



Comune di Venezia (VE)

Azienda Veneziana della Mobilità

Ponte della Libertà



Indagini sulle strutture: Relazione Tecnica



ADVANCED
STRUCTURAL
CONTROL

SPIN-OFF DELL'UNIVERSITÀ DI PADOVA

EXPIN s.r.l. - ADVANCED STRUCTURAL CONTROL
SPINOFF DELL'UNIVERSITA' DI PADOVA
Via della Croce Rossa, 112 - PADOVA
Tel. 049.8697507 - Fax 049.8697511
C.F./P.IVA 04502850284 - info@expin.it



EXPIN s.r.l. – Advanced Structural Control – www.expin.it START CUBE - Via Croce Rossa 112, 35129 Padova

C.F. e P.I. 04502850284 – R. Imprese PD - REA n. 394965 TEL. 049 869 7507 – FAX 049 869 7511 – info@expin.it

ing. Filippo Casarin

Data: 08/01/2014

Collaboratori: ing. Emma Beccaro, ing. Matteo Fattoretto, ing. Paolo Girardello

Consegna

INDICE GENERALE

1	Introduzione.....	5
2	Descrizione generale del programma di indagini.....	6
3	Prove di martinetto piatto.....	8
3.1	Principi alla base dell'esecuzione del test di martinetto piatto singolo.....	8
3.2	Principi alla base dell'esecuzione del test di martinetto piatto doppio.....	11
3.3	Limiti e possibilità delle prove di martinetto piatto.....	13
3.4	Risultati della campagna di prove di martinetto piatto.....	16
3.4.1	Test di martinetto piatto singolo MPS 1.....	24
3.4.2	Test di martinetto piatto doppio MPD 1.....	26
3.4.1	Test di martinetto piatto singolo MPS 2.....	29
3.4.2	Test di martinetto piatto doppio MPD 2.....	31
3.4.1	Test di martinetto piatto doppio MPD 3.....	34
3.4.1	Test di martinetto piatto doppio MPD 4.....	38
4	Prove di carotaggio e di determinazione dell'indice dei vuoti del materiale di riempimento.....	42
4.1	Indice dei vuoti.....	43
5	Prove di compressione sui provini di calcestruzzo.....	44
5.1.1	La prova di resistenza alla compressione secondo UNI EN 12390-3.....	44
5.1.1	Osservazioni circa la stima della resistenza meccanica in situ ottenuta su provini estratti per carotaggio*.....	46
5.1.2	Esecuzione della prova di compressione.....	47
6	Risultati conclusivi della campagna di prove eseguite.....	54
	Bibliografia e normativa di riferimento martinetti piatti.....	59
	Bibliografia tecnica di riferimento.....	60
	Schede tecniche della strumentazione.....	61

1 INTRODUZIONE

Nella presente relazione si riportano i risultati emersi dalla ***campagna di indagini sperimentali***, effettuata dalla società EXPIN srl – ADVANCED STRUCTURAL CONTROL – Spin-off dell’Università di Padova, con sede in via della Croce Rossa 112, 35129 – Padova, presso il Ponte della Libertà a Venezia (VE).

Tale campagna sperimentale, svolta - per la parte di prove debolmente distruttive - dal Laboratorio Prove sui Materiali da Costruzione del Dipartimento di Costruzioni e Trasporti dell’Università di Padova, ha avuto come principale obiettivo la valutazione della consistenza delle strutture, utilizzando misurazioni di carattere debolmente distruttivo (prove di martinetto piatto).

Per le prove per la determinazione delle caratteristiche stratigrafiche delle strutture del ponte (carotaggi, determinazione dell’indice dei vuoti del materiale estratto) è intervenuta la ditta GEORICERCHE S.r.l. con ufficio tecnico in via Mezzavia, 85 – 35020, Due Carrare (PD).

Si descrivono nel seguito il programma generale di indagini (cap. 2) e i risultati ottenuti con l’interpretazione dei dati sperimentali acquisiti, fornendo un breve cenno teorico per ogni tipologia di prova effettuata. In Allegato si riporta la relazione specialistica sulle indagini geotecniche effettuate.

In Figura 1-1 si mostra la localizzazione del ponte della Libertà a Venezia.



Figura 1-1: Ponte della Libertà a Venezia

2 DESCRIZIONE GENERALE DEL PROGRAMMA DI INDAGINI

Nei giorni dal 9 al 19 dicembre 2013 si sono svolte le indagini sperimentali presso il Ponte della Libertà a Venezia. La campagna è stata eseguita al fine di determinare le principali caratteristiche delle strutture, per la realizzazione dell'itinerario ciclabile a sbalzo. Le prove eseguite hanno avuto carattere debolmente distruttivo nei riguardi del manufatto (carotaggi, prove di martinetto piatto, prove di compressione sulle carote di calcestruzzo). In relazione agli scopi della campagna diagnostica si sono pertanto eseguite le seguenti prove:

- n. 2 prove con **martinetto piatto singolo** e 4 prove con **martinetto piatto doppio** (Figura 2-1) al fine di ottenere informazioni circa la tensione locale della muratura (martinetto singolo) e le caratteristiche meccaniche della muratura indagata in termini di modulo elastico (martinetto doppio);

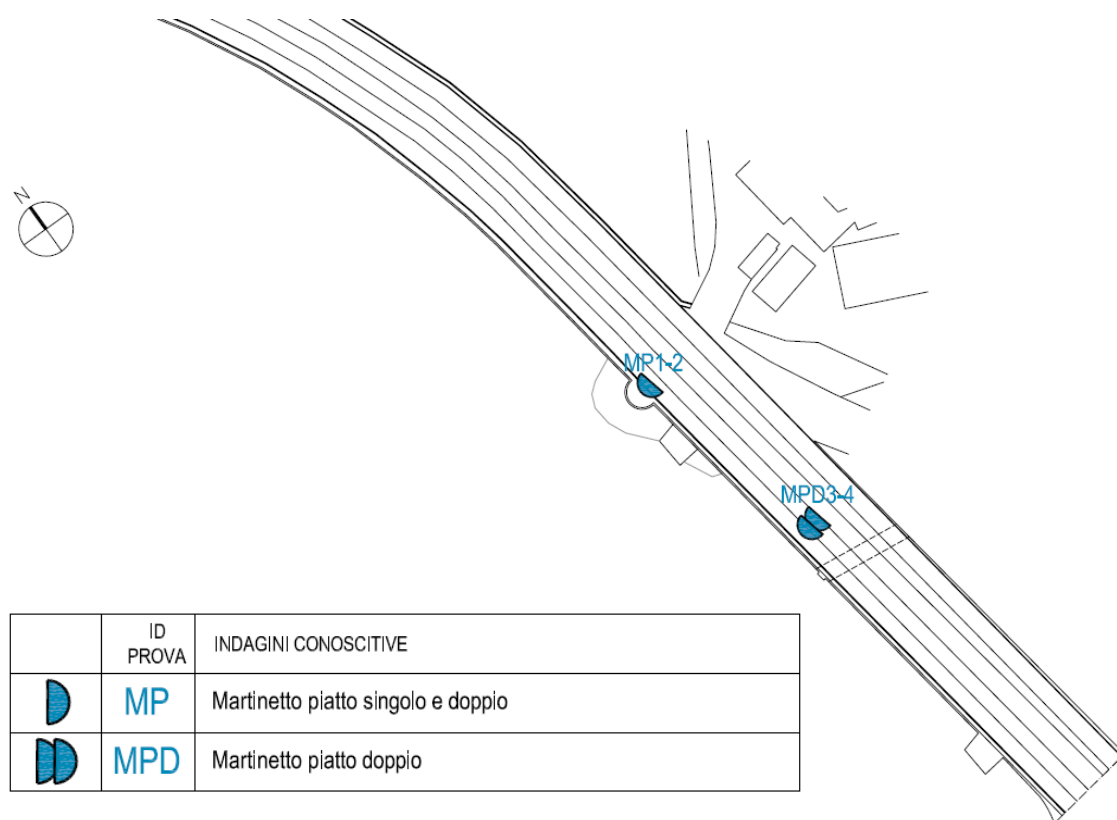


Figura 2-1: localizzazione delle prove di martinetto piatto singolo e doppio

- n. 12 **sondaggi** mediante perforatrice a carotaggio continuo (Figura 2-2) per effettuare i prelievi di campioni di materiale da sottoporre alle prove specifiche di laboratorio, e per la esatta determinazione delle stratigrafie compositive;

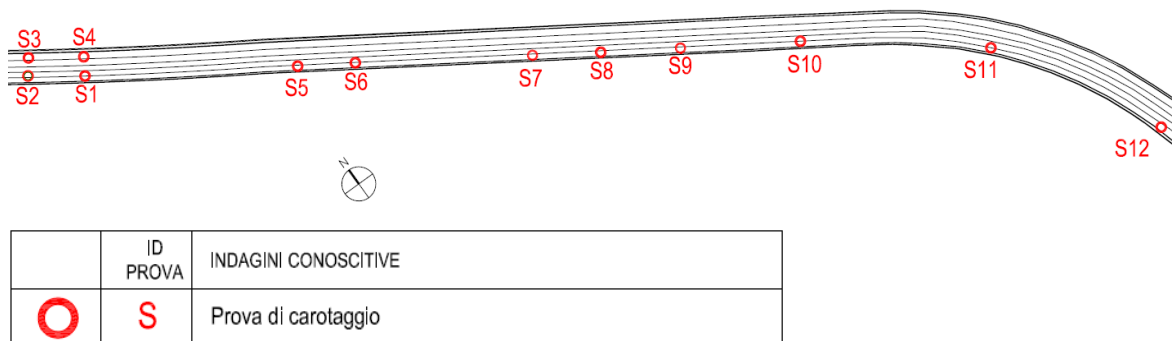


Figura 2-2: localizzazione delle prove di carotaggio

- n. 7 prove per la **determinazione dell'indice dei vuoti** del materiale di riempimento presente sopra le strutture del ponte (Figura 2-3);

