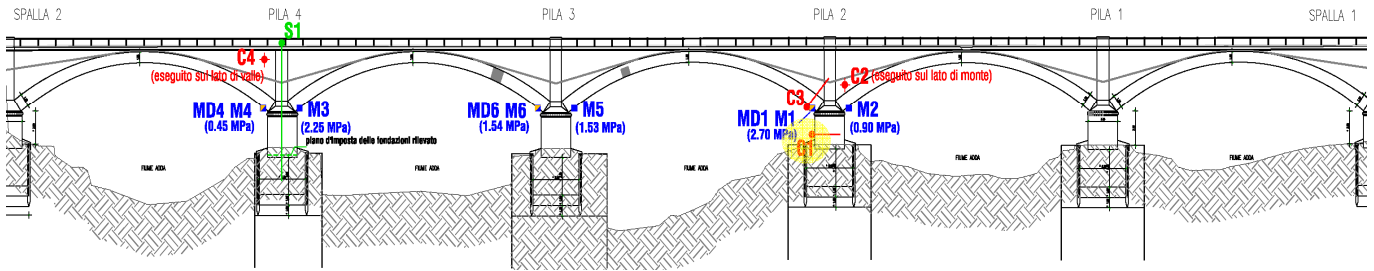
Appendice C

CAROTAGGI MECCANICI SULLE MURATURE IN ELEVAZIONE E PROSPEZIONI CON SONDA TELEVISIVA

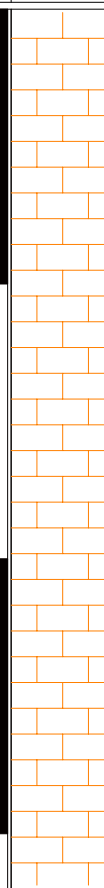
Elaborati di prova

Oggetto: Ubicazione del punto di prova e riprese fotografiche dei campioni
Carotaggio: **C1**

PROSPETTO STATO DI FATTO PONTE STORICO SUL FIUME ADDA (VISTA DA VALLE) - 1:100

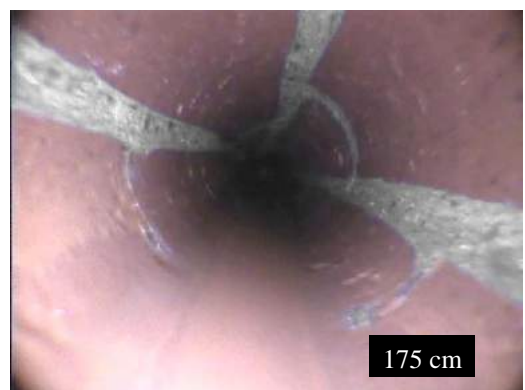
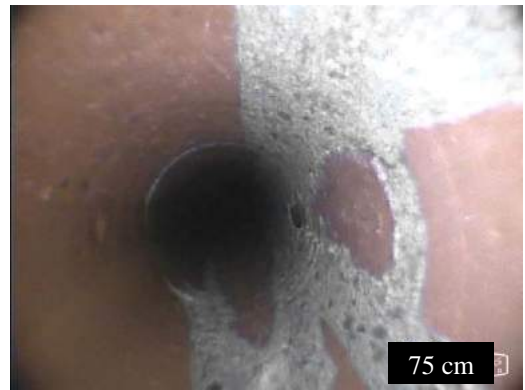
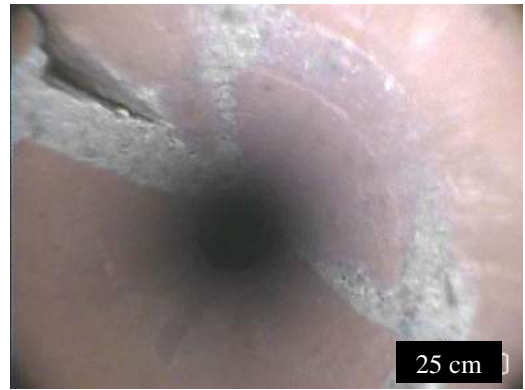


Committente:		Carotaggio: C1
Cantiere: Ponte storico di Bisnate - Spino d'Adda		Pagina: 1
Certificato n°: sa_C1	Tipo di muratura: Murature in elevazione	Sonda: Carotiere a parete sottile al diamante (diametro 76mm)

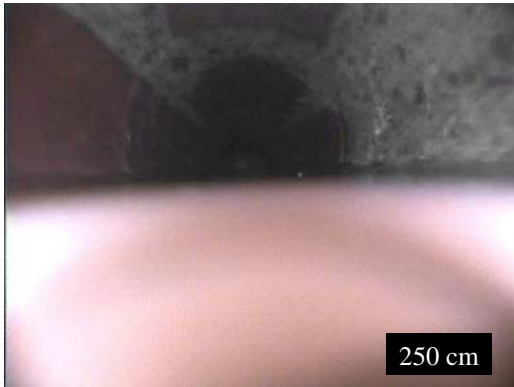
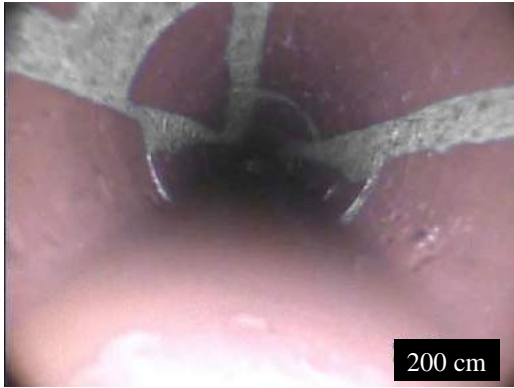
Scala (m)	Descrizione	Quota
1	<p>Muratura omogenea in laterizio con malta con buone caratteristiche di aggregazione. Non si osservano cavità</p> 	
2		
3		3.20
4		

--

Oggetto: Riprese eseguite con sonda televisiva	Attrezzatura: Telecamera a colori di diametro 25 mm	Prova: C1
---	--	---------------------



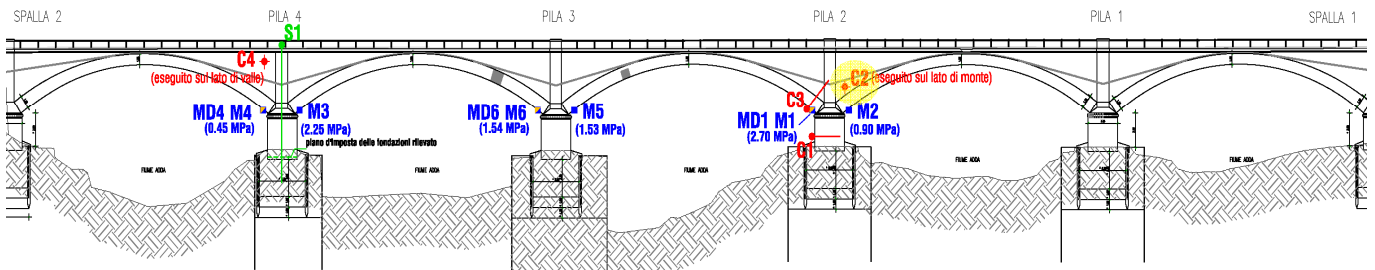
Oggetto: Riprese eseguite con sonda televisiva	Attrezzatura: Telecamera a colori di diametro 25 mm	Prova: C1
---	--	---------------------



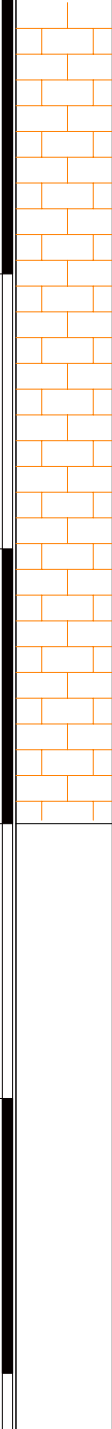
Oggetto:
Ubicazione del punto di prova e riprese fotografiche dei campioni

Carotaggio: **C2**

PROSPETTO STATO DI FATTO PONTE STORICO SUL FIUME ADDA (VISTA DA VALLE) - 1:100

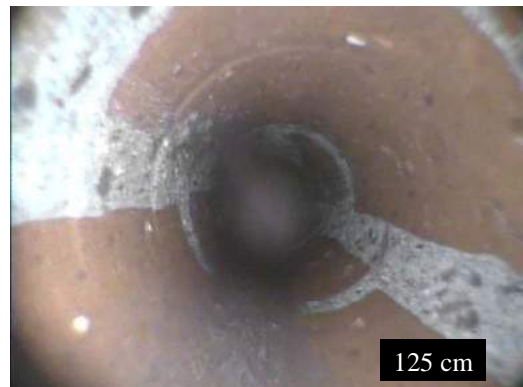
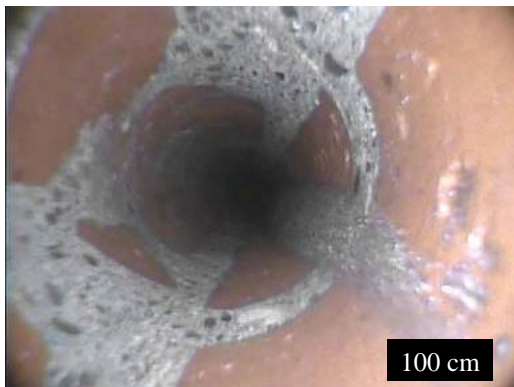
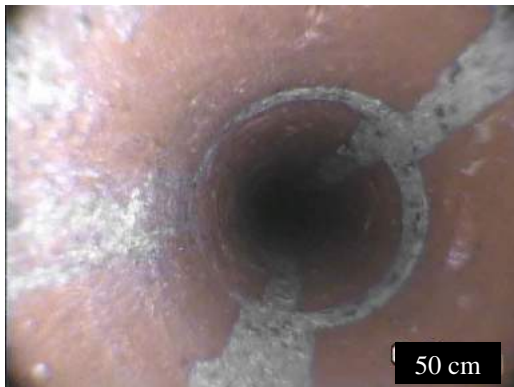
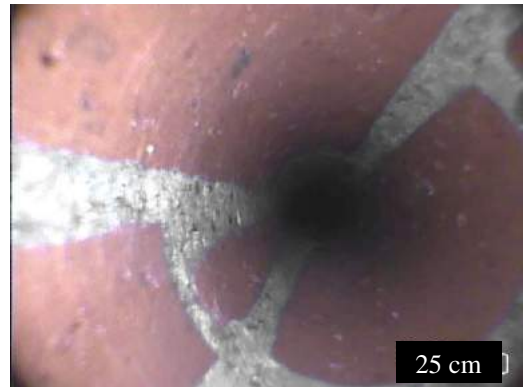
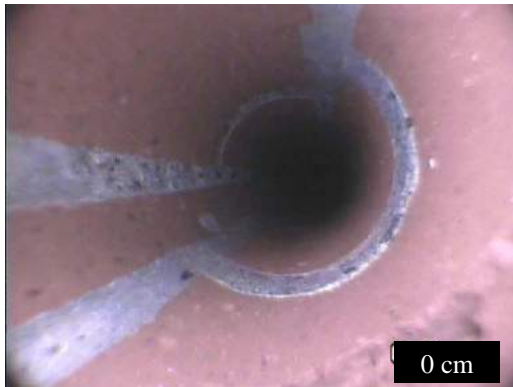


Committente:		Carotaggio: C2
Cantiere: Ponte storico di Bisnate - Spino d'Adda		Pagina: 1
Certificato n°: sa_C2	Tipo di muratura: Murature in elevazione	Sonda: Carotiere a parete sottile al diamante (diametro 76mm)

Scala (m)	Descrizione	Quota
1	<p>Muratura omogenea in laterizio con malta con buone caratteristiche di aggregazione. Non si osservano cavità</p> 	
2		
3		3.00
4		

--

Oggetto: Riprese eseguite con sonda televisiva	Attrezzatura: Telecamera a colori di diametro 25 mm	Prova: C2
---	--	---------------------

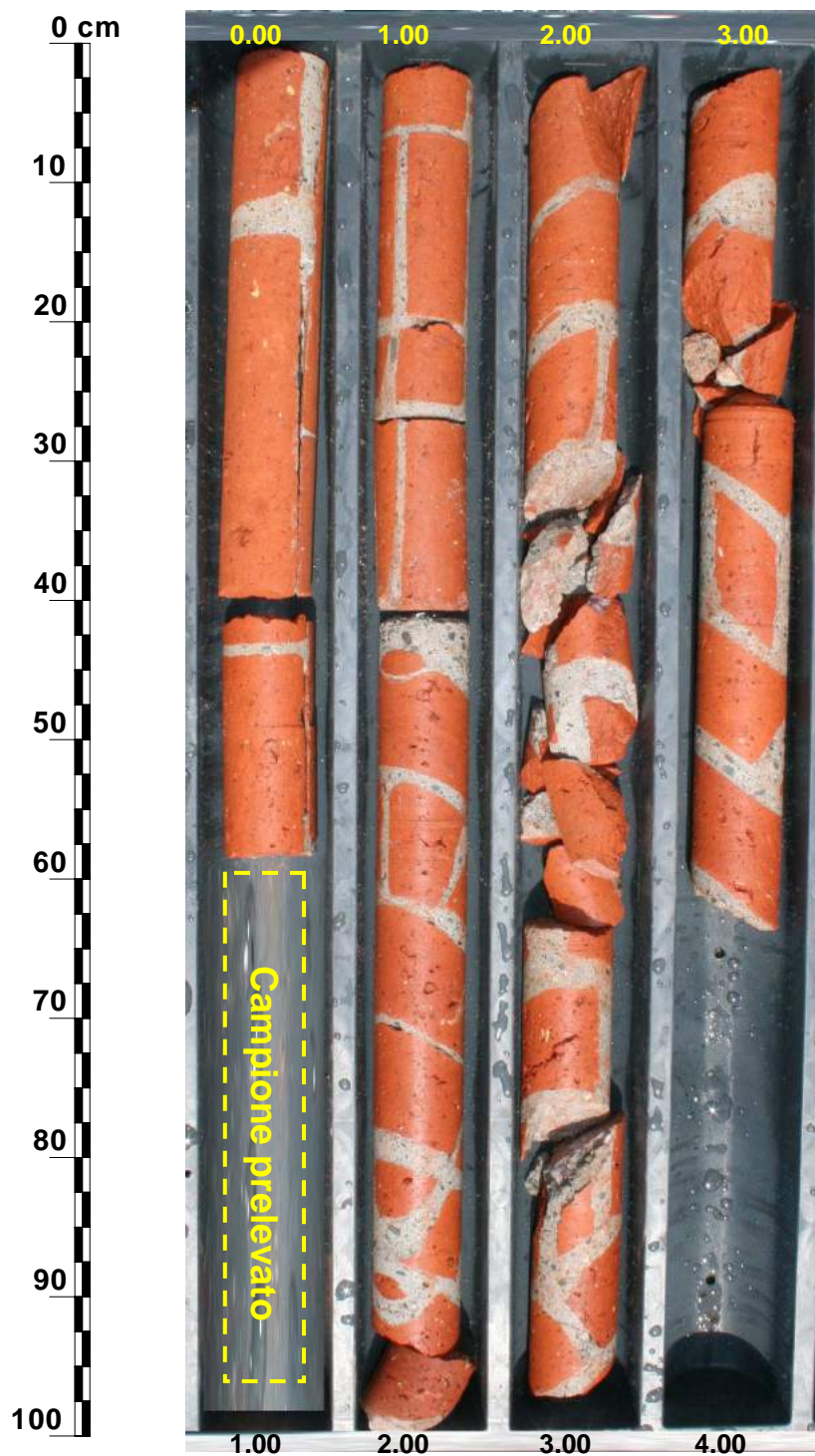
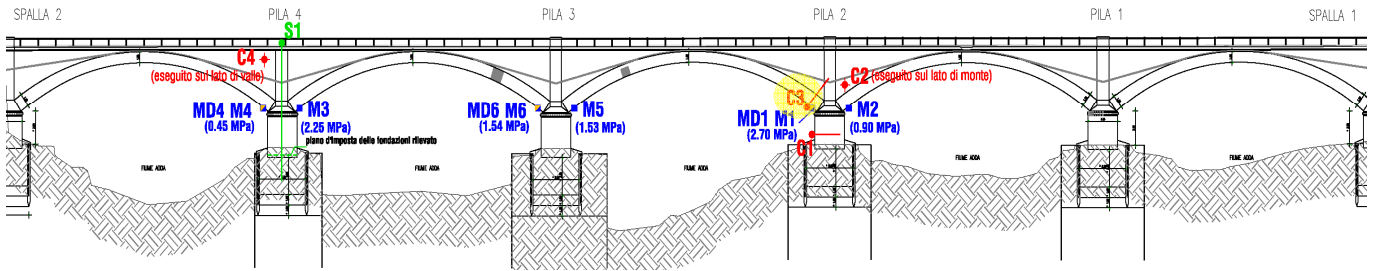