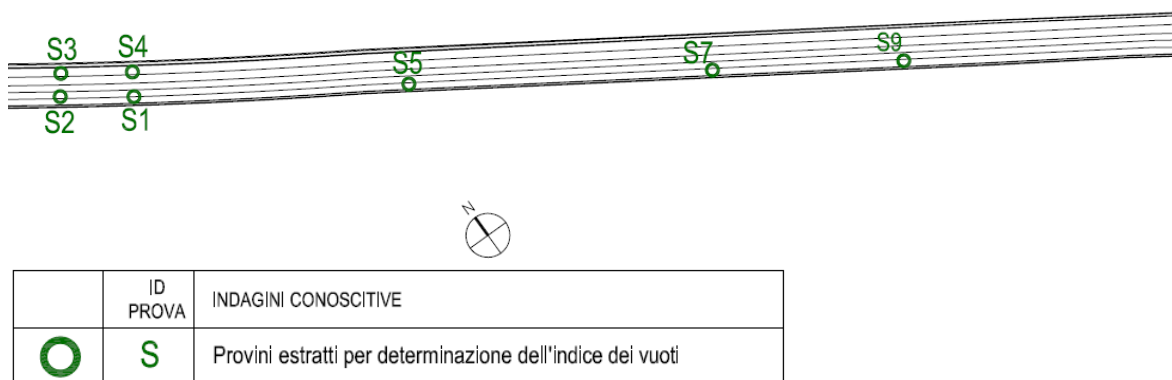


Figura 2-3: localizzazione dei provini estratti per la determinazione dell'indice dei vuoti

- n. 15 prove di **compressione sulle carote** (Figura 2-4) per la determinazione della resistenza a schiacciamento del materiale.

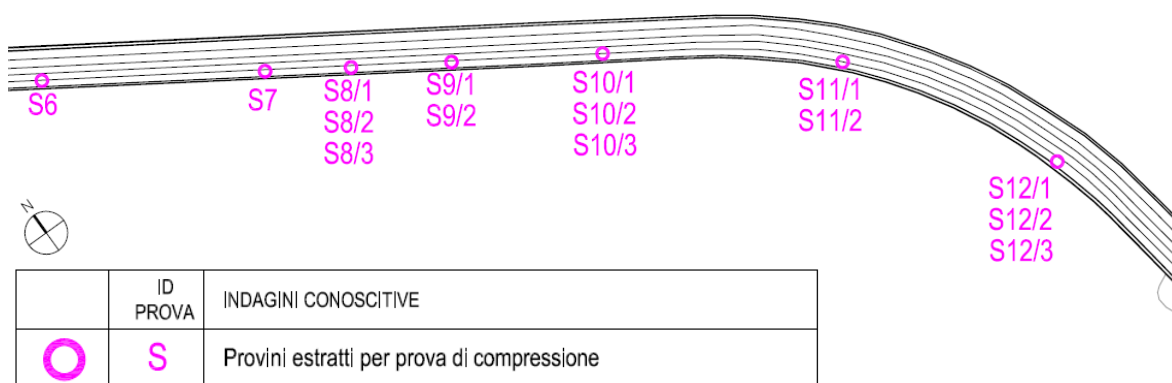


Figura 2-4: localizzazione dei provini estratti per le prove di compressione

3 PROVE DI MARTINETTO PIATTO

Le prove di martinetto piatto si sono affermate, a livello nazionale ed internazionale, come metodologia relativamente semplice e sufficientemente non invasiva per la determinazione delle caratteristiche meccaniche della muratura indagata. Mediante le prove di martinetto piatto è infatti possibile determinare, con un accettabile margine di errore, tanto lo stato locale di tensione nel solido indagato che le caratteristiche di deformabilità dello stesso.

Nel seguito viene descritta la metodologia delle prove di martinetto piatto singolo e doppio, in relazione alle normative tecniche di riferimento:

- RILEM Recommendation MDT.D.4: In situ stress tests based on the flat-jack;
- RILEM Recommendation MDT.D.5: In situ stress-strain behavior tests based on the flat jack;
- ASTM C 1196-09: Standard test method for in situ compressive stress within solid unit masonry estimated using flat jack measurement;
- ASTM C 1197-04: In situ measurement of masonry deformability properties using the flat jack method.

3.1 PRINCIPI ALLA BASE DELL'ESECUZIONE DEL TEST DI MARTINETTO PIATTO SINGOLO

La prova con martinetto piatto singolo permette di stimare lo stato di tensione locale presente nelle strutture murarie. La tecnica di prova si basa sulla variazione dello stato tensionale in un punto della struttura provocato da un taglio piano eseguito in direzione normale alla superficie della muratura. Il taglio viene realizzato mediante sega idraulica con lama diamantata circolare. Il rilascio delle tensioni che si manifesta provoca una parziale chiusura del taglio, che viene rilevata tramite misure di distanza relativa fra coppie di punti posti in posizione simmetrica rispetto al taglio stesso (Figura 3-1: schema di disposizione dei sensori nel test di martinetto piatto singolo).

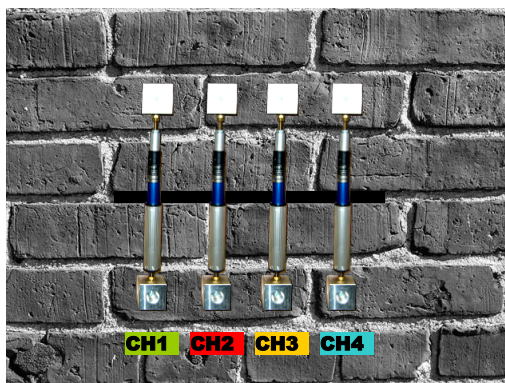
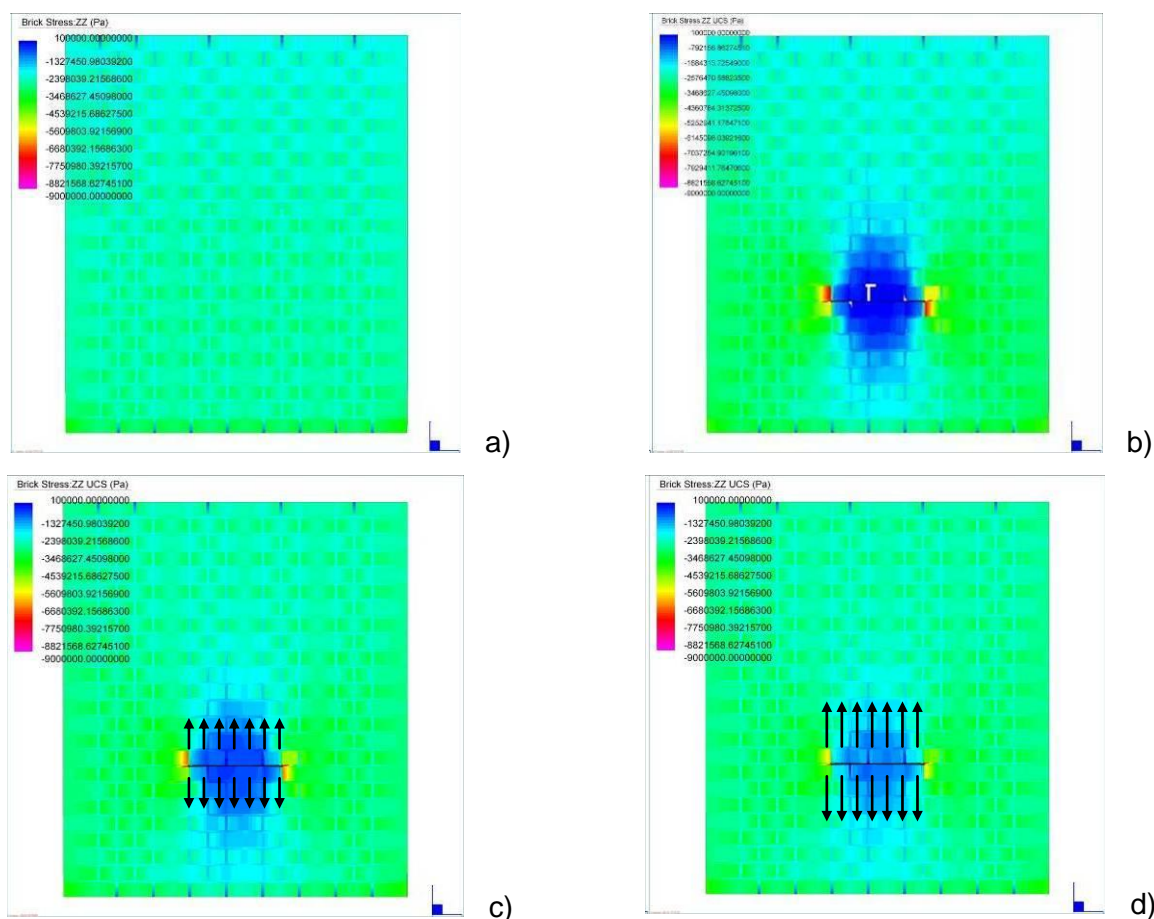


Figura 3-1: schema di disposizione dei sensori nel test di martinetto piatto singolo

Viene quindi inserito all'interno del taglio un martinetto piatto, realizzato mediante sottili lamiere di acciaio saldate, che viene collegato al circuito idraulico di una pompa. La pressione interna viene quindi gradualmente aumentata fino ad annullare la deformazione misurata successivamente all'esecuzione del taglio. In queste condizioni la pressione all'interno del martinetto è uguale in prima approssimazione alla sollecitazione preesistente nella muratura in direzione normale al piano del martinetto, a meno di una costante sperimentale che tiene conto del rapporto tra l'area del martinetto e l'area del taglio (k_A), ed a meno di una costante che tiene conto della rigidità intrinseca di ogni martinetto (k_M). In Figura 3-2 viene riportata la visualizzazione grafica delle fasi successive dell'esecuzione del test di martinetto piatto singolo (simulazione numerica).



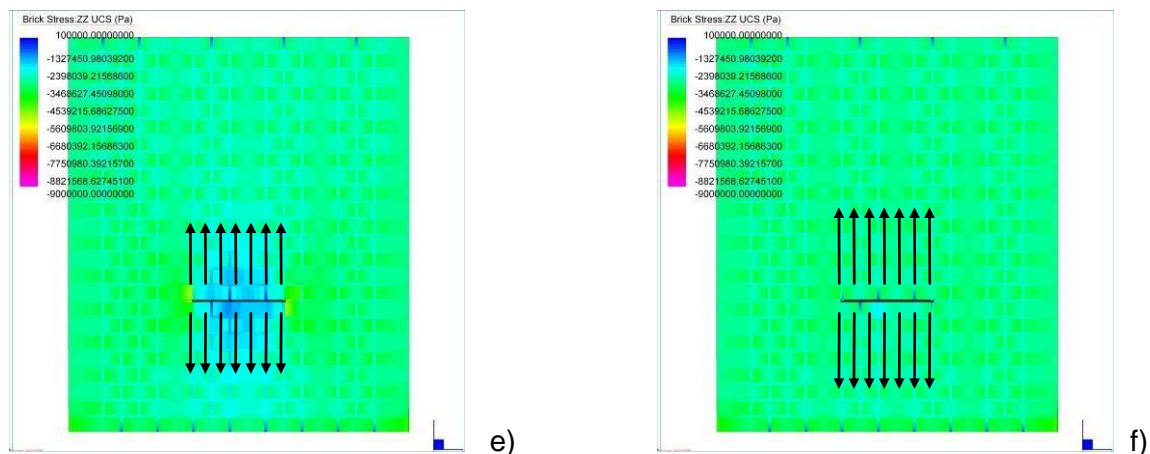


Figura 3-2: simulazione numerica del test di martinetto piatto singolo: a) pannello murario uniformemente soggetto ad una tensione di compressione di 2,0 MPa; b) esecuzione del taglio e variazione del quadro tensionale: si nota lo scarico delle porzioni di muratura immediatamente al di sopra e sotto del taglio, con avvicinamento relativo dei lembi; applicazione di pressione sul piano di taglio mediante pompaggio di olio all'interno del martinetto piatto: pressione nel martinetto pari a: c) 0,5 MPa; d) 1,0 MPa; e) 1,5 MPa; f) 2,0 MPa: compensazione delle distanze iniziali tra i lembi e ripristino del quadro tensionale iniziale – termine della prova

I risultati della prova di martinetto piatto singolo vengono generalmente rappresentati mediante un diagramma in cui in ascissa si legge la tensione, ovvero la pressione dell'olio all'interno del martinetto moltiplicata per le costanti d'area e di martinetto (k_A e k_M), ed in ordinata si leggono le distanze relative tra le basi di misura posizionate al di sopra ed al di sotto del taglio (Figura 3-3). La prova si considera ultimata quando – in seguito ad incremento di pressione nel martinetto - si ottiene il ripristino delle misurazioni iniziali (le misure relative si portano sullo zero), e la corrispondente pressione letta al martinetto è la tensione locale nella muratura, a meno delle costanti moltiplicative k_A e k_M .

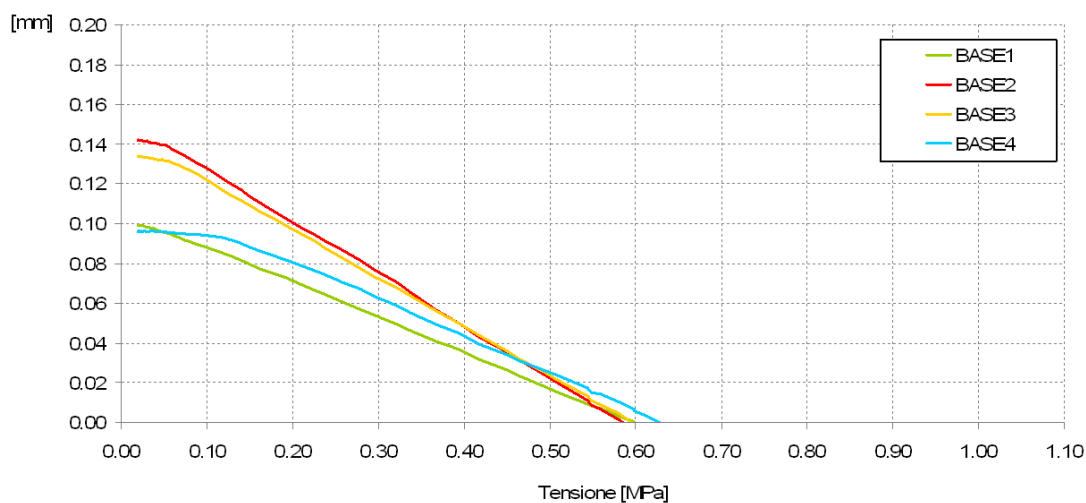


Figura 3-3: rappresentazione tipica dei risultati di una prova di martinetto piatto singolo: in ordinata le distanze relative tra le basi di misura posizionate al di sopra ed al di sotto del taglio, in ascissa la tensione applicata alla muratura

3.2 PRINCIPI ALLA BASE DELL'ESECUZIONE DEL TEST DI MARTINETTO PIATTO DOPPIO

La prova con martinetto piatto doppio consente di determinare le caratteristiche di deformabilità della muratura, nonché di fornire una stima della resistenza muraria al limite elastico. La prova consiste nell'effettuare due tagli, paralleli fra loro ad una distanza variabile (che dipende dagli elementi resistenti della muratura investigata e dalla larghezza del martinetto utilizzato, potendo variare tra 1 e 1,5 volte quest'ultima dimensione), entro cui inserire i due martinetti. Ciò consente di delimitare un campione di muratura rappresentativo per dimensioni del comportamento meccanico della stessa. I due martinetti paralleli - opportunamente messi in pressione - applicano al campione interposto uno stato di sollecitazione monoassiale, e le deformazioni risultanti nella porzione muraria vengono misurate da un numero adeguato di sensori di spostamento in direzione ortogonale e parallela ai piani di inserimento dei martinetti (Figura 3-4), al fine di determinare il diagramma tensione deformazione della muratura indagata.

Spesso la prova si effettua in corrispondenza di un punto di esecuzione di un martinetto piatto singolo, praticando un secondo taglio parallelo al primo.

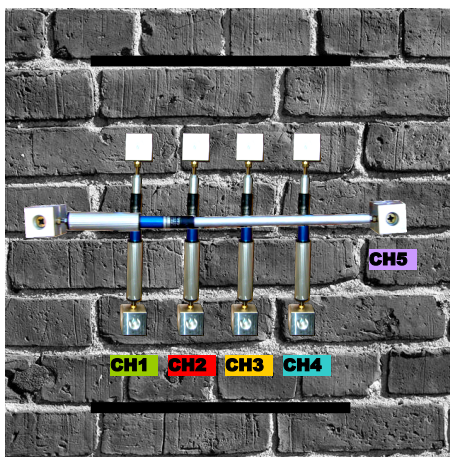


Figura 3-4: schema di disposizione dei sensori nel test di martinetto piatto doppio

Generalmente il carico viene applicato in maniera ciclica, ovvero con cicli di carico con incrementi crescenti di pressione nei martinetti intervallati dallo scarico completo di questi. La prova viene spinta fino ad una pressione superiore allo stato di compressione locale precedentemente determinato con prova di martinetto piatto singolo, limitando la tensione massima raggiunta nei cicli di carico ad un valore sufficientemente inferiore alla tensione di rottura del materiale. In Figura 3-5 viene riportata la visualizzazione grafica del test di martinetto piatto doppio (simulazione numerica).