Oggetto: Riprese eseguite con sonda televisiva	Attrezzatura: Telecamera a colori di diametro 25 mm	Prova: C2
---	--	---------------------



Oggetto: Ubicazione del punto di prova e riprese fotografiche dei campioni Carotaggio: **C3**

PROSPETTO STATO DI FATTO PONTE STORICO SUL FIUME ADDA (VISTA DA VALLE) - 1:100

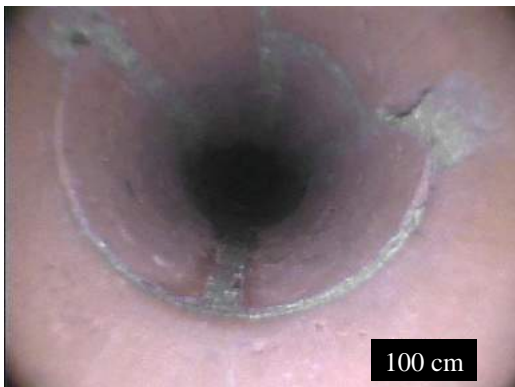
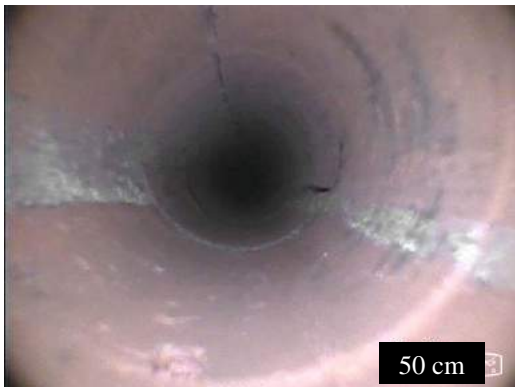
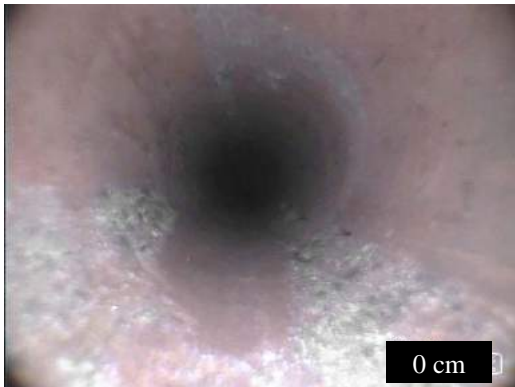


Committente:		Carotaggio: C3
Cantiere: Ponte storico di Bisnate - Spino d'Adda		Pagina: 1
Certificato n°: sa_C3	Tipo di muratura: Murature in elevazione	Sonda: Carotiere a parete sottile al diamante (diametro 76mm)

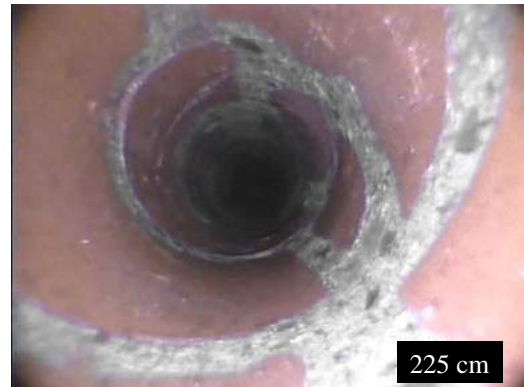
Scala (m)	Descrizione	Quota
1	Muratura dell'arco in laterizio con mattoni con giacitura radiale (parallela alla direzione del carotaggio) con malta con buone caratteristiche di aggregazione. Non si osservano cavità	1.40
2	Muratura in laterizio con mattoni con giacitura orizzontale e malta con buone caratteristiche di aggregazione. Non si osservano cavità.	3.60
3		
4		

--

Oggetto: Riprese eseguite con sonda televisiva	Attrezzatura: Telecamera a colori di diametro 25 mm	Prova: C3
---	--	---------------------

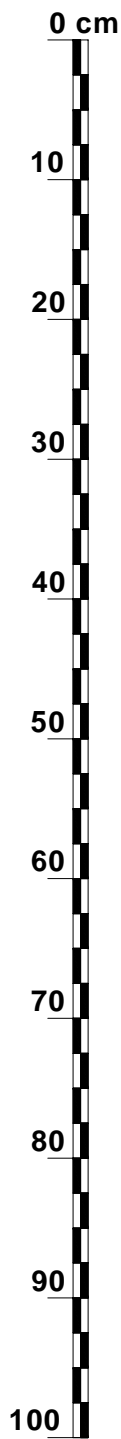
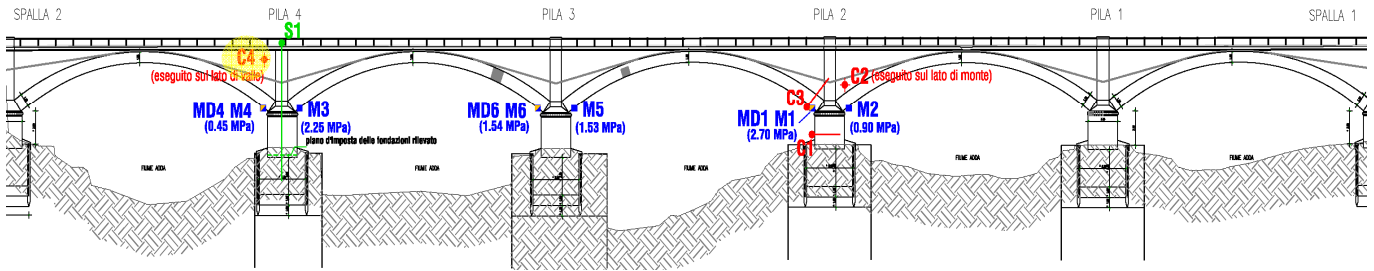


Oggetto: Riprese eseguite con sonda televisiva	Attrezzatura: Telecamera a colori di diametro 25 mm	Prova: C3
---	--	---------------------



Oggetto: Ubicazione del punto di prova e riprese fotografiche dei campioni Carotaggio: **C4**

PROSPETTO STATO DI FATTO PONTE STORICO SUL FIUME ADDA (VISTA DA VALLE) - 1:100

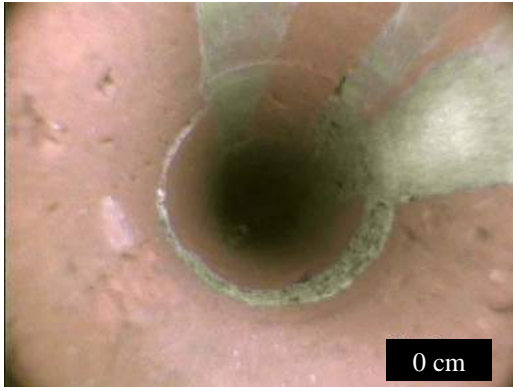


Committente:		Carotaggio: C4
Cantiere: Ponte storico di Bisnate - Spino d'Adda		Pagina: 1
Certificato n°: sa_C4	Tipo di muratura: Murature in elevazione	Sonda: Carotiere a parete sottile al diamante (diametro 76mm)

Scala (m)	Descrizione	Quota
1	Muratura in laterizio e malta con buone caratteristiche di aggregazione. Non si osservano cavità	0.90
	Riempimento in ghiaia	1.10
2		
3		
4		

--

Oggetto: Riprese eseguite con sonda televisiva	Attrezzatura: Telecamera a colori di diametro 25 mm	Prova: C4
---	--	---------------------



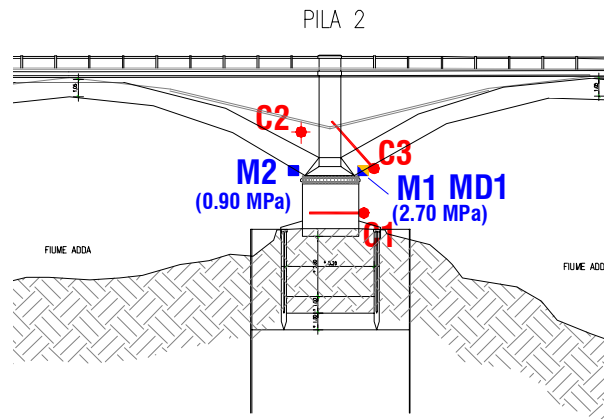
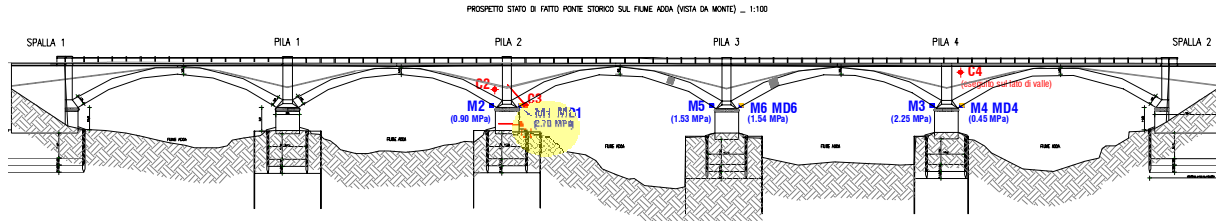


Appendice D

PROVE CON MARTINETTI PIATTI PER LA MISURA DELLO STATO TENSIONALE

Elaborati di prova

Oggetto: Ubicazione del punto di prova	Martinetto: Semicircolare: 345x255mm	Base estens. rimovibile: 200 mm	Prova n°: M1
--	---	------------------------------------	------------------------

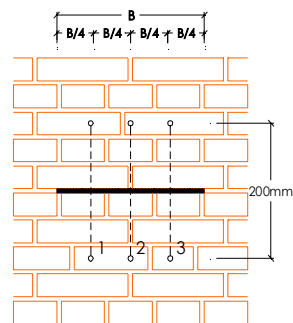


Oggetto: Tabulato completo dei risultati di prova	Martinetto: Semicircolare: 345x255mm	Base estens. rimovibile: 200 mm	Prova n°: M1
---	---	------------------------------------	------------------------

Sollecitazione misurata: 2.70 MPa

(+) COMPRESSIONE

(-) TRAZIONE



Misura N.	Tempo (minuti)	SOLLECITAZIONI MPa	SPOSTAMENTI m·E-06		
			BASE 1	BASE 2	BASE 3
FASE DI TAGLIO					
	0		0.00	0.00	0.00
	10		-85.00	-108.00	-100.00
FASE DI CARICO					
1	2	0.00	0.00	0.00	0.00
2	4	0.18	6.00	7.00	6.00
3	6	0.45	16.00	19.00	15.00
4	8	0.90	32.00	41.00	33.00
5	10	1.35	47.00	58.00	50.00
6	12	1.80	64.00	76.00	68.00
7	14	2.25	78.00	93.00	84.00
8	16	2.70	92.00	109.00	99.00
9	18	1.80	66.00	80.00	71.00
10	20	0.90	36.00	42.00	36.00
11	22	0.00	-1.00	0.00	-1.00

CURVA CARICO-SPOSTAMENTI BASE N° 2

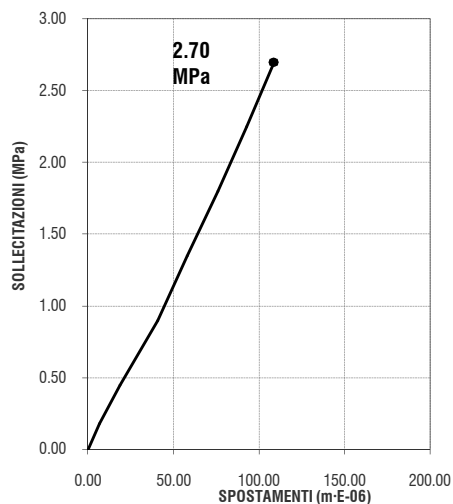
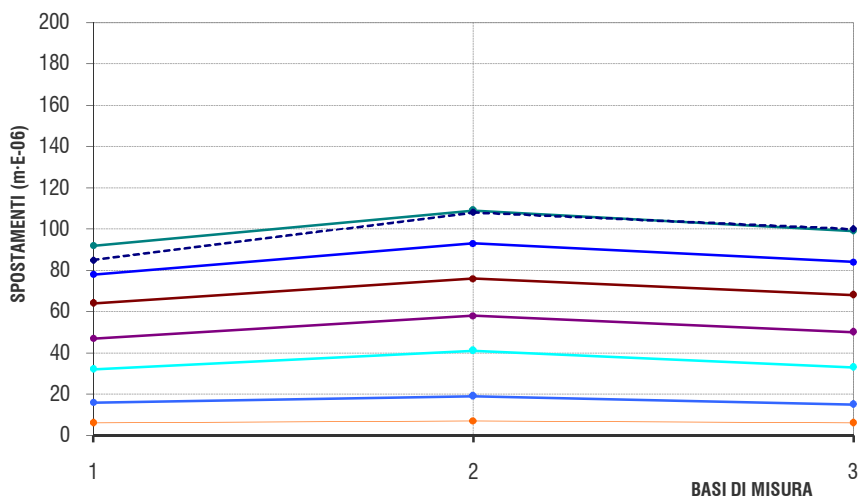
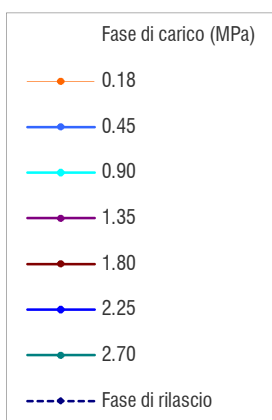
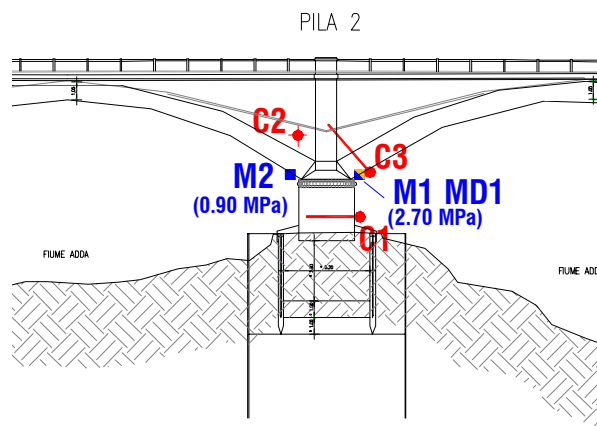
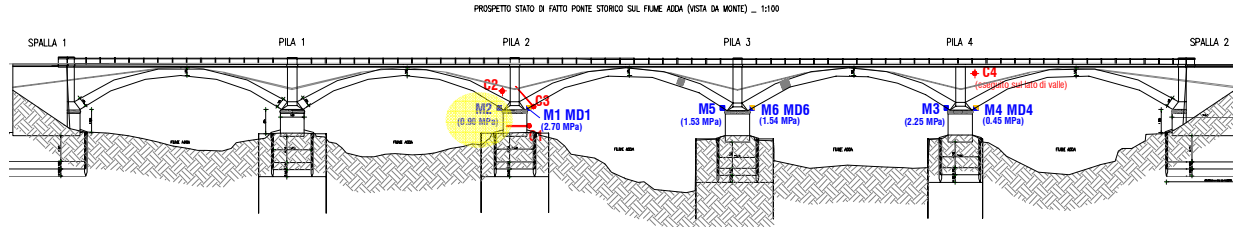


DIAGRAMMA DELLE DEFORMAZIONI IN FASE DI RILASCIO E DI CARICO



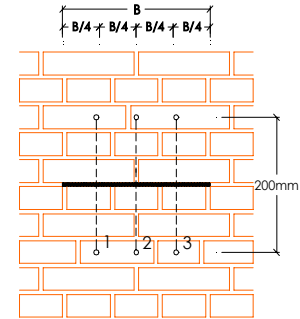
Oggetto:	Martinetto:	Base estens. rimovibile:	Prova n°:
Ubicazione del punto di prova	Semicircolare: 345x255mm	200 mm	M2



Oggetto: Tabulato completo dei risultati di prova	Martinetto: Semicircolare: 345x255mm	Base estens. rimovibile: 200 mm	Prova n°: M2
---	---	------------------------------------	------------------------