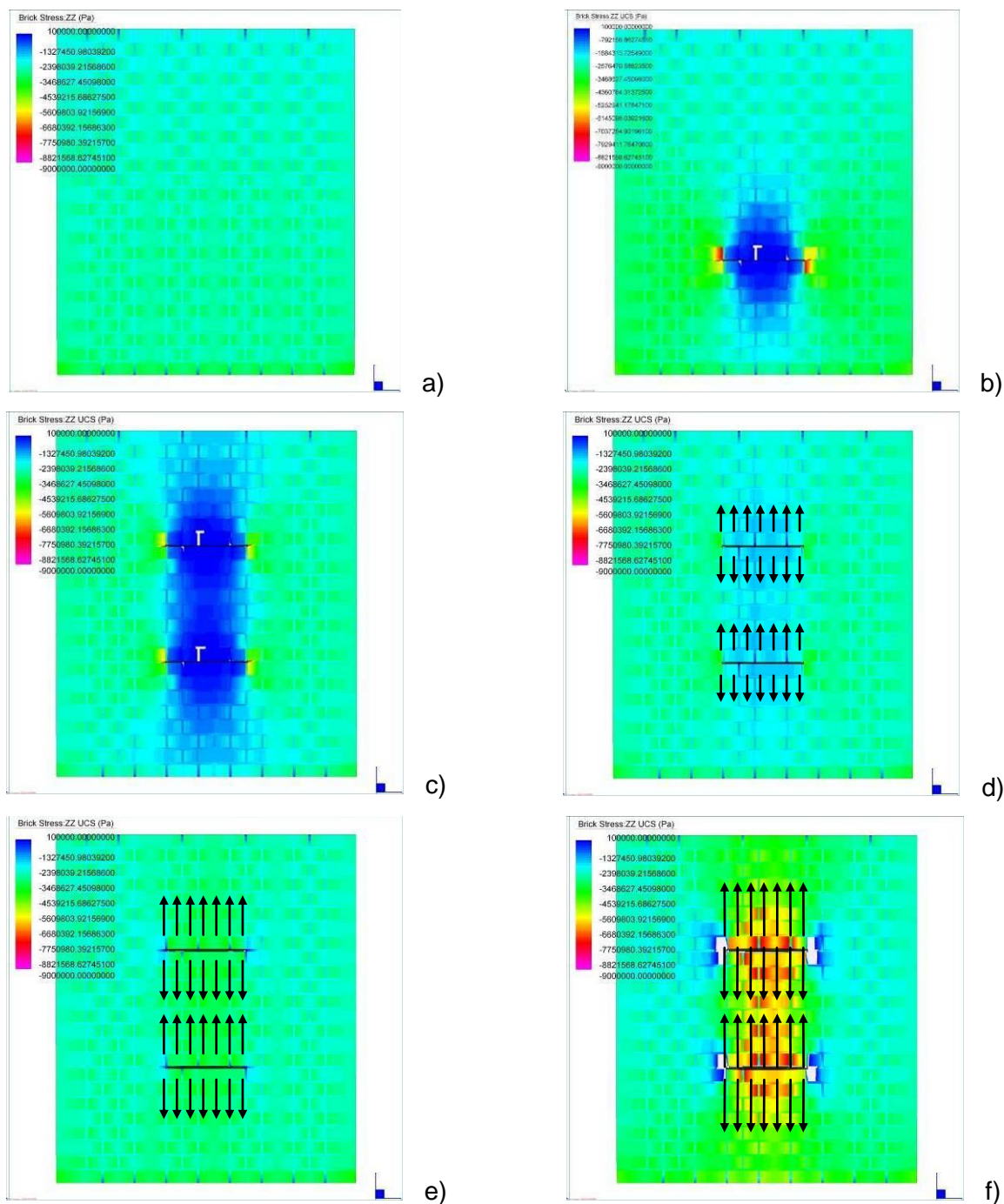


Figura 3-5: simulazione numerica del test di martinetto piatto doppio: a) pannello murario uniformemente soggetto ad una tensione di compressione di 2,0 MPa; esecuzione del taglio inferiore b) e superiore c), variazione del quadro tensionale: si nota lo scarico delle porzioni di muratura compressa tra i tagli ed al di sopra e sotto di questi; applicazione di pressione sulla muratura mediante pompaggio di olio all'interno dei martinetti piatti: pressione nei martinetti pari a: d) 1,5 MPa; e) 3,0 MPa; f) 6,0 MPa – si nota la compressione – relativamente uniforme - della muratura compressa tra i tagli e la conseguente deformazione nella stessa

I risultati della prova di martinetto piatto doppio vengono generalmente rappresentati mediante un diagramma in cui in ascissa si leggono le deformazioni registrate nelle basi di misura (positive – accorciamento – basi verticali; negative – allungamento – basi

orizzontali), in ordinata la tensione applicata alla muratura compresa tra i martinetti, ovvero la pressione dell'olio all'interno dei martinetti moltiplicata per le costanti d'area e di martinetto (k_A e k_M) - Figura 3-6. La pendenza della curva di carico corrisponde per le basi verticali al modulo di rigidezza della muratura indagata (E , modulo di Young).

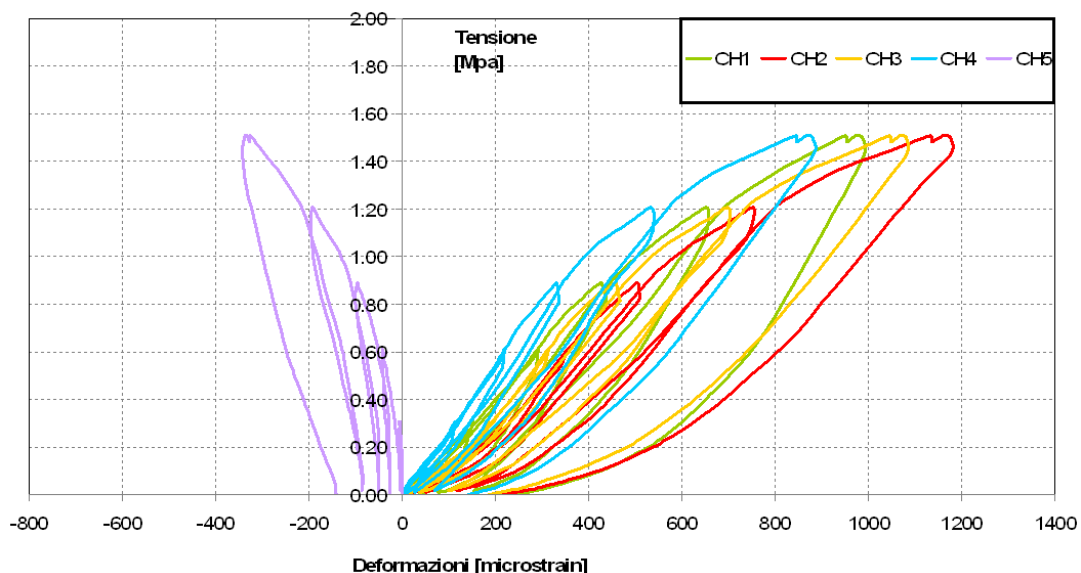


Figura 3-6: rappresentazione tipica dei risultati di una prova di martinetto piatto doppio: in ascissa le deformazioni registrate nelle basi di misura (positive – accorciamento – basi verticali; negative – allungamento – basi orizzontali), in ordinata la tensione applicata alla muratura

3.3 LIMITI E POSSIBILITÀ DELLE PROVE DI MARTINETTO PIATTO

Le prove di martinetto piatto possono essere attualmente considerate le uniche prove “debolmente distruttive” disponibili in sito – passate attraverso numerosi anni di sperimentazione – che possano proporre dei risultati sufficientemente attendibili circa le caratteristiche locali di tensione e deformabilità delle strutture in muratura. A tale riguardo si può quindi affermare che tale metodologia di indagine è in grado di fornire risultati di natura quantitativa, sia per la rilevazione del tenore locale di tensione che per la valutazione della deformabilità delle murature.

Se tuttavia si considera la muratura (ed in particolare la muratura storica) come un materiale fortemente eterogeneo, anisotropo e con notevoli variazioni (tipologiche, di materiali, di periodo di costruzione.....) all'interno dello stesso edificio indagato, emerge che i risultati di tali prove, generalmente condotte in numero ridotto all'interno di un singolo edificio, assumono complessivamente delle caratteristiche “qualitative”, ovvero riescono a proporre delle informazioni “generali” sulle murature indagate, in particolar modo nell'estrapolazione dei risultati acquisiti (tensione locale, parametri meccanici) ai fini del calcolo o della verifica strutturale (statica, sismica). E' ad esempio indicativo il fatto

che i risultati di tensione locale rilevati dalla prova di martinetto piatto singolo in molti casi forniscono dei risultati discordanti rispetto a quanto emerge dalla valutazione della tensione locale per via analitica o modellazione numerica, essendo ciò dovuto ad un insieme di fattori, alcuni dei quali di difficile determinazione (ad es. presenza di muratura di differenti caratteristiche meccaniche nello spessore, presenza di precedenti interventi di consolidamento – scuci-cuci – o cedimenti fondazionali che alterano fortemente il quadro tensionale all’interno delle murature....). Se poi si considera la prova di martinetto piatto doppio, anche in questo caso forti variazioni possono emergere da situazioni locali dei paramenti murari all’interno dello stesso edificio analizzato.

Pertanto, l’elaborazione dei dati emersi dalle prove e la loro interpretazione rappresenta un punto fondamentale per la comprensione degli effettivi risultati dei test. I dati acquisiti sono difatti influenzati dalla tipologia muraria, la posizione di esecuzione del test, la presenza di discontinuità all’interno del solido murario. Il giudizio sui risultati, come già menzionato in molti casi contrastanti tra loro, deve pertanto tener conto di situazioni particolari quali la concentrazione di tensione nelle strutture indagate, la presenza di deformazioni anelastiche nella muratura, la presenza di basse tensioni di compressione (particolarmente evidente negli edifici bassi, di uno o due piani, per mancanza di adeguato contrasto offerto dal peso delle murature soprastanti).

Inoltre, la distribuzione delle tensioni non è uniforme lungo il taglio eseguito a causa degli effetti di bordo del taglio stesso e della maggiore rigidità del martinetto in prossimità delle saldature, per cui spostamenti/deformazioni maggiori si riscontrano nella parte centrale del taglio sia nella prova di martinetto singolo (i lembi del taglio si avvicinano maggiormente nella parte centrale dello stesso, ove quindi si misurano spostamenti maggiori) che in quella di martinetto doppio (il pannello murario compreso tra i due martinetti non è soggetto ad uno stato uniforme di compressione, sia per il comportamento meccanico del martinetto – che presenta maggiore rigidità ai bordi e quindi carica “meno” lateralmente – che per gli effetti della muratura laterale che influisce sulla distribuzione delle tensioni). Tale effetto fa in particolare emergere una apparente maggiore rigidità muraria (nella prova di martinetto piatto doppio) nelle basi di misura laterali e quindi vicine ai bordi del taglio, ed al contrario minore nelle basi poste centralmente rispetto ai tagli, essendo ciò dovuto non a comportamenti disomogenei della muratura ma a disuniformi tensioni di compressione all’interno del pannello stesso (Figura 3-7).

Anche nella prova di martinetto piatto singolo si nota come i dati emersi dai singoli sensori possano presentare dei comportamenti differenti, come la differente compensazione degli spostamenti durante la prova (Figura 3-8).

Infine, i risultati dei test devono essere considerati non attendibili ove si verificano importanti irregolarità nella risposta, ovvero quando non si riesca ad ottenere una compensazione degli spostamenti in tutte le basi di lettura (nel caso di martinetto piatto singolo), nel caso in cui la muratura soprastante non fornisca un adeguato contrasto per l'esecuzione della prova di martinetto piatto doppio, quando la risposta indichi una muratura eccessivamente "debole" o disomogenea.

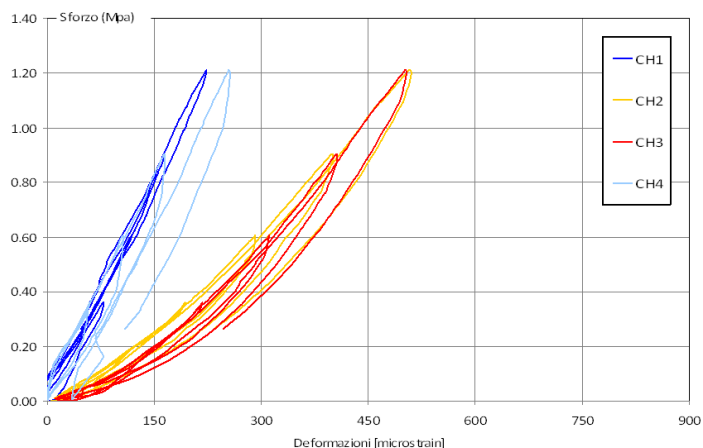


Figura 3-7: prova di martinetto piatto doppio, diagramma tensioni deformazioni: si nota il differente comportamento delle basi centrali (CH 2-3, colori rosso-giallo – E apparente = 2500 MPa) rispetto alle laterali (CH 1-4, colori blu-azzurro – E apparente = 5000 MPa)

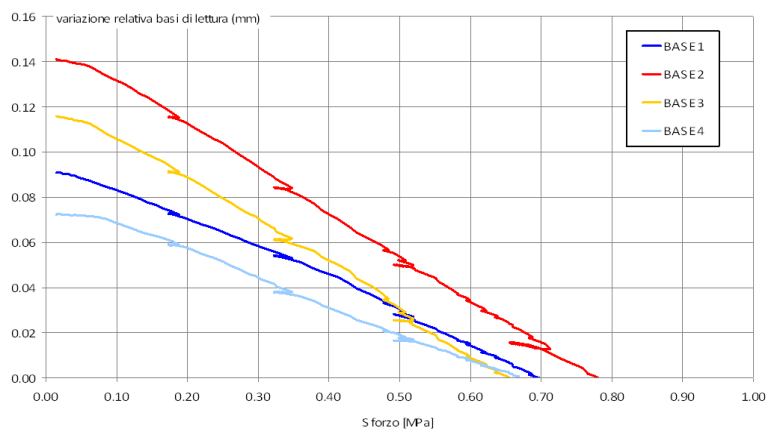


Figura 3-8: prova di martinetto piatto singolo, diagramma spostamenti relativi - tensioni: si nota il differente comportamento delle basi centrali (CH 2-3, colori rosso-giallo – maggiori spostamenti iniziali) rispetto alle laterali (CH 1-4, colori blu-azzurro)

3.4 RISULTATI DELLA CAMPAGNA DI PROVE DI MARTINETTO PIATTO

Nei giorni 13 e 19 dicembre 2013 si sono eseguite 2 prove di martinetto piatto singolo e 4 di martinetto piatto doppio, in punti precedentemente individuati al fine di determinare con esattezza i parametri meccanici delle strutture murarie a cui verrà ancorata la passerella a sbalzo.

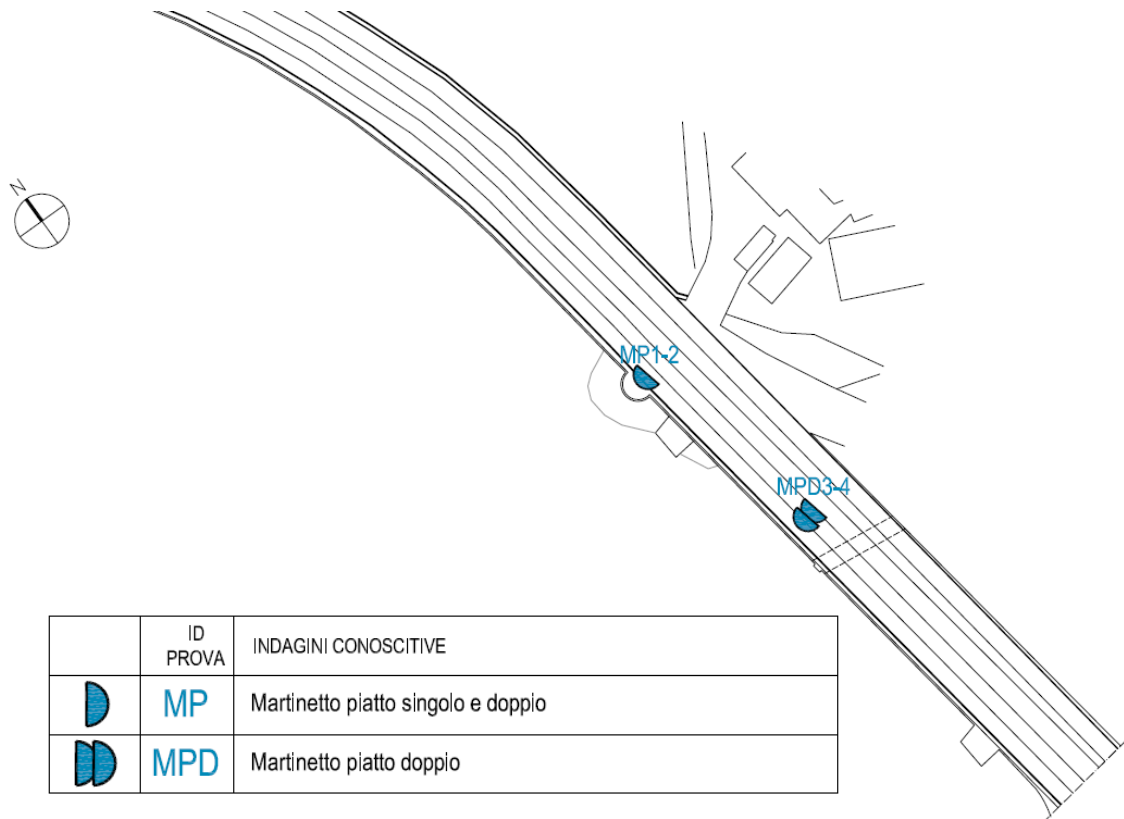


Figura 3-9: localizzazione delle prove di martinetto piatto singolo e doppio

Le prove sono state condotte con riferimento alle seguenti normative:

- ASTM C 1196-09 - Standard test method for in situ compressive stress within solid unit masonry estimated using flat jack measurement;
- ASTM C 1197-04 - In situ measurement of masonry deformability properties using the flat jack method;
- RILEM Lum 90/2 Lum.D.2. - In situ stress based on the flat jack;
- RILEM Lum 90/2 LumD3 - In situ strength and elasticity tests based on the flat jack.