Sollecitazione misurata: 0.90 MPa

(+) COMPRESSIONE
 (-) TRAZIONE



Misura N.	Tempo (minuti)	SOLLECITAZIONI MPa	SPOSTAMENTI m-E-06		
			BASE 1	BASE 2	BASE 3
FASE DI TAGLIO					
	0		0.00	0.00	0.00
	10		-18.00	-22.00	-22.00
FASE DI CARICO					
1	2	0.00	0.00	0.00	0.00
2	4	0.18	4.00	5.00	4.80
3	6	0.36	7.00	9.00	8.70
4	8	0.54	10.00	14.00	13.80
5	10	0.72	13.00	18.00	17.10
6	12	0.90	18.00	22.00	21.80
7	14	0.72	12.00	18.00	25.00
8	16	0.36	4.00	10.00	16.00
9	18	0.00	0.00	0.00	6.00

CURVA CARICO-SPOSTAMENTI
BASE N° 2

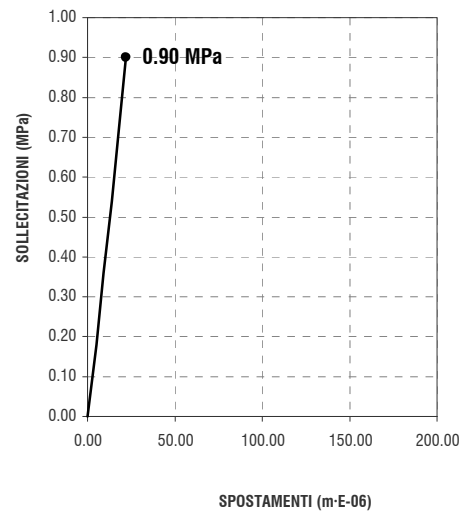
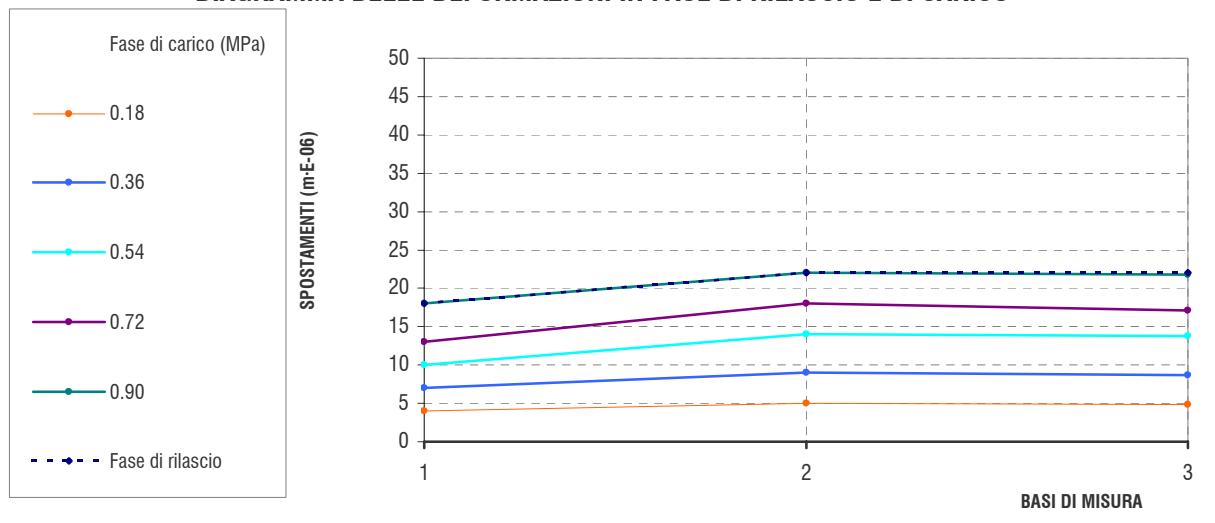
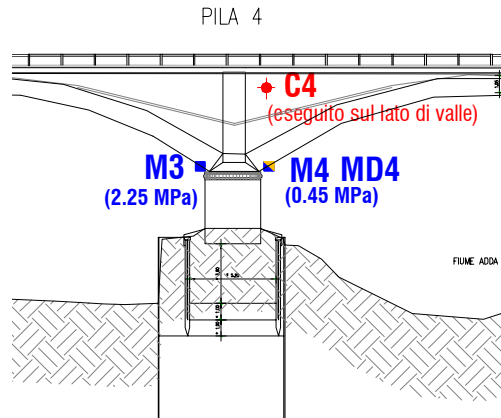
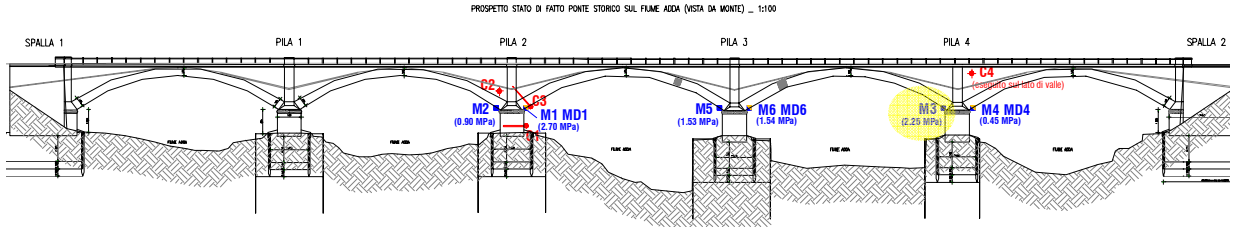


DIAGRAMMA DELLE DEFORMAZIONI IN FASE DI RILASCIO E DI CARICO



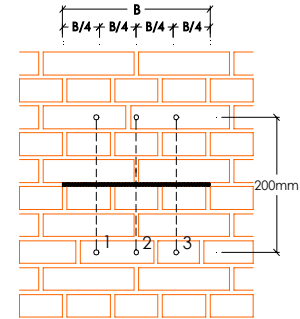
Oggetto:	Martinetto:	Base estens. rimovibile:	Prova n°:
Ubicazione del punto di prova	Semicircolare: 345x255mm	200 mm	M3



Oggetto: Tabulato completo dei risultati di prova	Martinetto: Semicircolare: 345x255mm	Base estens. rimovibile: 200 mm	Prova n°: M3
---	---	------------------------------------	------------------------

Sollecitazione misurata: 2.25 MPa

(+) COMPRESSIONE
 (-) TRAZIONE



Misura N.	Tempo (minuti)	SOLLECITAZIONI MPa	SPOSTAMENTI m-E-06		
			BASE 1	BASE 2	BASE 3
FASE DI TAGLIO					
	0		0.00	0.00	0.00
	10		-49.00	-63.00	-45.00
FASE DI CARICO					
1	2	0.00	0.00	0.00	0.00
2	4	0.45	10.00	11.00	10.00
3	6	0.90	21.00	23.00	20.00
4	8	1.35	30.00	38.00	31.00
5	10	1.80	41.00	51.00	39.00
6	12	2.25	49.00	63.00	47.00
7	14	0.90	21.00	23.00	21.00
8	16	0.45	8.00	11.00	9.00
9	18	0.00	2.00	3.00	-1.00

CURVA CARICO-SPOSTAMENTI
BASE N° 2

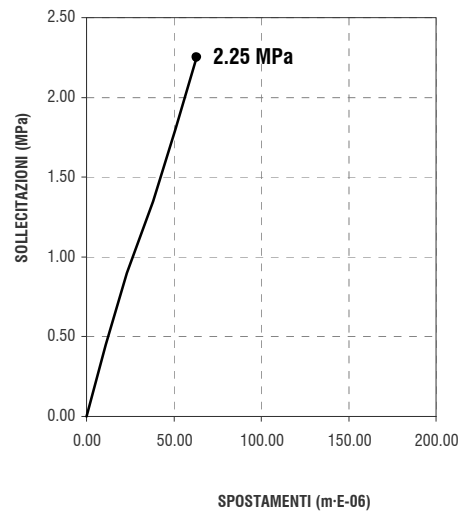
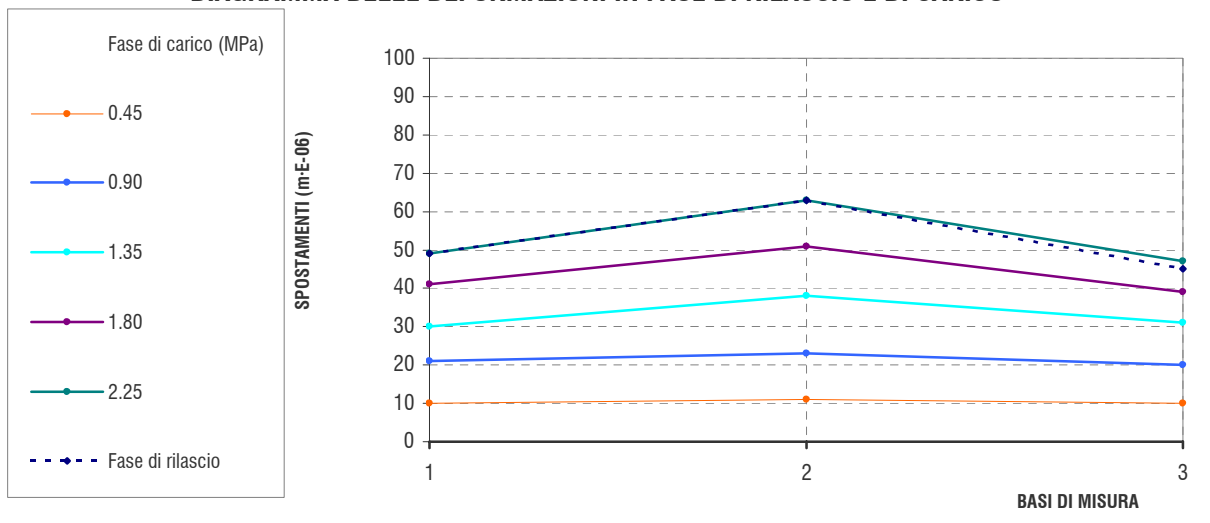
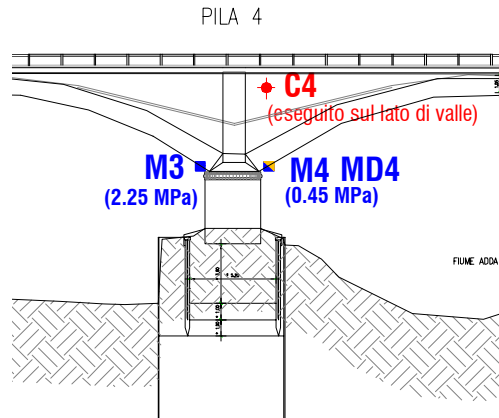
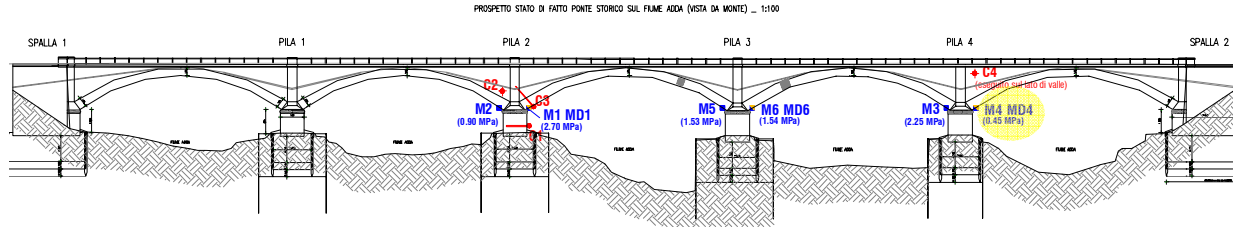


DIAGRAMMA DELLE DEFORMAZIONI IN FASE DI RILASCIO E DI CARICO



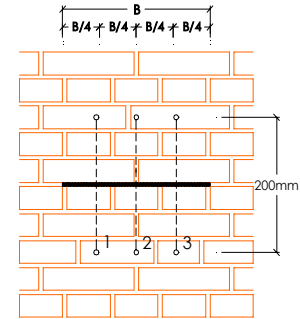
Oggetto:	Martinetto:	Base estens. rimovibile:	Prova n°:
Ubicazione del punto di prova	Semicircolare: 345x255mm	200 mm	M4



Oggetto: Tabulato completo dei risultati di prova	Martinetto: Semicircolare: 345x255mm	Base estens. rimovibile: 200 mm	Prova n°: M4
---	---	------------------------------------	------------------------

Sollecitazione misurata: 0.45 MPa

(+) COMPRESSIONE
 (-) TRAZIONE



Misura N.	Tempo (minuti)	SOLLECITAZIONI MPa	SPOSTAMENTI m-E-06		
			BASE 1	BASE 2	BASE 3
FASE DI TAGLIO					
	0		0.00	0.00	0.00
	10		-13.00	-11.00	-14.00
FASE DI CARICO					
1	2	0.00	0.00	0.00	0.00
2	4	0.18	5.00	5.00	6.00
3	6	0.45	12.00	11.00	15.00
4	8	0.18	4.00	4.00	7.00
5	10	0.00	1.00	0.00	1.00

CURVA CARICO-SPOSTAMENTI
BASE N° 2

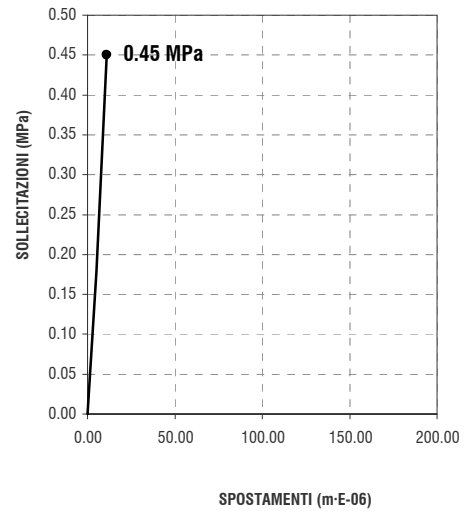
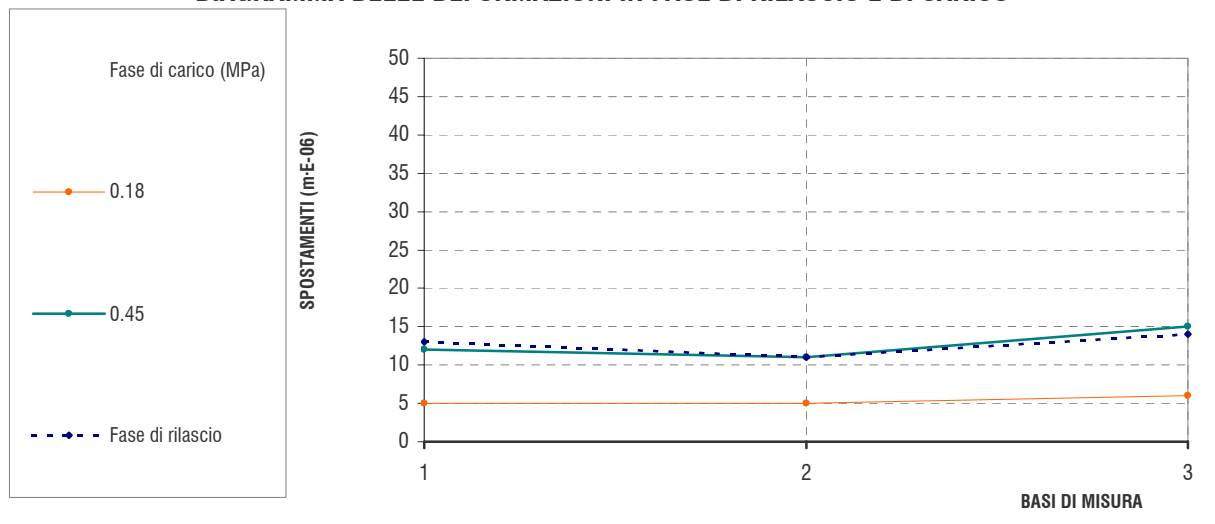
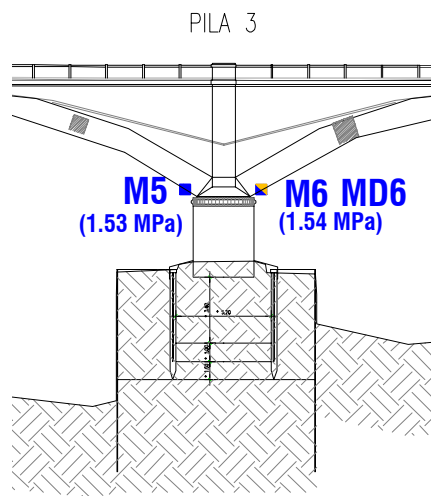
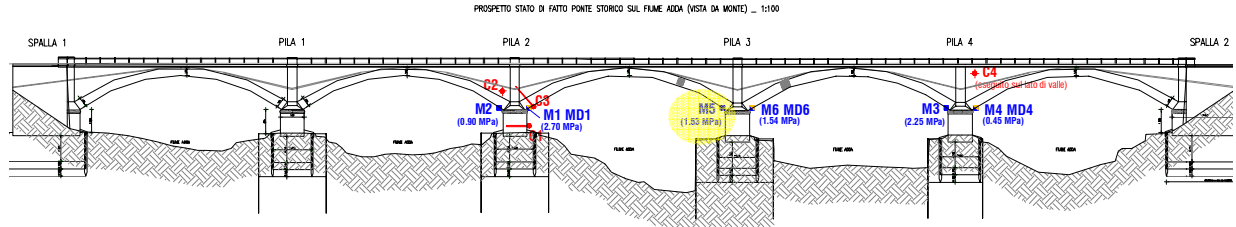


DIAGRAMMA DELLE DEFORMAZIONI IN FASE DI RILASCIO E DI CARICO



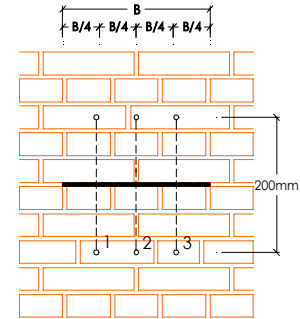
Oggetto:	Martinetto:	Base estens. rimovibile:	Prova n°:
Ubicazione del punto di prova	Semicircolare: 345x255mm	200 mm	M5



Oggetto: Tabulato completo dei risultati di prova	Martinetto: Semicircolare: 345x255mm	Base estens. rimovibile: 200 mm	Prova n°: M5
---	---	------------------------------------	------------------------

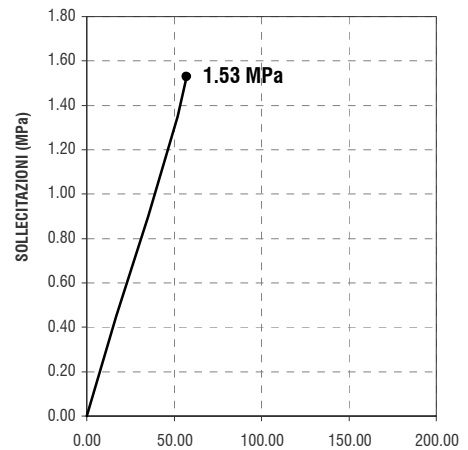
Sollecitazione misurata: 1.53 MPa

(+) COMPRESSIONE
 (-) TRAZIONE



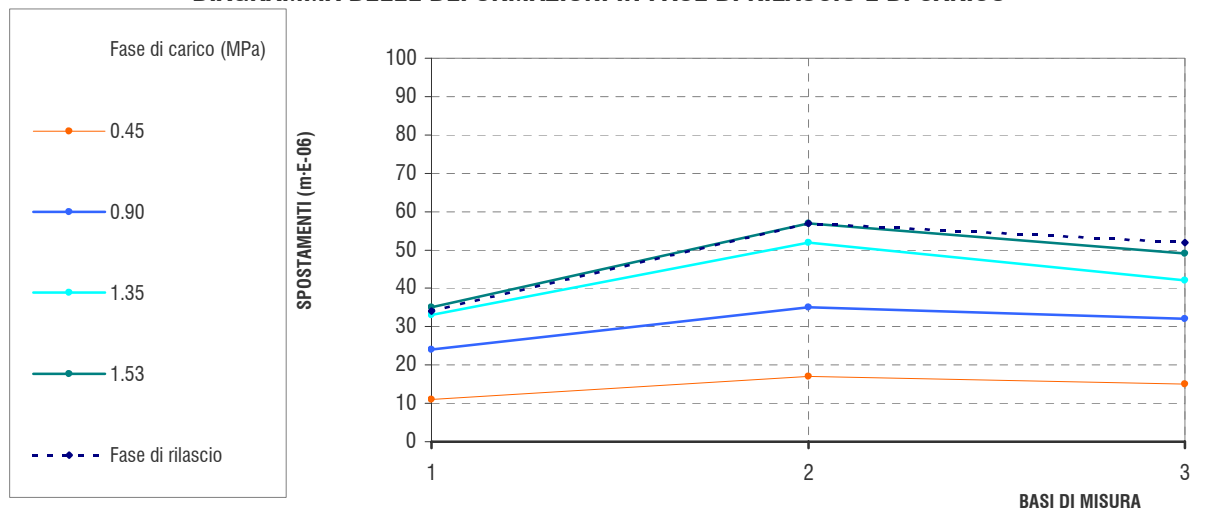
Misura N.	Tempo (minuti)	SOLLECITAZIONI MPa	SPOSTAMENTI m-E-06		
			BASE 1	BASE 2	BASE 3
FASE DI TAGLIO					
	0		0.00	0.00	0.00
	10		-34.00	-57.00	-52.00
FASE DI CARICO					
1	2	0.00	0.00	0.00	0.00
2	4	0.45	11.00	17.00	15.00
3	6	0.90	24.00	35.00	32.00
4	8	1.35	33.00	52.00	42.00
5	10	1.53	35.00	57.00	49.00
6	12	0.90	14.00	32.00	27.00
7	14	0.45	2.00	15.00	13.00
8	16	0.00	-3.00	2.00	1.00

CURVA CARICO-SPOSTAMENTI
BASE N° 2

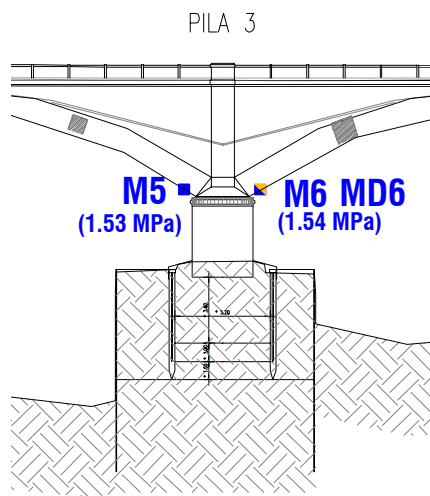
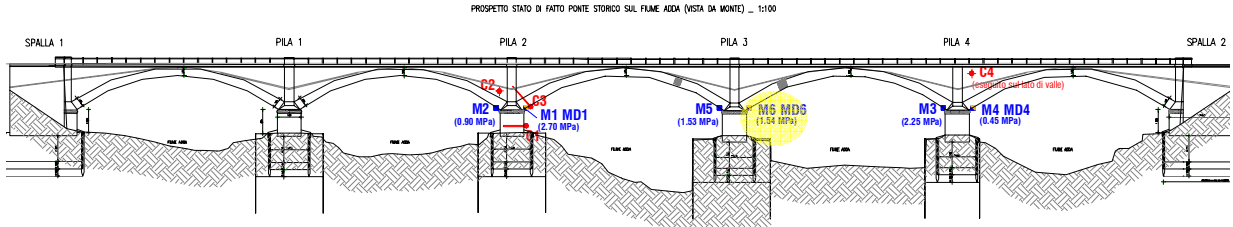


SPOSTAMENTI (m-E-06)

DIAGRAMMA DELLE DEFORMAZIONI IN FASE DI RILASCIO E DI CARICO



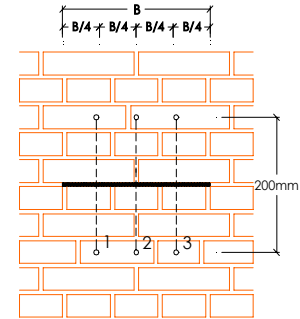
Oggetto:	Martinetto:	Base estens. rimovibile:	Prova n°:
Ubicazione del punto di prova	Semicircolare: 345x255mm	200 mm	M6



Oggetto: Tabulato completo dei risultati di prova	Martinetto: Semicircolare: 345x255mm	Base estens. rimovibile: 200 mm	Prova n°: M6
---	---	------------------------------------	------------------------

Sollecitazione misurata: 1.54 MPa

(+) COMPRESSIONE
 (-) TRAZIONE



Misura N.	Tempo (minuti)	SOLLECITAZIONI MPa	SPOSTAMENTI m-E-06		
			BASE 1	BASE 2	BASE 3
FASE DI TAGLIO					
	0		0.00	0.00	0.00
	10		-70.00	-68.00	-43.00
FASE DI CARICO					
1	2	0.00	0.00	0.00	0.00
2	4	0.45	22.00	21.00	12.00
3	6	0.90	41.00	39.00	23.00
4	8	1.35	60.00	60.00	39.00
5	10	1.54	70.00	68.00	44.00
6	12	0.90	43.00	47.00	24.00
7	14	0.45	20.00	24.00	10.00
8	16	0.00	0.00	2.00	1.00

CURVA CARICO-SPOSTAMENTI
 BASE N° 2

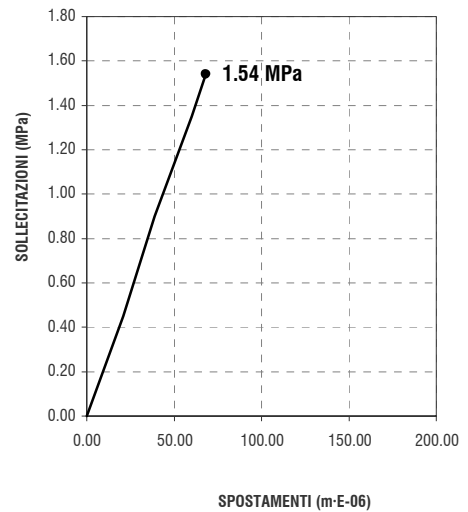
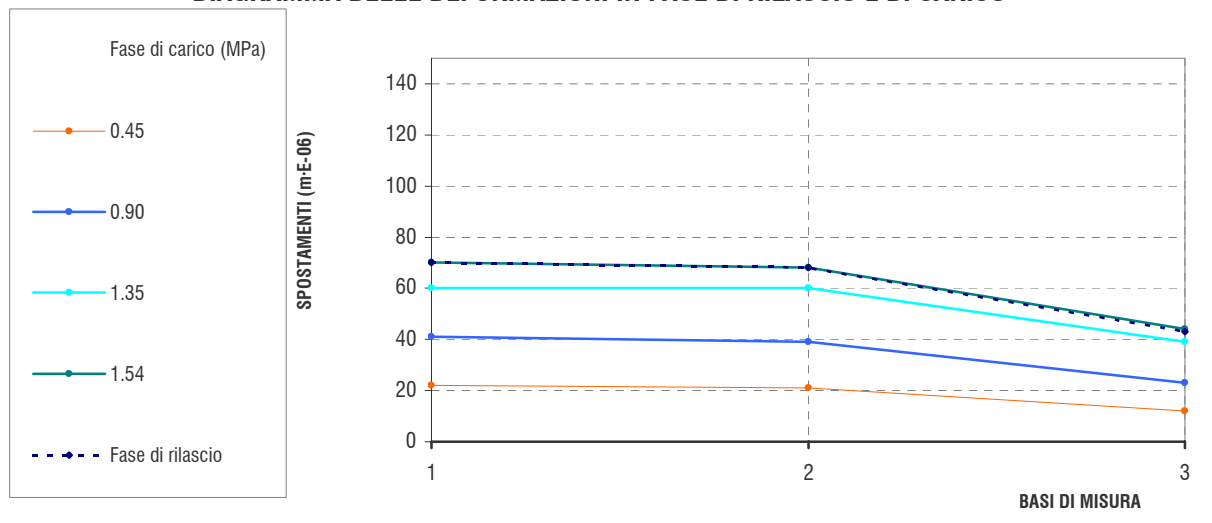


DIAGRAMMA DELLE DEFORMAZIONI IN FASE DI RILASCIO E DI CARICO





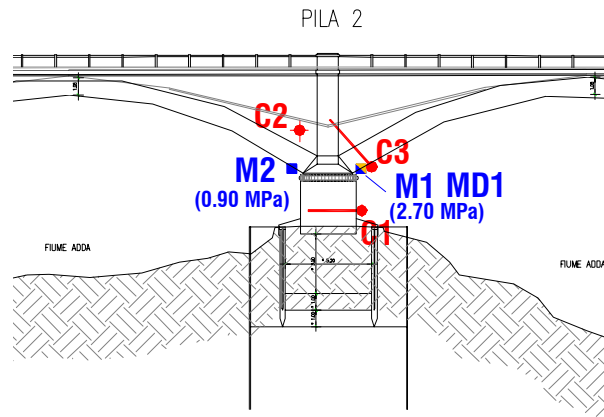
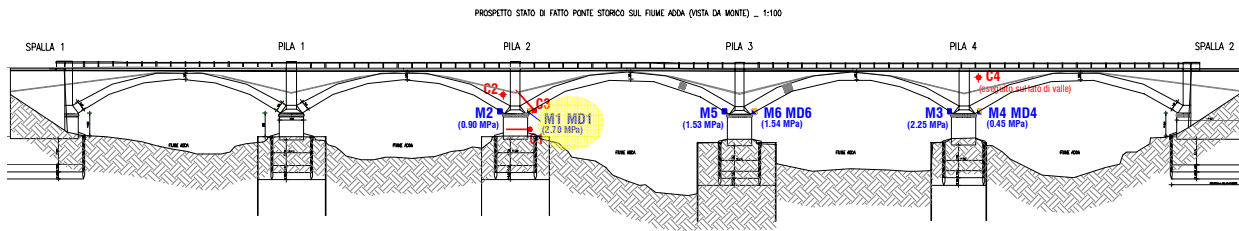
Appendice E

PROVE CON MARTINETTI PIATTI PER LA DETERMINAZIONE DELLE CARATTERISTICHE DI DEFORMABILITA' DELLE MURATURE

Elaborati di prova

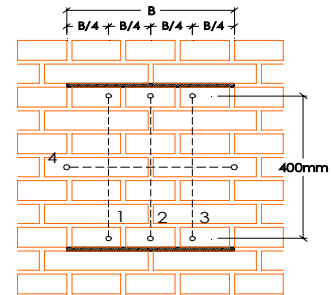
PONTE STORICO DI BISNATE SUL FIUME ADDA - SPINO D'ADDA
PROVA CON MARTINETTI PIATTI PER LA DETERMINAZIONE DELLE
CARATTERISTICHE DI DEFORMABILITA'

Oggetto:	Martinetto:	Base estens. rimovibile:	Prova n°:
Ubicazione del punto di prova	Semicircolare: 345x255mm	400 mm	MD1

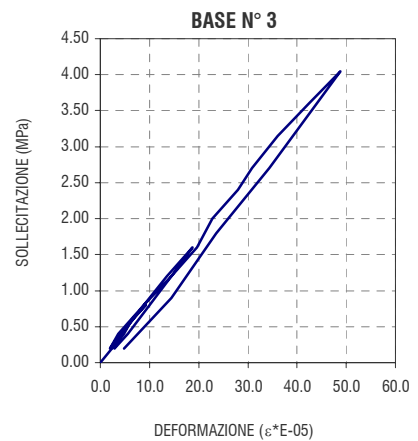
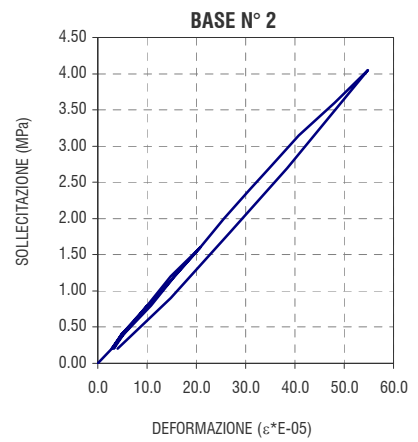
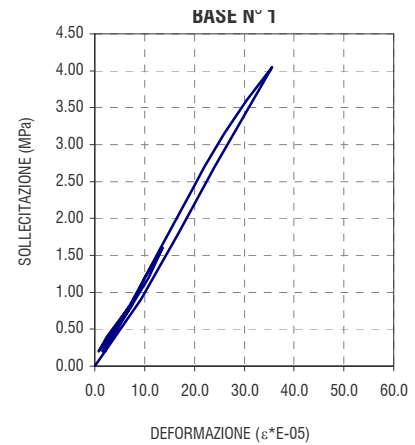


Oggetto:	Martinetto:	Base estens. rimovibile:	Prova n°:
Tabulato completo dei risultati di prova	Semicircolare: 345x255mm	400 mm	MD1