In riferimento al test di **martinetto piatto singolo**, la metodologia di prova è consistita, una volta individuato il punto di esecuzione nella muratura, nel fissaggio mediante viti e tasselli di 8 basi di misura. Si è scelto di impiegare quattro trasduttori di spostamento, per i quali sono stati fissati 8 dadi di alluminio con fori di alloggiamento per i sensori (4 al di

sopra e 4 al di sotto del taglio). Tale strumentazione è stata impiegata per la misurazione delle distanze iniziali e finali (pre-taglio – post-taglio) delle basi di misura (Figura 3-10). Le basi hanno lunghezza (distanza tra i centri del dado/base superiore ed inferiore) pari a circa 230 mm, e passo orizzontale pari a 60-80 mm.



Figura 3-10: fissaggio delle basi di misura, test di martinetto piatto singolo

E' stata quindi misurata elettronicamente (mediante applicazione di trasduttori di spostamento potenziometrici lineari collegati ad unità di acquisizione interfacciata tramite porta USB a computer portatile provvisto di apposito software sviluppato in ambiente Labview™) la distanza iniziale tra i dadi superiore ed inferiore, lasciando un tempo adeguato alla stabilizzazione della lettura, acquisita in continuo ad una frequenza di campionamento pari ad una lettura al secondo (1 SPS). I sensori sono stati successivamente rimossi e si è proceduto al taglio della muratura mediante mototroncatrice eccentrica a lama circolare diamantata (Figura 3-11).



Figura 3-11: esecuzione del taglio nella muratura e inserimento del martinetto all'interno del taglio

E' stato successivamente inserito il martinetto piatto semicircolare all'interno del foro (le dimensioni del martinetto coincidono con quelle eseguite nella muratura mediante mototroncatrice, larghezza del taglio pari a 350 mm - profondità pari a 260 mm), sono stati ricollocati i sensori di spostamento per l'acquisizione delle letture di distanza relativa durante l'esecuzione della prova ed è stato posizionato il trasduttore di pressione ad un tubo di estremità del martinetto piatto e collegato il martinetto ad una pompa idraulica manuale per l'esecuzione della prova (Figura 3-12).



Figura 3-12: martinetto inserito all'interno del taglio: da sinistra il tubo di ingresso dell'olio all'interno del martinetto, i sensori di spostamento ricollocati nelle precedenti posizioni, il trasduttore di pressione

La pressione è stata quindi incrementata nel martinetto, mediante la pompa idraulica manuale, fino al ripristino, nelle basi verticali di misura, della misura letta precedentemente all'esecuzione del taglio, con una deviazione media accettabile della distanza tra le basi dalla distanza iniziale inferiore al valore massimo tra 0.0127 mm e 1/20 della deviazione iniziale massima. Rilevato il valore di pressione corrispondente all'annullamento della convergenza provocata dal taglio, si è diminuita la pressione, fino a scaricare la muratura. Il valore dello stato di sforzo è stato calcolato con la seguente relazione:

$$\sigma_m = P \cdot K_a \cdot K_m$$

dove:

P = pressione del martinetto che permette di ristabilire la distanza iniziale tra le basi (media dei valori di pressione corrispondenti ad uno spostamento nullo delle quattro basi di misura, ottenuti per interpolazione);

K_a = costante adimensionale che rappresenta il rapporto tra l'area del martinetto e l'area del taglio nella muratura, considerata pari a 1 (larghezza martinetto pari a 350 mm);

K_m = costante adimensionale, dipendente dalla geometria e dalla rigidezza del martinetto, riportata sul certificato di taratura del martinetto stesso, pari a 0,85 per i martinetti utilizzati.

La prova di **martinetto piatto doppio** è stata eseguita nelle stesse posizioni di prova del martinetto piatto singolo, eseguendo un taglio parallelo al primo in modo da isolare un campione di muratura di dimensioni circa pari a 350 x 500 mm (Figura 3-13). Sono state disposte 4 basi di misura verticali ed 1 orizzontale nel campione murario compreso tra i due tagli (distanza tra gli assi dei dadi di alluminio pari a circa 300-350 mm e 400 mm rispettivamente per le basi verticali ed orizzontali).



Figura 3-13: esecuzione del taglio nella muratura e fissaggio delle basi di misura

Sono stati quindi inseriti i martinetti piatti all'interno dei tagli, posizionati i trasduttori di spostamento verticali ed orizzontali, collegati tra loro i martinetti mediante tubo in PVC, applicato all'estremità del martinetto superiore il trasduttore e collegato il martinetto inferiore alla pompa idraulica manuale (Figura 3-14).



Figura 3-14: prova di martinetto piatto doppio: disposizione delle basi di misura e dei sensori

Nel corso della prova il campione murario posto tra i due martinetti viene sottoposto a compressione monoassiale. Si effettuano cicli di carico e scarico a livelli di sollecitazione crescenti generalmente fino al raggiungimento del limite di comportamento “elastico” del materiale, o al di sopra di questo nel caso si voglia indagare il ramo di comportamento non lineare del materiale. La pressione viene applicata per passi discreti (pari a 0,3 - 0,6 MPa) e registrata in automatico, contemporaneamente alle corrispondenti letture degli spostamenti, mediante una centralina di acquisizione dati collegata ad un computer portatile.



Figura 3-15: prova di martinetto piatto doppio, schermata del software di acquisizione durante l'esecuzione della prova

La catena di acquisizione risulta composta dai trasduttori di spostamento (Penny+Giles mod. MLS130/25/S/P) e pressione (AEP mod. TP 14 - 100 bar), i primi a registrare le deformazioni murarie ed i secondi le variazioni di pressione all'interno dei martinetti piatti, collegati tramite cavo di segnale ad una morsettiera in cui si trova la scheda di acquisizione (National Instruments mod. USB-6210), a sua volta connessa tramite cavo USB ad un computer portatile. I martinetti vengono messi in pressione mediante una pompa idraulica manuale. Lo schema di acquisizione del sistema di martinetto piatto singolo e doppio è riportato in Figura 3-16. I dati tecnici della strumentazione sono riportati al termine della relazione.

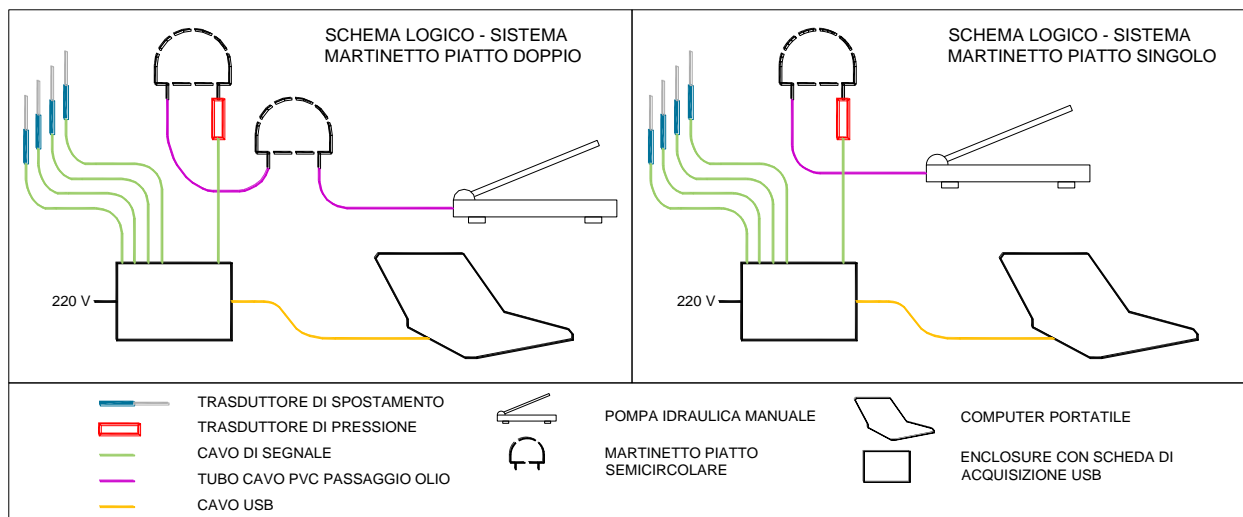


Figura 3-16: schema logico di funzionamento, prova di martinetto doppio e singolo

Il software di acquisizione è stato sviluppato in ambiente Labview™, e prevede metodologie di acquisizione differenziate per le prove di martinetto piatto singolo e doppio. La prova di martinetto piatto singolo (modalità “config”) inizia con la lettura della lunghezza delle basi di misura pre taglio, e consente la visualizzazione in diretta delle letture contro il tempo, al fine di valutare la stabilizzazione delle stesse. Vengono quindi inseriti i dati necessari all'esecuzione della prova quali le costanti d'area e di martinetto, vengono selezionati i sensori relativamente ai diversi canali, viene scelta la frequenza di campionamento. Viene così salvato il file di configurazione della prova, e successivamente eseguito il taglio nella muratura. Il pannello di acquisizione visualizzato durante la prova (modalità “test”), consente di visualizzare la variazione delle letture di misura delle basi sia contro il tempo (finestra a sinistra) che contro la pressione nel martinetto – stress nella muratura. I dati vengono riportati anche in cifra digitale con visualizzazione del valore assoluto e relativo (lettura attuale meno lettura pre taglio). E' possibile impostare delle condizioni, precedentemente all'inizio della prova, relativamente al soddisfacimento delle richieste normative sulla validità dell'esecuzione del test (distorsione media a compensazione su tutti gli strumenti di lettura – e massima su singolo sensore - inferiore ad un valore scelto dall'utente), con visualizzazione di led di soddisfacimento delle stesse durante lo svolgimento della prova. Le visualizzazioni delle modalità di configurazione ed acquisizione dati durante lo svolgimento della prova di martinetto piatto singolo sono riportate in Figura 3-17.