Martinetto piatto singolo: M1
 Sollecitazione misurata (MPa): 2.70

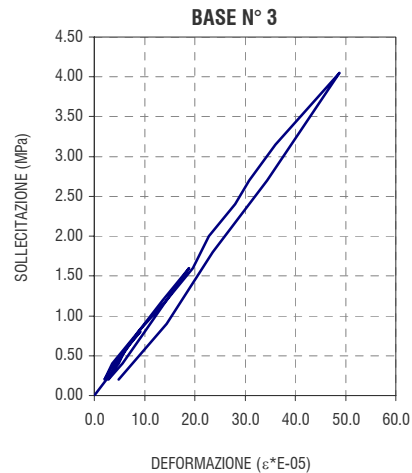
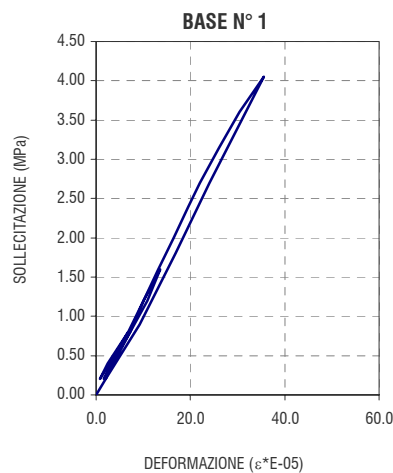
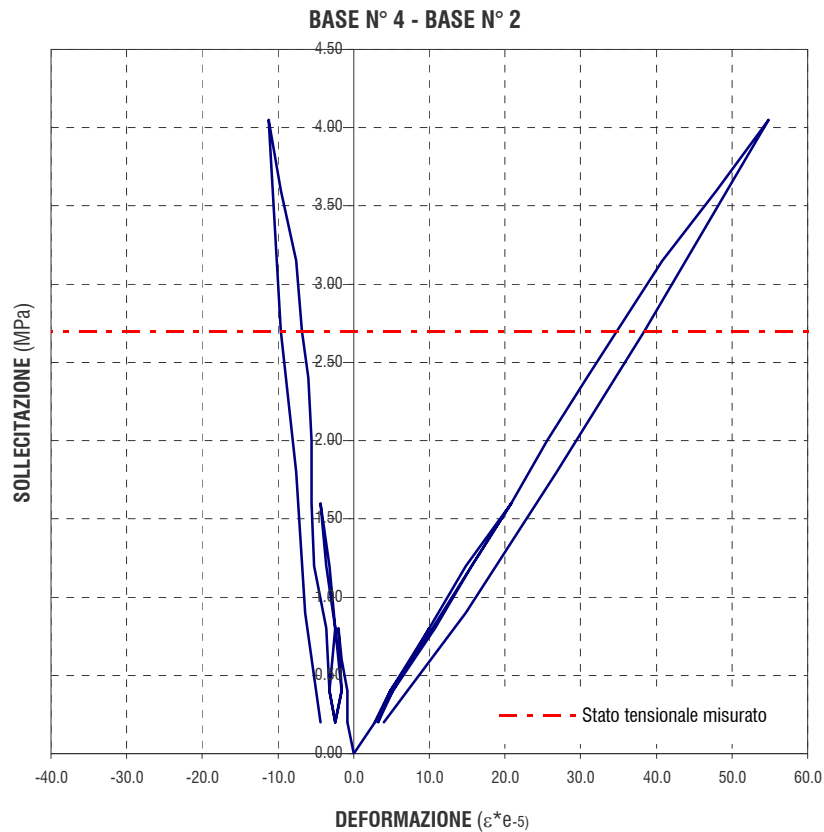
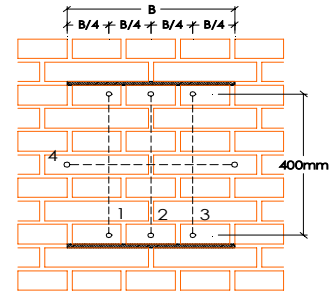


Misura N.	Tempo (minuti)	SOLLECITAZIONI MPa	DEFORMAZIONI $\epsilon * E - 05$			
			BASE 1	BASE 2	BASE 3	BASE 4
1	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	1	0.20	2.00	2.80	2.40	-0.80
3	2	0.40	3.20	4.80	4.80	-0.80
4	4	0.60	5.20	7.60	6.40	-1.60
5	6	0.80	6.80	10.00	9.20	-2.00
6	8	0.40	2.40	5.20	4.00	-1.60
7	10	0.20	0.80	3.20	2.00	-2.40
8	12	0.40	2.80	4.80	3.60	-1.60
9	14	0.80	6.80	10.00	8.80	-2.40
10	16	1.20	10.00	14.80	13.60	-3.20
11	18	1.60	13.60	20.80	18.80	-4.40
12	20	1.20	10.80	15.60	14.40	-3.60
13	22	0.80	7.20	10.80	8.80	-2.40
14	24	0.40	3.60	5.20	4.40	-3.20
15	26	0.20	1.60	2.80	2.80	-2.40
16	28	0.40	3.20	4.80	5.60	-3.20
17	30	0.80	7.20	10.40	10.00	-3.60
18	32	1.20	10.00	15.60	14.40	-5.20
19	34	1.60	13.20	20.80	19.60	-5.60
20	36	2.00	16.40	25.60	22.80	-5.60
21	38	2.40	19.60	30.80	28.00	-6.00
22	40	2.70	22.00	34.80	30.80	-6.80
23	42	3.15	26.00	40.80	36.00	-7.60
24	44	3.60	30.40	48.00	42.40	-9.60
25	46	4.05	35.60	54.80	48.80	-11.20
26	48	2.70	24.00	38.40	34.40	-9.60
27	50	1.80	16.80	26.80	23.60	-7.60
28	52	0.90	9.20	14.80	14.40	-6.40
29	54	0.20	2.00	4.00	4.80	-4.40



Oggetto: Diagramma sollecitazione - deformazioni assiali e trasversali	Martinetto: Semicircolare: 345x255mm	Base estens. rimovibile: 400 mm	Prova n°: MD1
--	---	------------------------------------	-------------------------

Martinetto piatto singolo: M1
 Sollecitazione misurata (MPa): 2.70



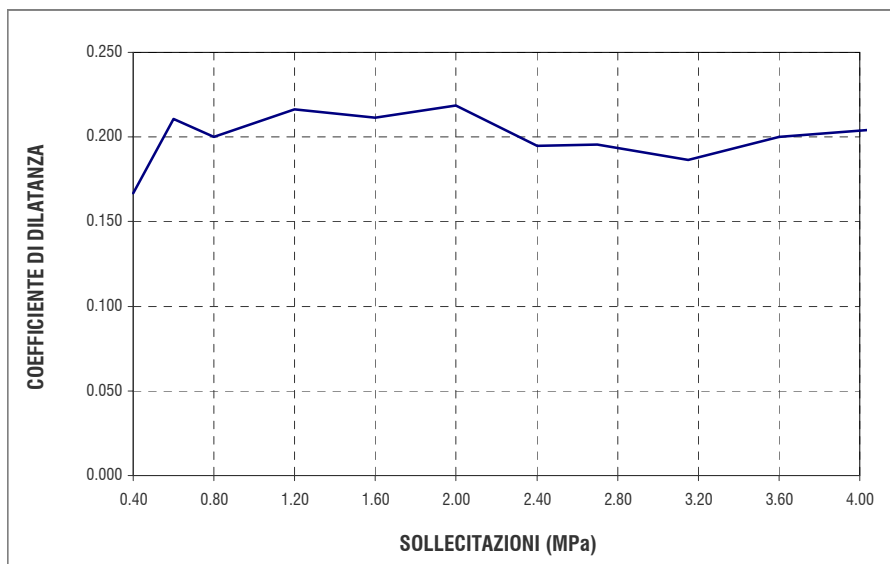
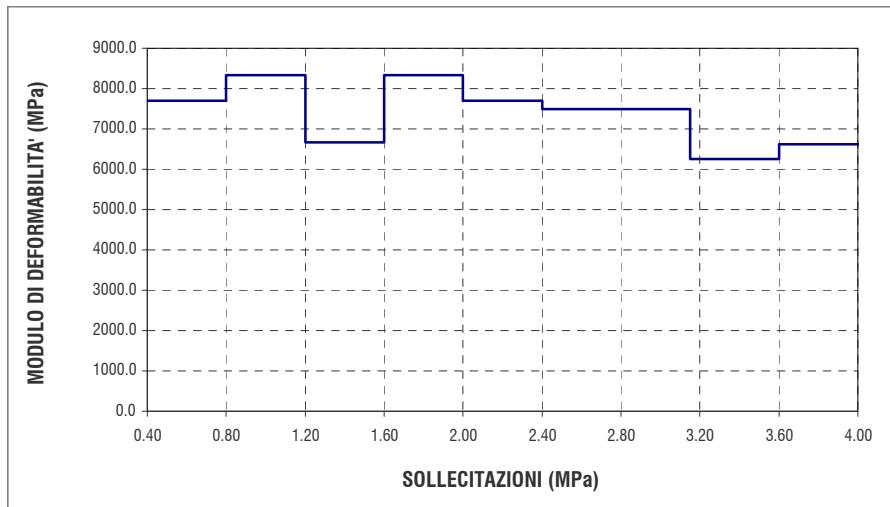
Oggetto:	Martinetto:	Base estens. rimovibile:	Prova n°:
Valutazione delle costanti elastiche	Semicircolare: 345x255mm	400 mm	MD1

MODULI DI DEFORMABILITA'

Sollecitazioni	Modulo di deformabilità
σ (MPa)	E (MPa)
0.4 - 0.8	7692.3
0.8 - 1.2	8333.3
1.2 - 1.6	6666.7
1.6 - 2.0	8333.3
2.0 - 2.4	7692.3
2.4 - 2.7	7500.0
2.7 - 3.2	7500.0
3.2 - 3.6	6250.0
3.6 - 4.1	6617.6

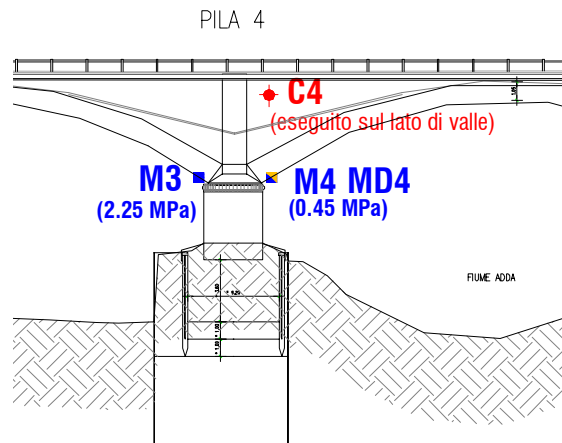
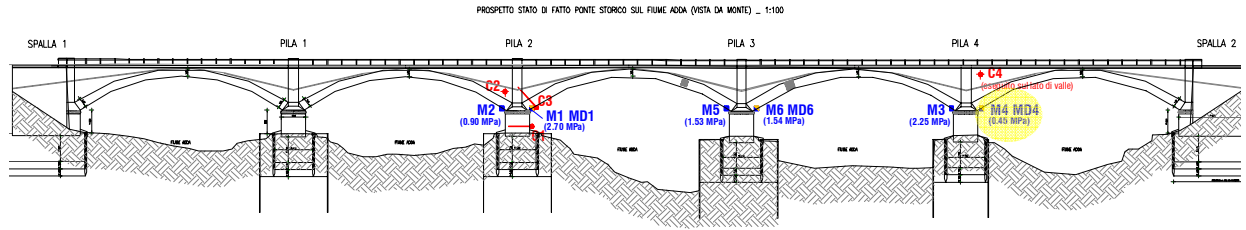
COEFFICIENTI DI DILATANZA

Sollecit.	Coeff. di dilatanza
σ (MPa)	ν
0.4	0.167
0.6	0.211
0.8	0.200
1.2	0.216
1.6	0.212
2.0	0.219
2.4	0.195
2.7	0.195
3.2	0.186
3.6	0.200
4.1	0.204



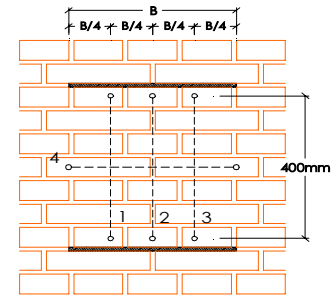
PONTE STORICO DI BISNATE SUL FIUME ADDA - SPINO D'ADDA
PROVA CON MARTINETTI PIATTI PER LA DETERMINAZIONE DELLE
CARATTERISTICHE DI DEFORMABILITA'

Oggetto:	Martinetto:	Base estens. rimovibile:	Prova n°:
Ubicazione del punto di prova	Semicircolare: 345x255mm	400 mm	MD4

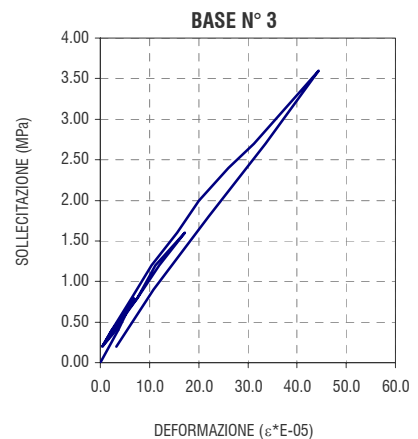
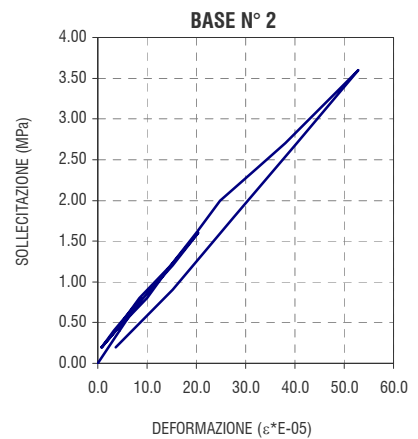
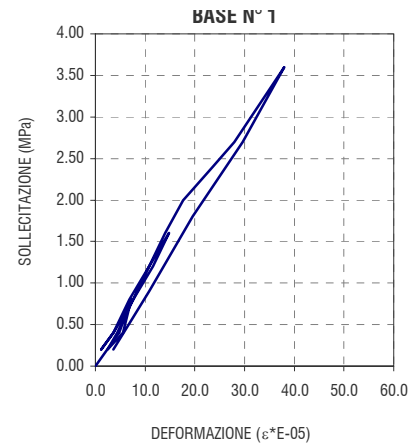


Oggetto:	Martinetto:	Base estens. rimovibile:	Prova n°:
Tabulato completo dei risultati di prova	Semicircolare: 345x255mm	400 mm	MD4

Martinetto piatto singolo: M4
 Sollecitazione misurata (MPa): 0.45

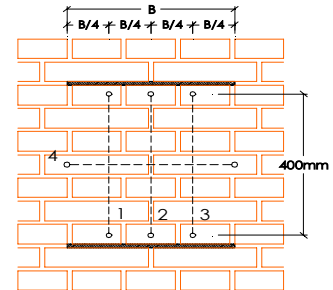


Misura N.	Tempo (minuti)	SOLLECITAZIONI MPa	DEFORMAZIONI $\epsilon * E - 05$			
			BASE 1	BASE 2	BASE 3	BASE 4
1	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	1	0.40	4.80	4.40	3.60	-1.60
3	2	0.80	7.20	8.80	6.80	-2.80
4	4	0.40	5.60	3.20	3.20	-1.60
5	6	0.20	2.40	0.80	0.40	-1.20
6	8	0.40	4.40	3.60	2.80	-1.60
7	10	0.80	7.60	8.40	7.60	-2.40
8	12	1.20	11.60	14.80	11.20	-3.20
9	14	1.60	14.80	20.40	17.20	-3.60
10	16	1.20	10.80	15.20	12.00	-3.60
11	18	0.80	6.80	9.20	7.60	-2.80
12	20	0.40	3.60	3.60	2.40	-2.00
13	22	0.20	1.20	0.80	0.40	-2.00
14	24	0.40	3.60	3.60	2.40	-2.40
15	26	0.80	7.60	10.00	6.40	-3.60
16	28	1.20	10.80	14.80	10.40	-4.40
17	30	1.60	14.00	20.00	15.60	-4.40
18	32	2.00	17.60	24.80	20.00	-5.60
19	34	2.40	23.60	32.40	26.00	-6.40
20	36	2.70	28.00	38.00	31.20	-7.20
21	38	3.60	38.00	52.80	44.40	-8.80
22	40	2.70	29.60	40.40	33.60	-7.20
23	42	1.80	19.60	27.60	22.00	-5.60
24	44	0.90	10.80	15.20	10.80	-2.80
25	46	0.20	3.60	3.60	3.20	-2.40

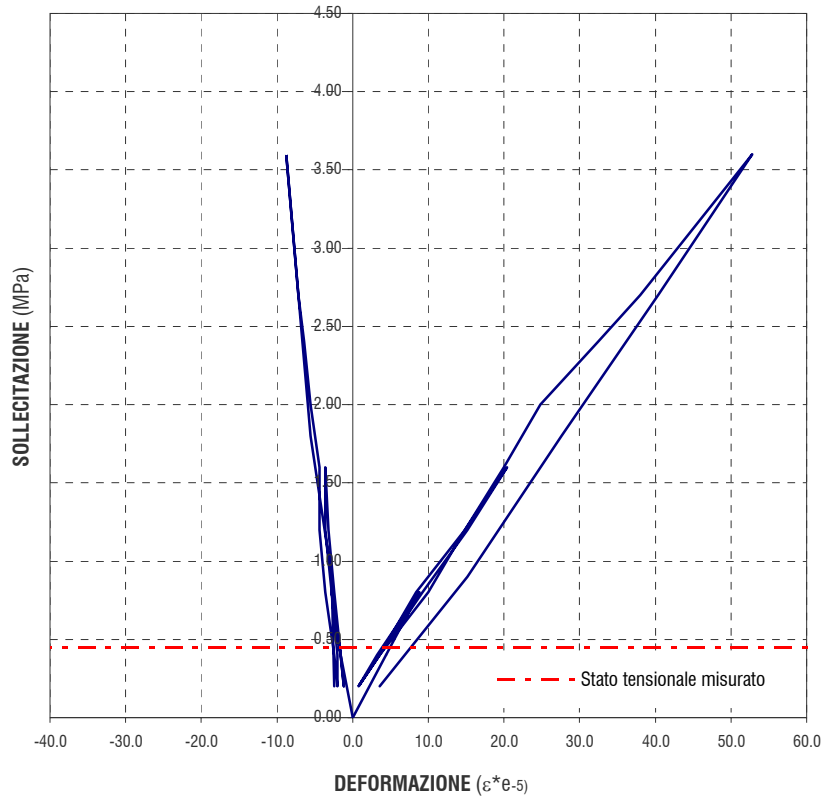


Oggetto: Diagramma sollecitazione - deformazioni assiali e trasversali	Martinetto: Semicircolare: 345x255mm	Base estens. rimovibile: 400 mm	Prova n°: MD4
--	---	------------------------------------	-------------------------

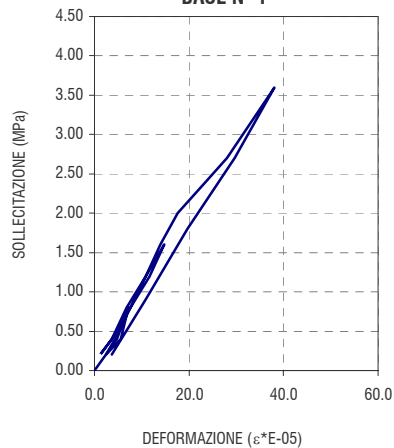
Martinetto piatto singolo: M4
 Sollecitazione misurata (MPa): 0.45



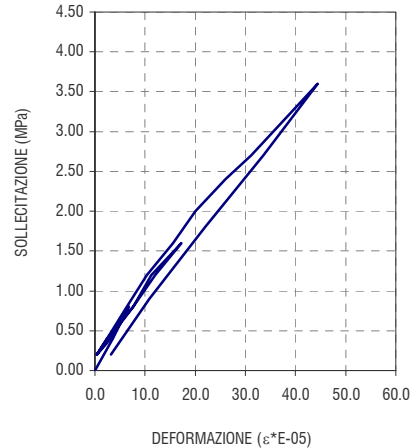
BASE N° 4 - BASE N° 2



BASE N° 1



BASE N° 3



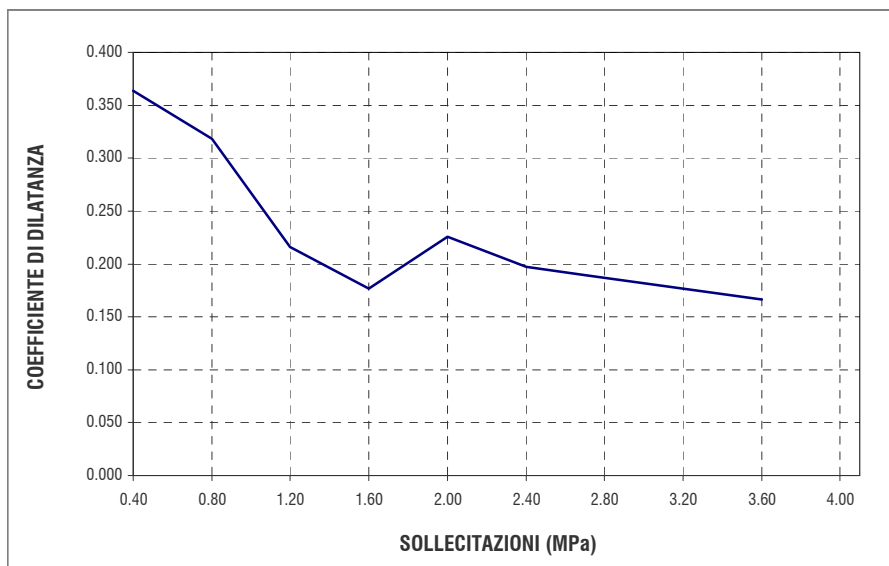
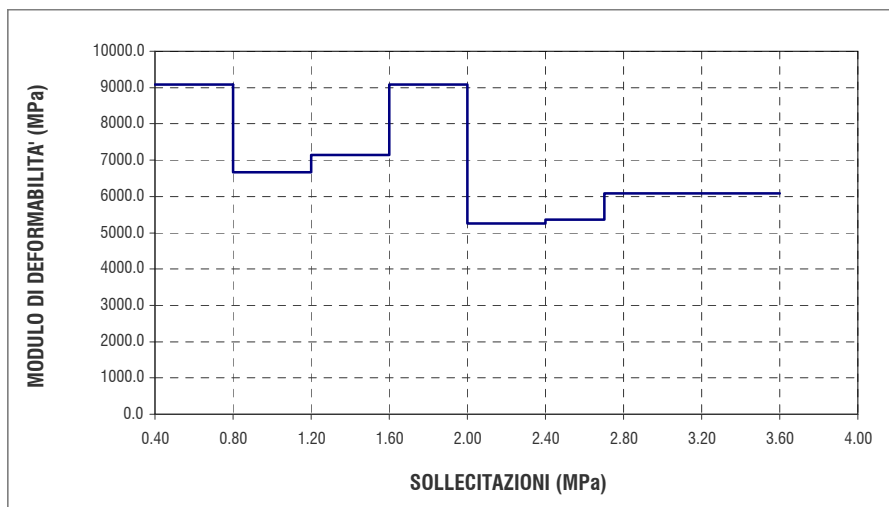
Oggetto:	Martinetto:	Base estens. rimovibile:	Prova n°:
Valutazione delle costanti elastiche	Semicircolare: 345x255mm	400 mm	MD4

MODULI DI DEFORMABILITA'

Sollecitazioni σ (MPa)	Modulo di deformabilità E (MPa)
0.4 - 0.8	9090.9
0.8 - 1.2	6666.7
1.2 - 1.6	7142.9
1.6 - 2.0	9090.9
2.0 - 2.4	5263.2
2.4 - 2.7	5357.1
2.7 - 3.6	6081.1

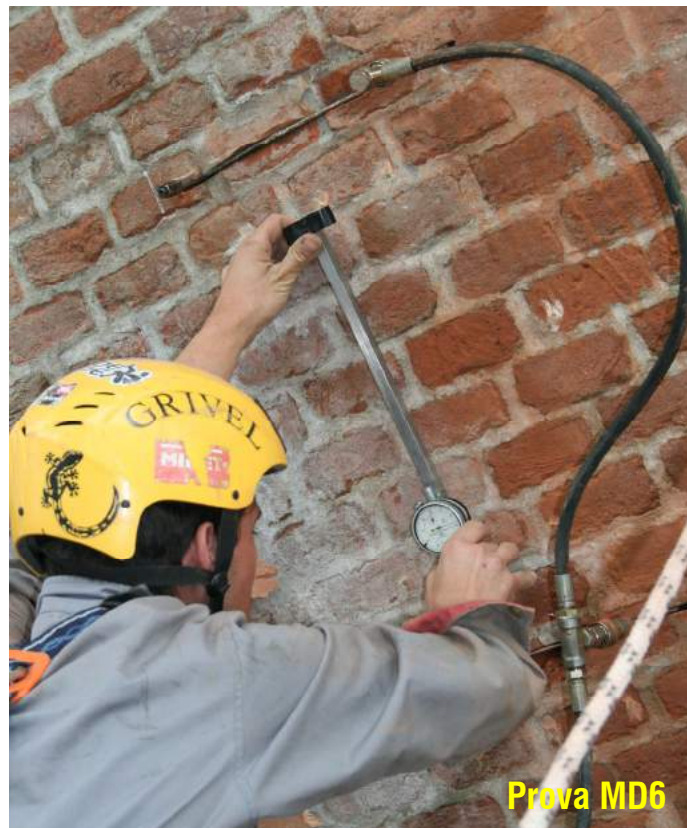
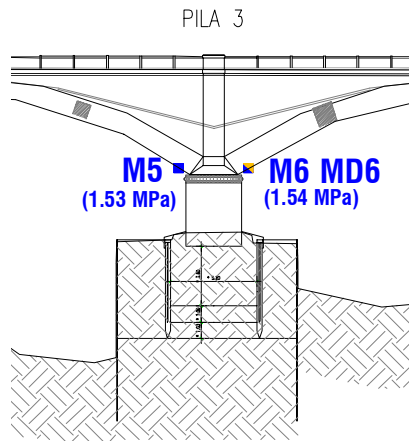
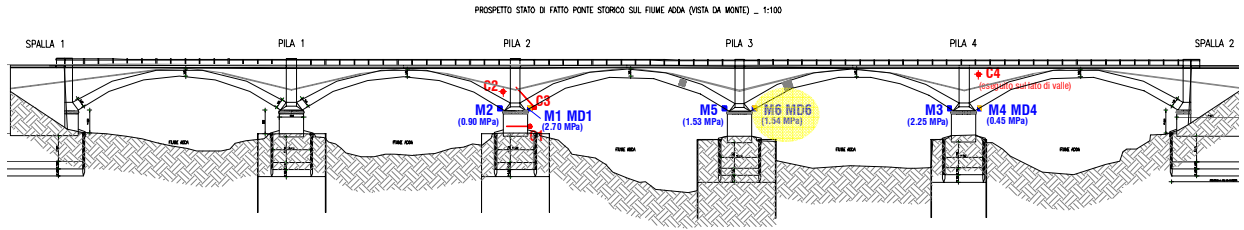
COEFFICIENTI DI DILATANZA

Sollecit. σ (MPa)	Coeff. di dilatanza ν
0.4	0.364
0.8	0.318
1.2	0.216
1.6	0.176
2.0	0.226
2.4	0.198
2.7	0.189
3.6	0.167



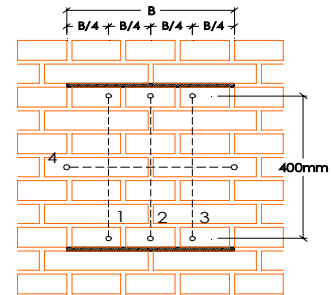
PONTE STORICO DI BISNATE SUL FIUME ADDA - SPINO D'ADDA
PROVA CON MARTINETTI PIATTI PER LA DETERMINAZIONE DELLE
CARATTERISTICHE DI DEFORMABILITA'

Oggetto:	Martinetto:	Base estens. rimovibile:	Prova n°:
Ubicazione del punto di prova	Semicircolare: 345x255mm	400 mm	MD6

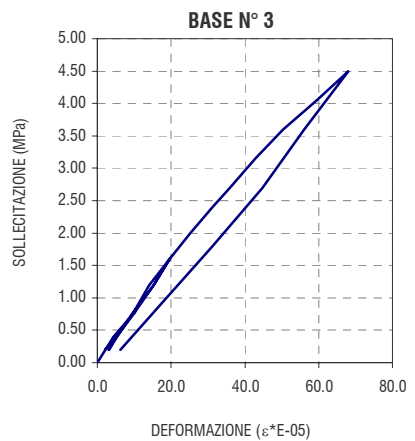
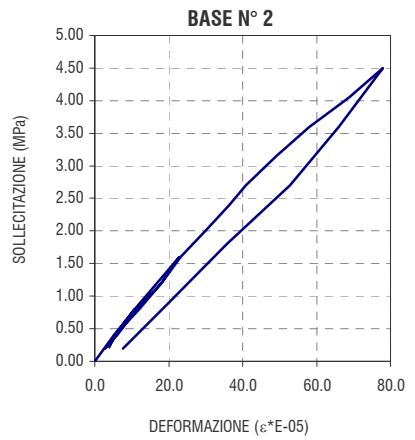
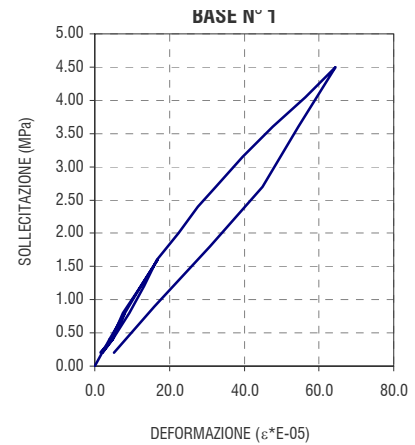


Oggetto:	Martinetto:	Base estens. rimovibile:	Prova n°:
Tabulato completo dei risultati di prova	Semicircolare: 345x255mm	400 mm	MD6

Martinetto piatto singolo: M6
 Sollecitazione misurata (MPa): 1.54

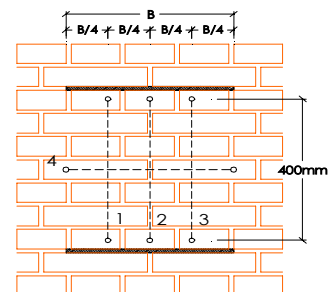


Misura N.	Tempo (minuti)	SOLLECITAZIONI MPa	DEFORMAZIONI $\epsilon * E - 05$			
			BASE 1	BASE 2	BASE 3	BASE 4
1	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	1	0.40	4.00	5.20	4.40	-0.40
3	2	0.80	8.00	10.80	10.40	-0.80
4	4	0.40	4.80	5.60	4.80	-0.40
5	6	0.20	1.60	3.60	2.00	-0.40
6	8	0.40	4.40	5.60	5.20	-0.80
7	10	0.80	7.60	10.80	10.00	-0.80
8	12	1.20	12.40	16.80	14.00	-1.20
9	14	1.60	16.80	22.80	19.60	-1.60
10	16	1.20	12.40	18.00	15.20	-1.20
11	18	0.80	8.00	12.00	10.00	0.00
12	20	0.40	4.80	5.60	5.20	0.00
13	22	0.20	2.00	2.80	3.20	0.00
14	24	0.40	4.80	6.00	5.20	0.00
15	26	0.80	9.20	11.20	10.40	-0.80
16	28	1.20	13.20	18.00	15.20	-1.20
17	30	1.60	16.60	23.20	19.60	-1.60
18	32	2.00	22.40	29.90	25.20	-1.60
19	34	2.40	27.60	36.40	31.20	-2.00
20	36	2.70	32.40	40.80	36.00	-2.40
21	38	3.15	39.60	49.20	42.80	-2.80
22	40	3.60	47.60	58.00	50.40	-3.30
23	42	4.05	56.40	68.80	59.60	-4.90
24	44	4.50	64.40	78.00	68.00	-7.20
25	46	3.60	54.40	66.00	56.00	-6.40
26	48	2.70	44.80	52.80	44.80	-5.60
27	50	1.80	30.90	35.60	31.20	-4.40
28	52	0.90	16.00	20.00	17.20	-4.00
29	54	0.20	5.20	7.60	6.30	-2.10

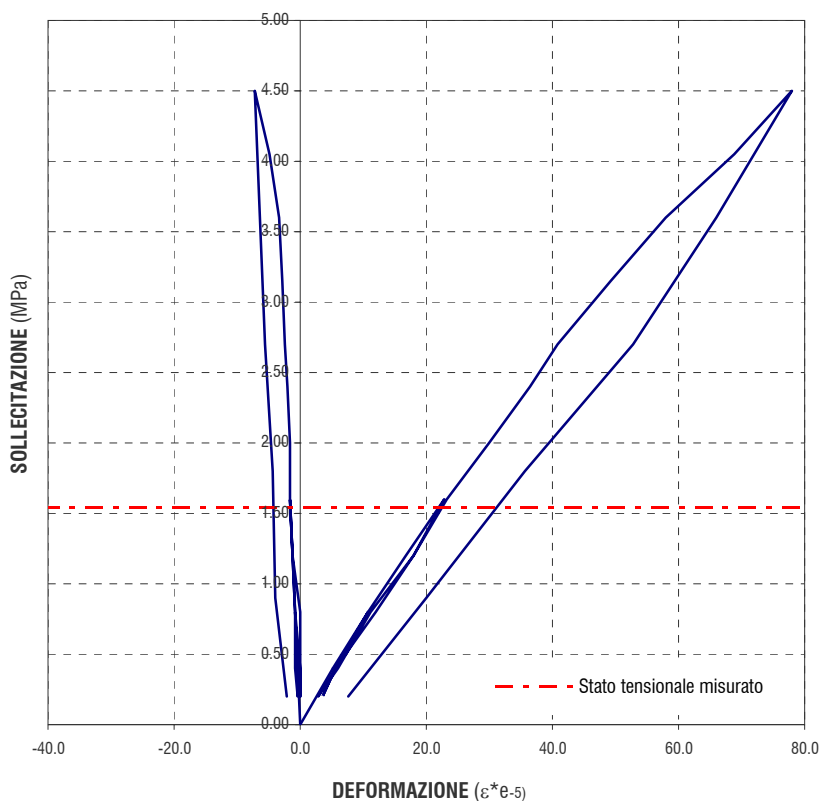


Oggetto: Diagramma sollecitazione - deformazioni assiali e trasversali	Martinetto: Semicircolare: 345x255mm	Base estens. rimovibile: 400 mm	Prova n°: MD6
--	---	------------------------------------	-------------------------