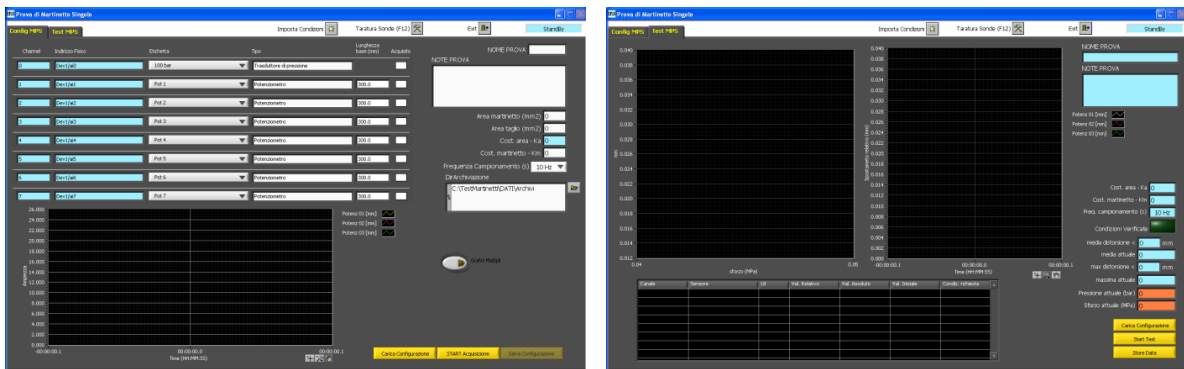


Figura 3-17: software di acquisizione, prova di martinetto singolo: a sinistra schermata di configurazione iniziale, a destra pannello di acquisizione durante la prova

La prova di martinetto piatto doppio (modalità “config”) prevede l’inserimento della lunghezza delle basi di misura (per il calcolo dei valori di deformazione), delle costanti d’area e di martinetto, vengono selezionati i sensori relativamente ai diversi canali, viene scelta la frequenza di campionamento e salvato quindi il file di configurazione. Il pannello di acquisizione visualizzato durante la prova (modalità “test”), consente di visualizzare le deformazioni registrate nelle basi di misura sia contro il tempo (finestra a sinistra) che contro la pressione nel martinetto – stress nella muratura. I dati vengono inoltre riportati in cifra digitale. Durante l’esecuzione della prova è possibile calcolare il valore del modulo di rigidezza della muratura, posizionando due cursori su punti del diagramma tensioni-deformazioni scelti dall’operatore, al fine di controllare la risposta del pannello murario indagato, decidendo quindi la prosecuzione o il termine della prova. Le visualizzazioni delle modalità di configurazione ed acquisizione dati durante lo svolgimento della prova di martinetto piatto doppio sono riportate in Figura 3-18.

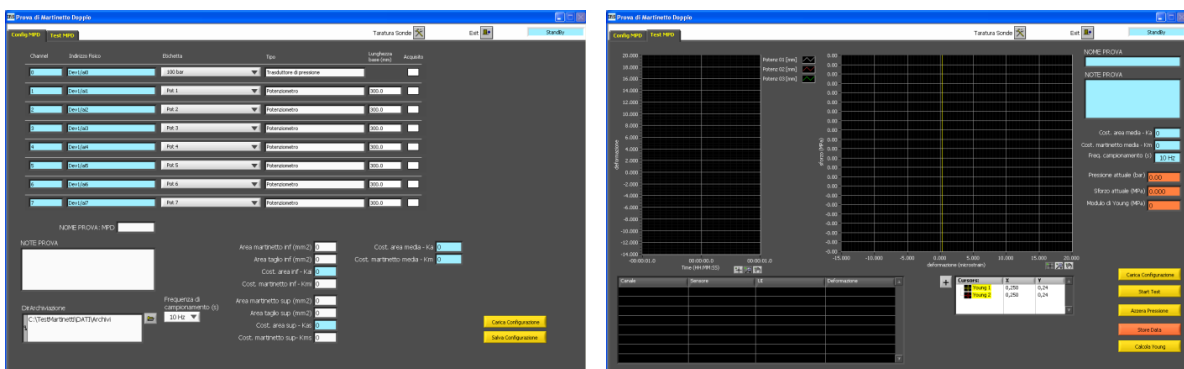


Figura 3-18: software di acquisizione, prova di martinetto doppio: a sinistra schermata di configurazione iniziale, a destra pannello di acquisizione durante la prova

I dati, per entrambe le prove di martinetto singolo e doppio, vengono salvati in continuo, una volta avviato il test, con la frequenza di campionamento impostata durante la configurazione di prova (ad es. 1 Hz corrisponde al salvataggio di una lettura –

spostamento nei sensori e pressione alla pompa – al secondo), e possono comunque essere salvati su altro file su comando dell'operatore.

Per la prova di **martinetto piatto singolo** si riporta:

- descrizione del sito di esecuzione del test;
- documentazione fotografica dello svolgimento della prova;
- schema di fissaggio e numerazione dei sensori;
- grafico rappresentativo dell'andamento delle misure (relative rispetto alle letture eseguite precedentemente all'esecuzione del taglio) registrate nelle basi di misura in funzione dell'incremento di carico durante l'esecuzione della prova.

Per le due prove di **martinetto piatto doppio** vengono riportati:

- descrizione del sito di esecuzione del test;
- documentazione fotografica dello svolgimento della prova;
- schema di fissaggio e numerazione dei sensori;
- diagramma tensioni-deformazioni per le basi di misura verticali ed orizzontali;
- tabelle con indicazione dello sforzo massimo raggiunto e calcolo del valore del modulo di Young in carico e in scarico.

Per ciascuna delle zone indagate, sono state effettuate due prove: una in direzione normale ai mattoni ed una in direzione trasversale.

Le strutture verranno sottoposte ad indagine nelle stesse posizioni anche subito dopo l'esecuzione dei consolidamenti previsti.

3.4.1 Test di martinetto piatto singolo MPS 1

La prova di martinetto piatto singolo MPS 1 è stata effettuata in una volta interna al fortino S. Lucia in direzione normale ai mattoni. La prova è stata eseguita a un'altezza di 320 cm misurati dal livello di calpestio, il taglio praticato ha una lunghezza pari a 35 cm.

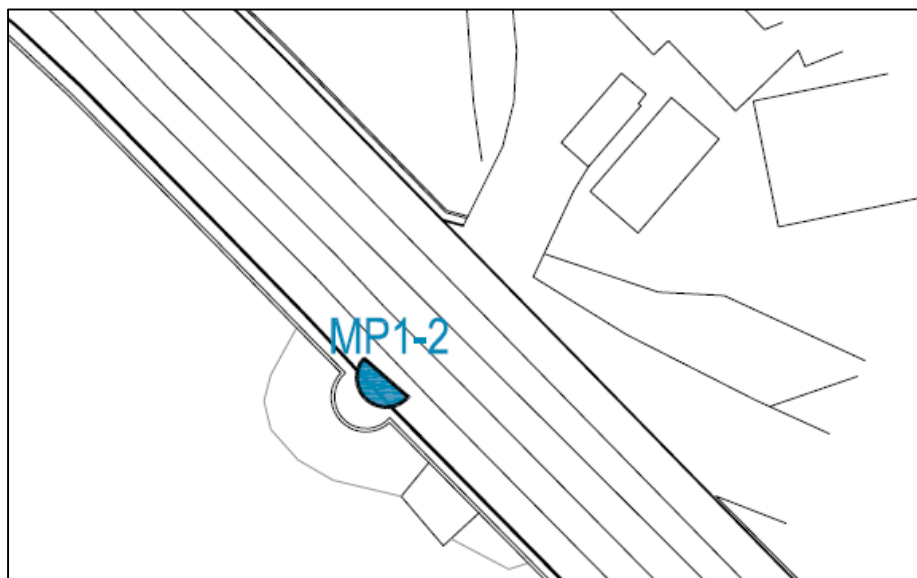


Figura 3-19: prova di martinetto piatto singolo MPS 1; individuazione prova; misura delle distanze iniziali; esecuzione del taglio

La muratura presenta tessitura regolare ed è costituita da ricorsi di mattoni pieni in laterizio. Per l'esecuzione del test sono stati utilizzati 4 sensori di spostamento posizionati a cavallo del taglio eseguito nella muratura. Il test si è svolto tra le ore 9:30 e le ore 11:00 del giorno 13 dicembre 2013.