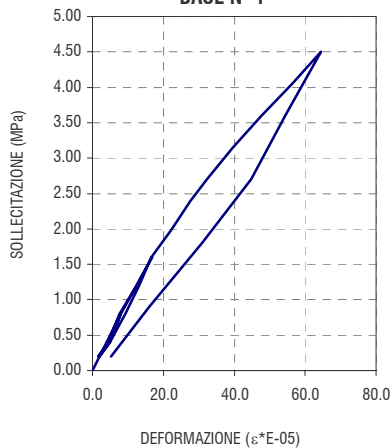
Martinetto piatto singolo: M6
 Sollecitazione misurata (MPa): 1.54



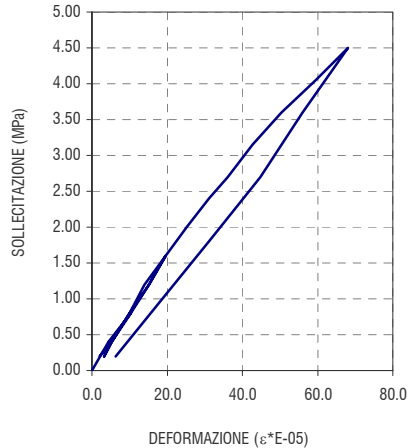
BASE N° 4 - BASE N° 2



BASE N° 1



BASE N° 3



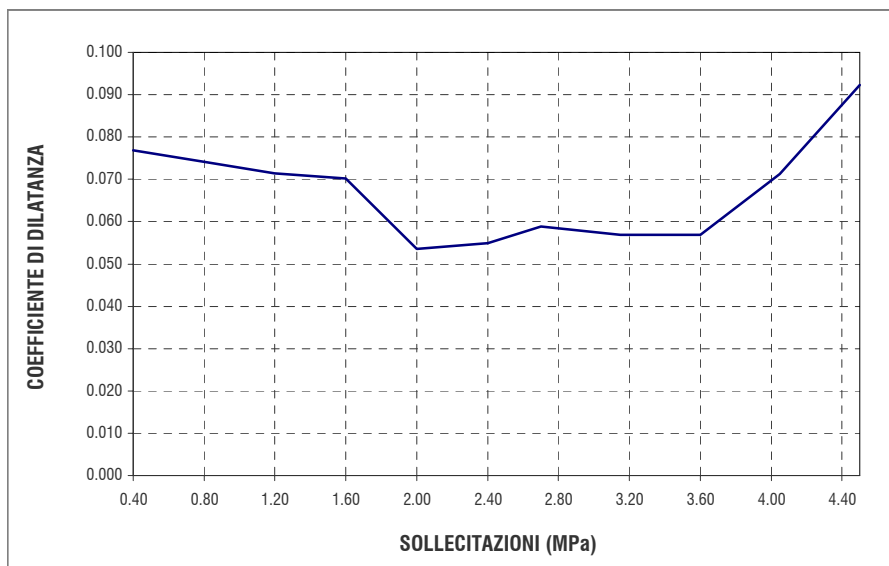
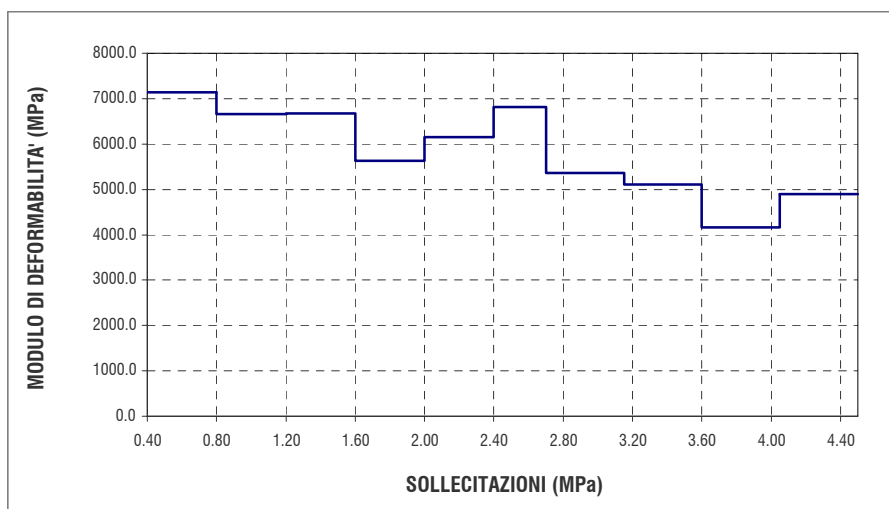
Oggetto:	Martinetto:	Base estens. rimovibile:	Prova n°:
Valutazione delle costanti elastiche	Semicircolare: 345x255mm	400 mm	MD6

MODULI DI DEFORMABILITA'

Sollecitazioni	Modulo di deformabilità
σ (MPa)	E (MPa)
0.4 - 0.8	7142.9
0.8 - 1.2	6666.7
1.2 - 1.6	6666.7
1.6 - 2.0	5633.8
2.0 - 2.4	6153.8
2.4 - 2.7	6818.2
2.7 - 3.2	5357.1
3.2 - 3.6	5113.6
3.6 - 4.1	4166.7
4.1 - 4.5	4891.3

COEFFICIENTI DI DILATANZA

Sollecit.	Coeff. di dilatanza
σ (MPa)	ν
0.4	0.077
0.8	0.074
1.2	0.071
1.6	0.070
2.0	0.054
2.4	0.055
2.7	0.059
3.2	0.057
3.6	0.057
4.1	0.071
4.5	0.092





Appendice F

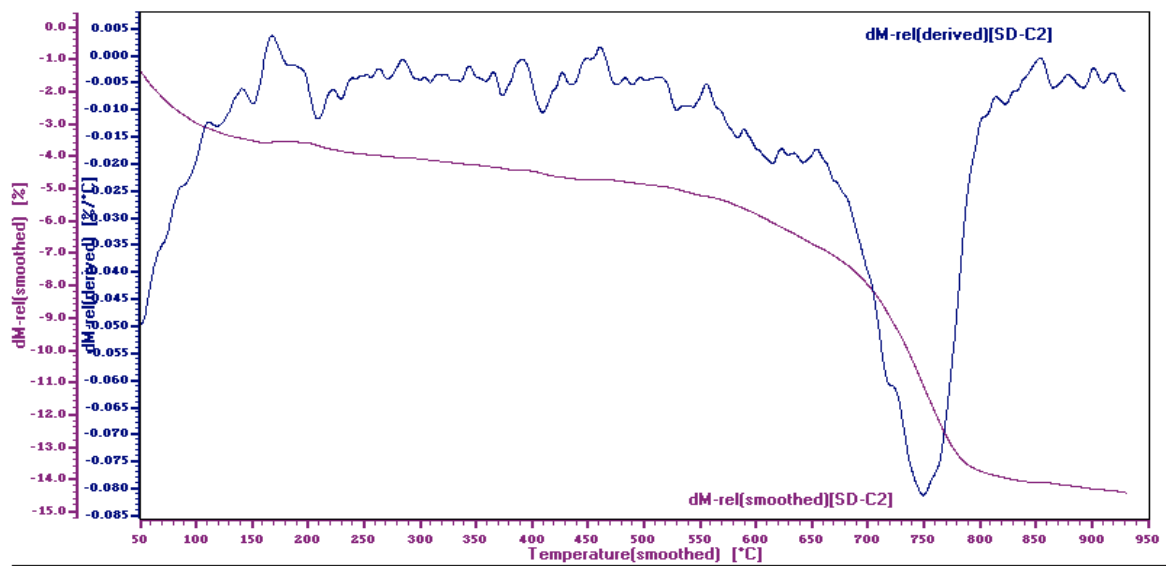
ANALISI CHIMICHE, FISICHE, PETROGRAFICHE

Elaborati di prova

ANALISI TERMOGRAVIMETRICA
termogramma Campione SD-C2

rev.	data emiss.	eseguito da	elaborato da	Cantiere:	Ponte sull'Adda
0		L.Cimitan	L.Cimitan		Spino d'Adda (CR)

Descrizione: malta di allettamento



Date/Time: 26/05/08 14.14.18 Sample: SD-C2 39.80 mg
 Operator: L.C.
 Laboratory: zeila Atmosphere: air 0.00 l/min
 Comment: TG measurement Zero file: ALL-1

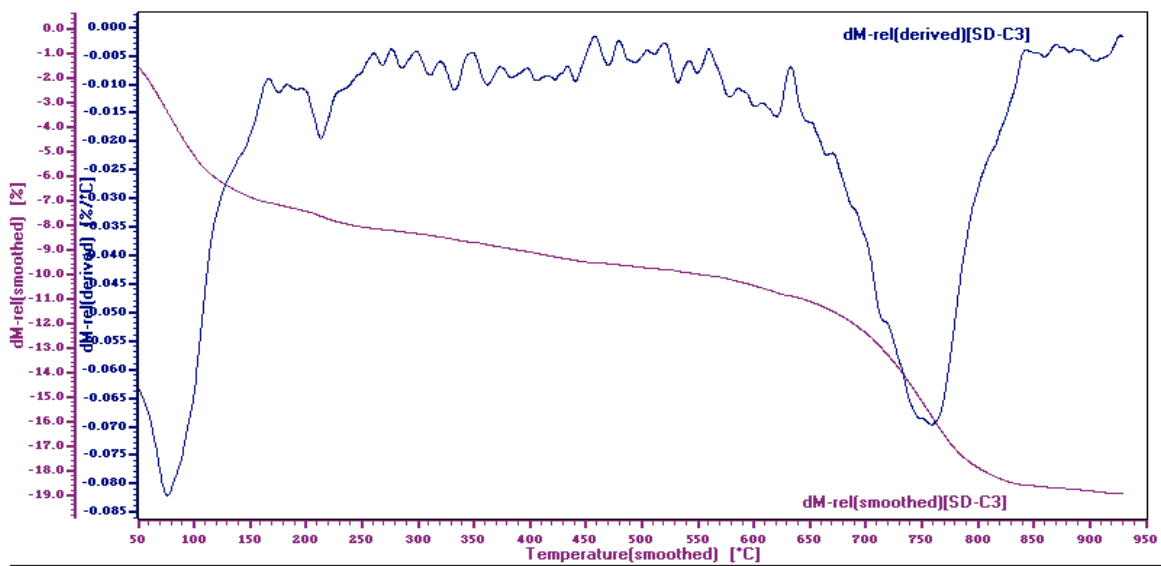
umidità [%]	gesso [%]	H ₂ O da sil. idrati [%]	acqua da Ca (OH) ₂	Sostanza organica [%]	KNO ₃ [%]	Mg(OH) ₂ [%]	MgCO ₃ [%]	CaCO ₃ [%]	Residuo
1.77	0.58	3.21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16.17	78.27

Note: Quarzo presenza ++
 Dolomia presenza -

ANALISI TERMOGRAVIMETRICA
termogramma Campione SD-C3

rev.	data emiss.	eseguito da	elaborato da	Cantiere:	Ponte sull'Adda
0		L.Cimitan	L.Cimitan		Spino d'Adda (CR)

Descrizione: malta di allettamento



Date/Time: 26/05/08 16.46.47 Sample: SD-C3 44.10 mg
 Operator: L.C.
 Laboratory: zella Atmosphere: air 0.00 l/min
 Comment: TG measurement Zero file: ALL-1

umidità [%]	gesso [%]	H ₂ O da sil. idrati [%]	acqua da Ca (OH) ₂	Sostanza organica [%]	KNO ₃ [%]	Mg(OH) ₂ [%]	MgCO ₃ [%]	CaCO ₃ [%]	Residuo
3.08	1.30	3.69	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	17.42	74.51

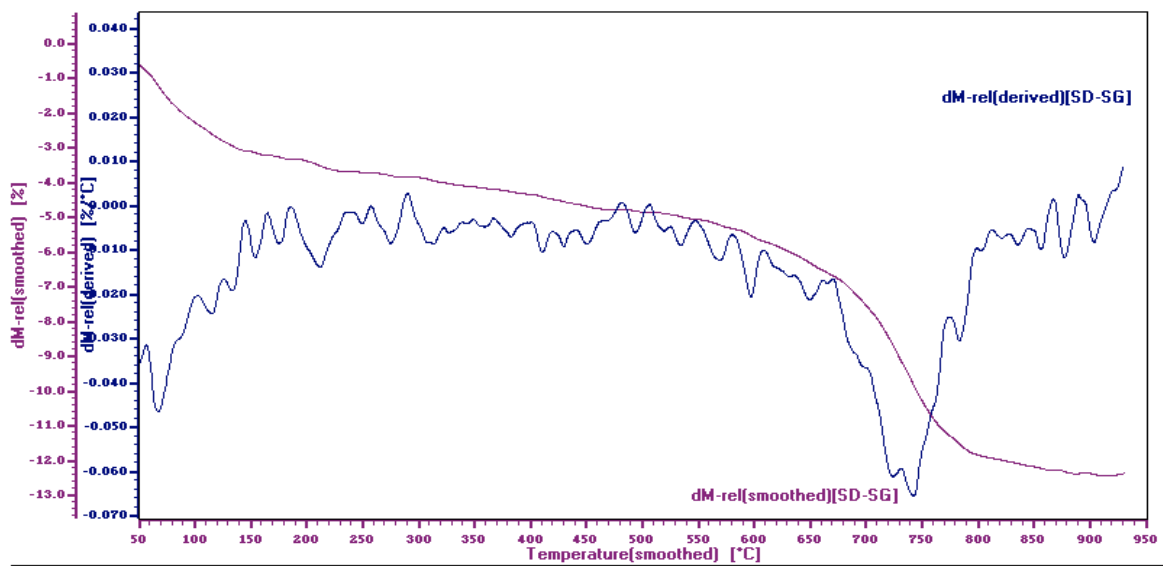
Note: Quarzo presenza ++
 Dolomia presenza -



ANALISI TERMOGRAVIMETRICA
termogramma Campione SD-SG

rev.	data emiss.	eseguito da	elaborato da	Cantiere:	Ponte sull'Adda
0		L.Cimitan	L.Cimitan		Spino d'Adda (CR)

Descrizione: malta di allettamento

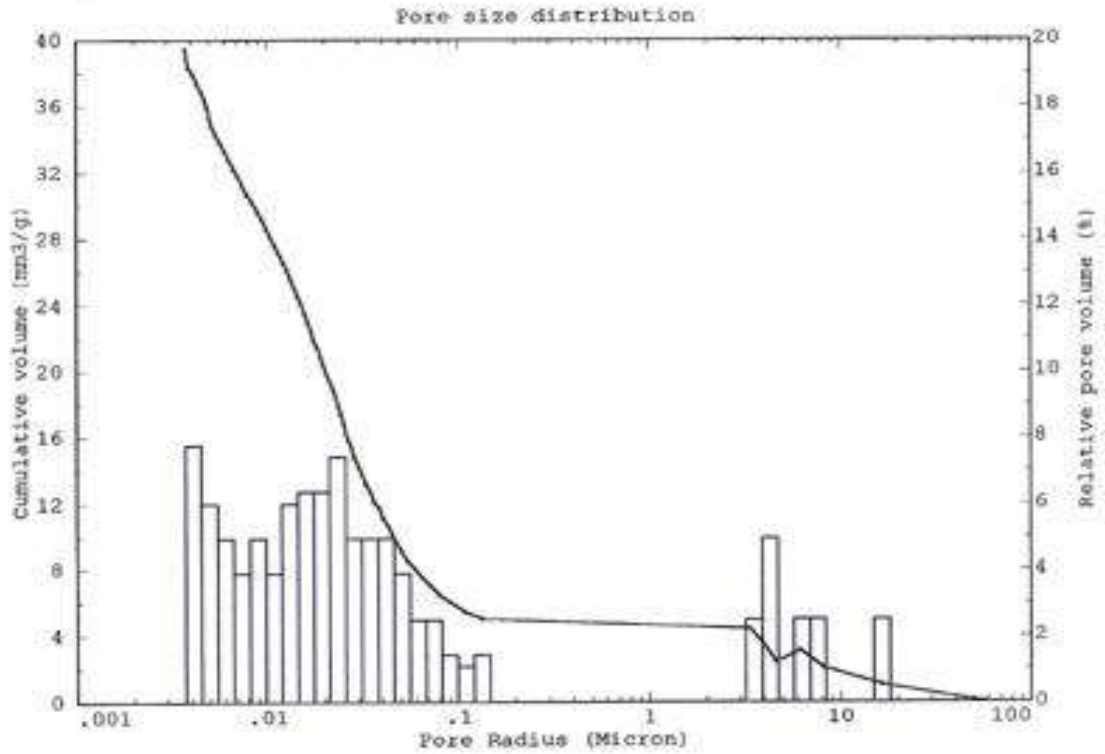


Date/Time: 26/05/08 11.30.31 Sample: SD-SG 40.40 mg
 Operator: L.C.
 Laboratory: zeila Atmosphere: air 0.00 l/min
 Comment: TG measurement Zero file: ALL-1

umidità [%]	gesso [%]	H ₂ O da sil. idrati [%]	acqua da Ca(OH) ₂	Sostanza organica [%]	KNO ₃ [%]	Mg(OH) ₂ [%]	MgCO ₃ [%]	CaCO ₃ [%]	Residuo
1.76	0.99	3.39	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11.87	81.99

Note: Quarzo presenza ++
 Dolomia presenza +

Instrument type : Porosimeter 2000
 Sample name : SD-C2
 Date : 05/06/08
 Chiesa Madonna dei campi



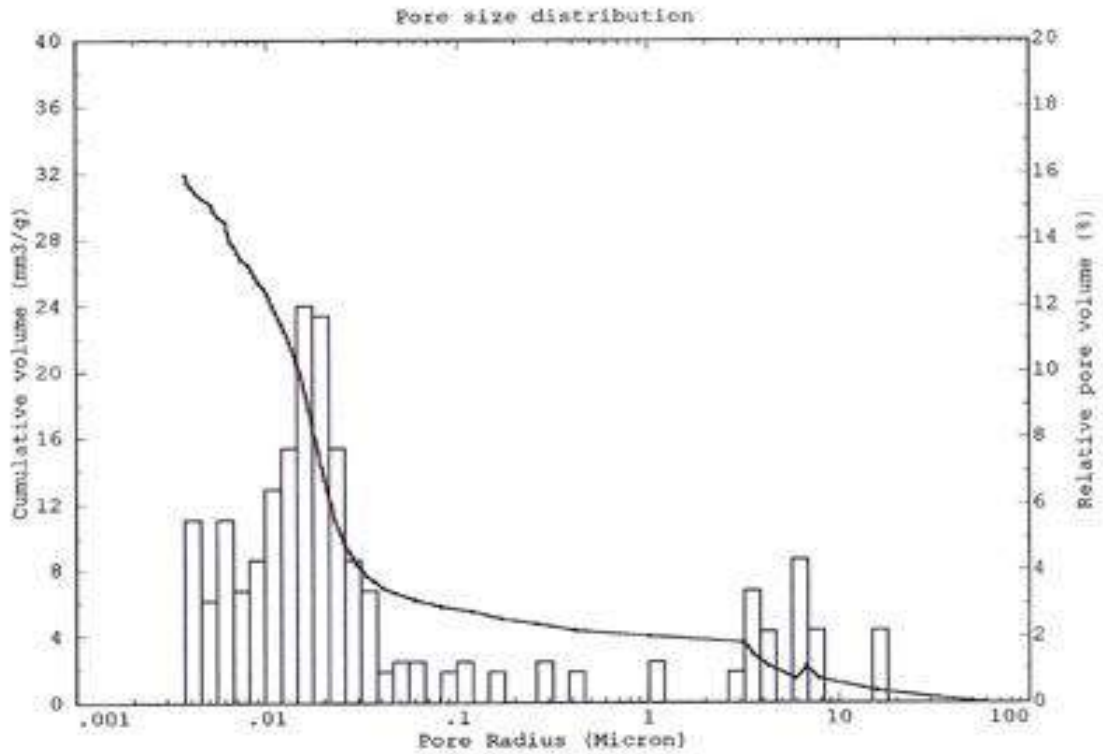
ANALISI POROSIMETRICA
campione SD-C2

rev.	data emiss.	eseguito da	elaborato da	Cantiere: Ponte sull'Adda Spino d'Adda (CR)
0		L.Cimitan	L.Cimitan	

Volume cumulativo	[mm ³ /g]	41.18
Superficie specifica	[m ² /g]	6.1221
Raggio medio	[μm]	0.04033
Σ Pori <0.01 μm	[%]	27.52
Σ Pori <0.1 μm	[%]	82.56
Σ Pori <0.5 μm	[%]	85.03

FIGURA 4

Instrument type : Porosimeter 2000
 Sample name : SD-C3
 Date : 05/06/08
 Chiesa Madonna dei campi

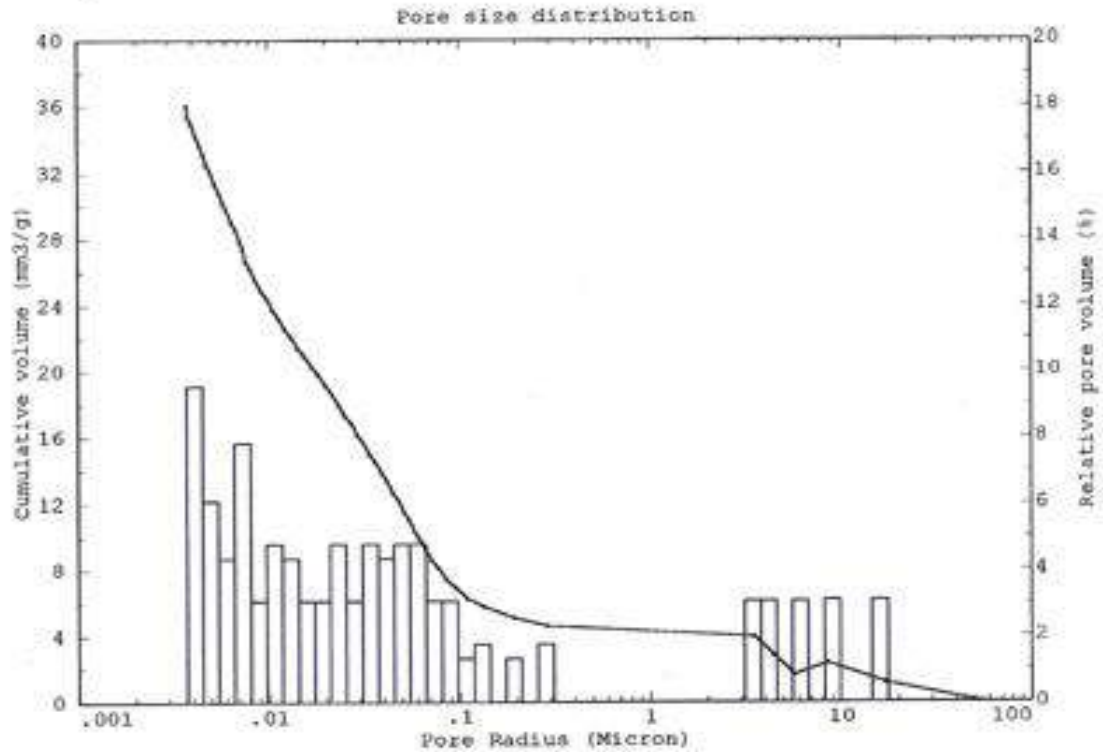


ANALISI POROSIMETRICA
campione SD-C3

rev.	data emiss.	eseguito da	elaborato da	Cantiere:	Ponte sull'Adda Spino d'Adda (CR)
0		L.Cimitan	L.Cimitan		

Volume cumulativo	[mm ³ /g]	33.28
Superficie specifica	[m ² /g]	4.609
Raggio medio	[μm]	0.042
Σ Pori <0.01 μm	[%]	21.81
Σ Pori <0.1 μm	[%]	79.25
Σ Pori <0.5 μm	[%]	83.55

Instrument type : Porosimeter 2000
 Sample name : SD-SG
 Date : 05/06/08
 Chiesa Madonna dei campi



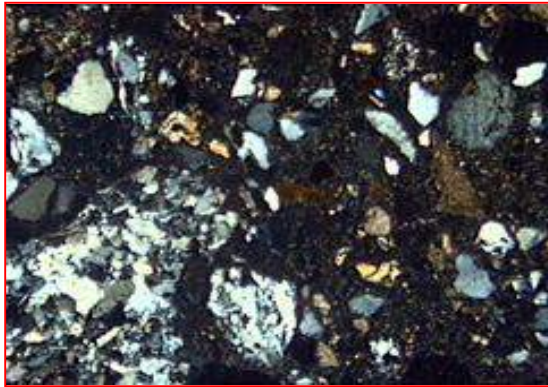
ANALISI POROSIMETRICA
campione SD-SG

rev.	data emiss.	eseguito da	elaborato da	Cantiere: Ponte sull'Adda Spino d'Adda (CR)
0		L.Cimitan	L.Cimitan	

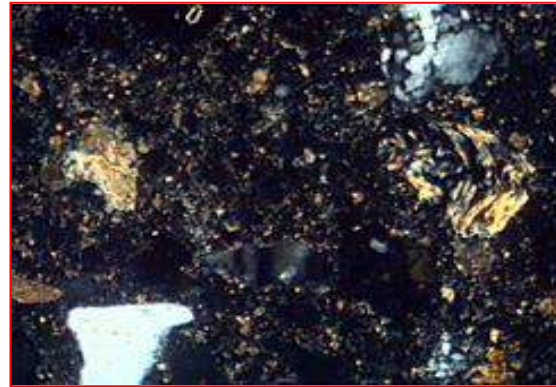
Volume cumulativo	[mm ³ /g]	37.90
Superficie specifica	[m ² /g]	5.759
Raggio medio	[μm]	0.046
Σ Pori <0.01μm	[%]	32.58
Σ Pori <0.1μm	[%]	78.62
Σ Pori <0.5μm	[%]	84.7

ANALISI PETROGRAFICA
scheda riassuntiva Campione SD-C2

rev.	data emiss.	eseguito da	elaborato da	Cantiere:	Ponte sull'Adda
0		L.Cimitan	L.Cimitan		Spino d'Adda (CR)



Luce trasmessa Nicol +; 70x al vero
 Visione generale della sezione.
 La matrice tra appare estinta.



Luce trasmessa Nicol +; 270x al vero
 Calcite di reazione ricristallizzata nella massa di fondo
 isotropa.

Campione: SD-C2
Classificazione:
Stato di conservazione

**Malta di cemento
 discreto**

Descrizione dell'aggregato	addensamento	alto	50%	
	composizione	eminent. silicatica	silicati 55-90%	
	litologia	Rocce del Basamento Cristallino (gneiss, micascisti), cristalli isolati di quarzo, feldspato e plagioclasio, lamelle di mica. Subordinati calcari e calcari dolomitici da micritici a sparitici.		
	granulometria	Conglomeratica	fine	8-4mm
	forma	sfericità	alta	
		arrotondamento	subarrotondato	
	distribuzione	omogenea		
Descrizione della massa di fondo	aspetto a Nicol x	colore:	tendenzialmente isotropa	
	aspetto a Nicol //	colore	beige	
	natura	idraulica		
	struttura	disomogenea		
	tessitura	sparitica	>10µm	
	granuli	di cemento	Ø µm	
	adesione	buona		
Porosità	quantità	bassa	<20%	
	origine	matrice		
	forma dei pori	bollosità	Ø µm	sferica
Note	Vetrificazione del gel tobermorolitico. Evidente ricristallizzazione della calcite di reazione. Granuli di cemento non reagiti alterati.			



ANALISI PETROGRAFICA

scheda riassuntiva Campione SD-C3

rev.	data emiss.	eseguito da	elaborato da	Cantiere:
0		L.Cimitan	L.Cimitan	Ponte sull'Adda Spino d'Adda (CR)



Luce trasmessa Nicol +; 70x al vero
Visione generale della sezione.
La matrice tra appare estinta.



Luce trasmessa Nicol //; 270x al vero
Granuli di cemento non reagito.

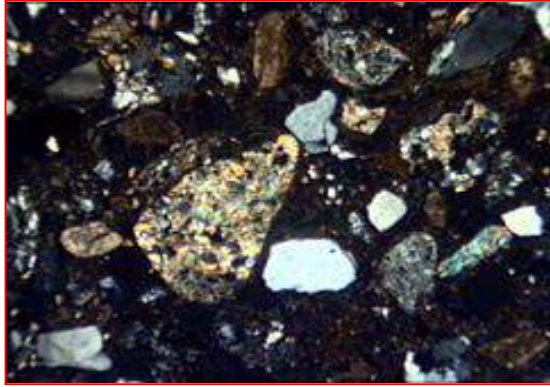
Campione: SD-C3
Classificazione: Malta di cemento
Stato di conservazione: dicreto

Descrizione dell'aggregato	addensamento		alto	50%	
	composizione		eminent. silicatica	silicati 55-90%	
	litologia		Rocce del Basamento Cristallino (gneiss, micascisti), cristalli isolati di quarzo, feldspato e plagioclasio, lamelle di mica. Subordinati calcari e calcari dolomitici da micritici a sparitici.		
	granulometria		Conglomeratica	fine	8-4mm
	forma		sfericità	alta	
			arrotondamento	subarrotondato	
distribuzione		omogenea			
Descrizione della massa di fondo	aspetto a Nicol x		colore: isotropa		
	aspetto a Nicol //		colore: beige		
	natura		idraulica		
	struttura		disomogenea		
	tessitura		sparitica		>10µm
	granuli		di cemento	Ø µm	
adesione		buona			
Porosità	quantità		media	20-40%	
	origine		matrice		
	forma dei pori	bollosità	Ø µm	lobata	
Note	Vetrificazione del gel tobermolitico. Evidente ricristallizzazione della calcite di reazione. Granuli di cemento non reagito alterati. Deboli segni di dilavamento.				

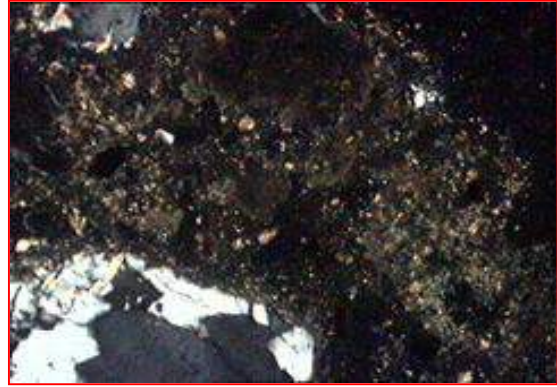


ANALISI PETROGRAFICA
scheda riassuntiva Campione SD-SG

rev.	data emiss.	eseguito da	elaborato da	Cantiere: Ponte sull'Adda Spino d'Adda (CR)
0		L.Cimitan	L.Cimitan	



Luce trasmessa Nicol +; 70x al vero
Visione generale della sezione.
La matrice tra appare estinta.



Luce trasmessa Nicol +; 270x al vero
Calcite di reazione ricristallizzata nella massa di fondo isotropa.

Campione: SD-SG
Classificazione: Malta di cemento
Stato di conservazione: dicsreto

Descrizione dell'aggregato	addensamento	alto	50%	
	composizione	eminent. silicatica	silicati 55-90%	
	litologia	Rocce del Basamento Cristallino (gneiss, micascisti), cristalli isolati di quarzo, feldspato e plagioclasio, lamelle di mica. Subordinati calcari e calcari dolomitici da micritici a sparitici.		
	granulometria	Conglomeratica	fine	8-4mm
	forma	sfericità	alta	
		arrotondamento	subarrotondato	
distribuzione	omogenea			
Descrizione della massa di fondo	aspetto a Nicol x	colore:	isotropa	
	aspetto a Nicol //	colore	beige	
	natura	idraulica		
	struttura	disomogenea		
	tessitura	sparitica	>10µm	
	granuli	di cemento	Ø µm	
adesione	buona			
Porosità	quantità	media	20-40%	
	origine	matrice		
	forma dei pori	bollosità	Ø µm	lobata
Note	Vetrificazione del gel tobermolitico. Evidente ricristallizzazione della calcite di reazione. Granuli di cemento non reagito alterati. Deboli segni di dilavamento.			