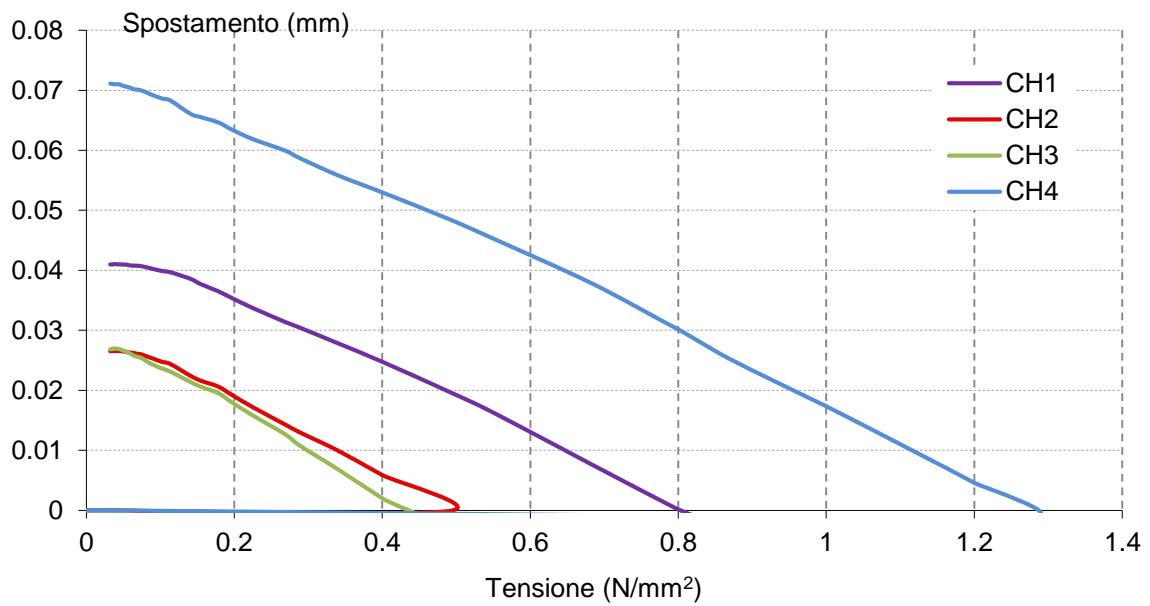
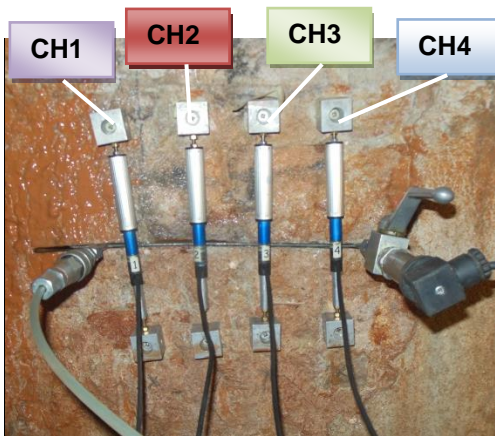


Figura 3-20: test di martinetto singolo MPS 1; variazione relativa della misura registrata dai sensori di spostamento in funzione dello sforzo applicato



Schema dei sensori durante la prova

Tensione di compressione in corrispondenza della compensazione della lettura (azzeramento)

Sensore 1 (CH1)	0,80 N/mm ²
Sensore 2 (CH2)	0,49 N/mm ²
Sensore 3 (CH3)	0,42 N/mm ²
Sensore 4 (CH4)	1,27 N/mm ²

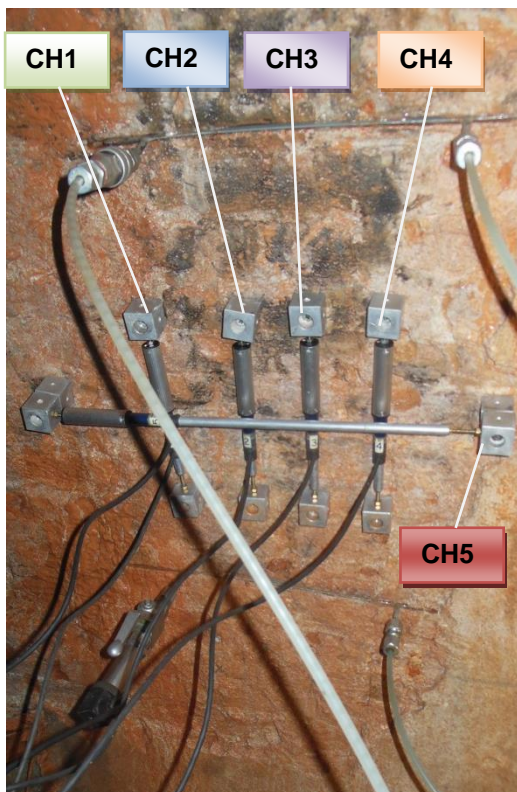
Media sui sensori (σ locale) 0,74 N/mm²

3.4.2 Test di martinetto piatto doppio MPD 1

La prova di martinetto piatto doppio MPD 1 ha comportato l'esecuzione di un secondo taglio nella muratura ove si è svolta la prova di martinetto singolo MPS 1, al di sopra del primo taglio a una distanza da questo di 50 cm. Nel campione di muratura posto tra i due tagli sono state posizionate 4 basi di lettura verticali e 1 orizzontale per il rilievo delle deformazioni durante i cicli di carico. Il test si è svolto tra le ore 11:00 e le ore 13:00 del giorno 13 dicembre 2013.



Figura 3-21: prova con martinetto piatto doppio MPD 1 – Esecuzione del secondo taglio e disposizione dei sensori



Schema dei sensori durante la prova

σ massimo applicato [N/mm ²]	5,00
step incremento ciclo [N/mm ²]	0,50
Modulo di elasticità tangente E_{tan} [N/mm²]	$\Delta (\sigma)$ [N/mm²]
6335	0,00-0,50
5984	0,50-1,00
5075	1,00-1,50
4060	1,50-2,00
3268	2,00-2,50
2715	2,50-3,00
2185	3,00-3,50
1742	3,50-4,00
693	4,00-5,00

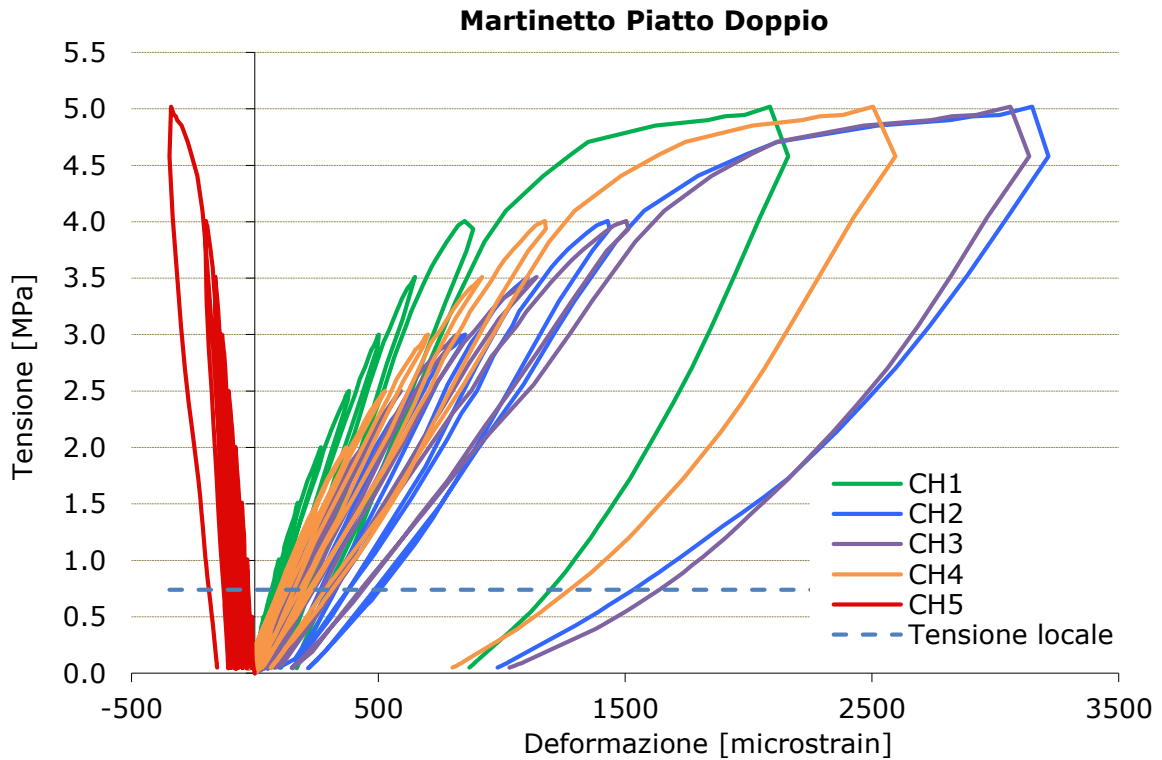


Figura 3-22: test di martinetto doppio MPD 1: diagramma sforzi-deformazioni relativo alle singole basi di misura

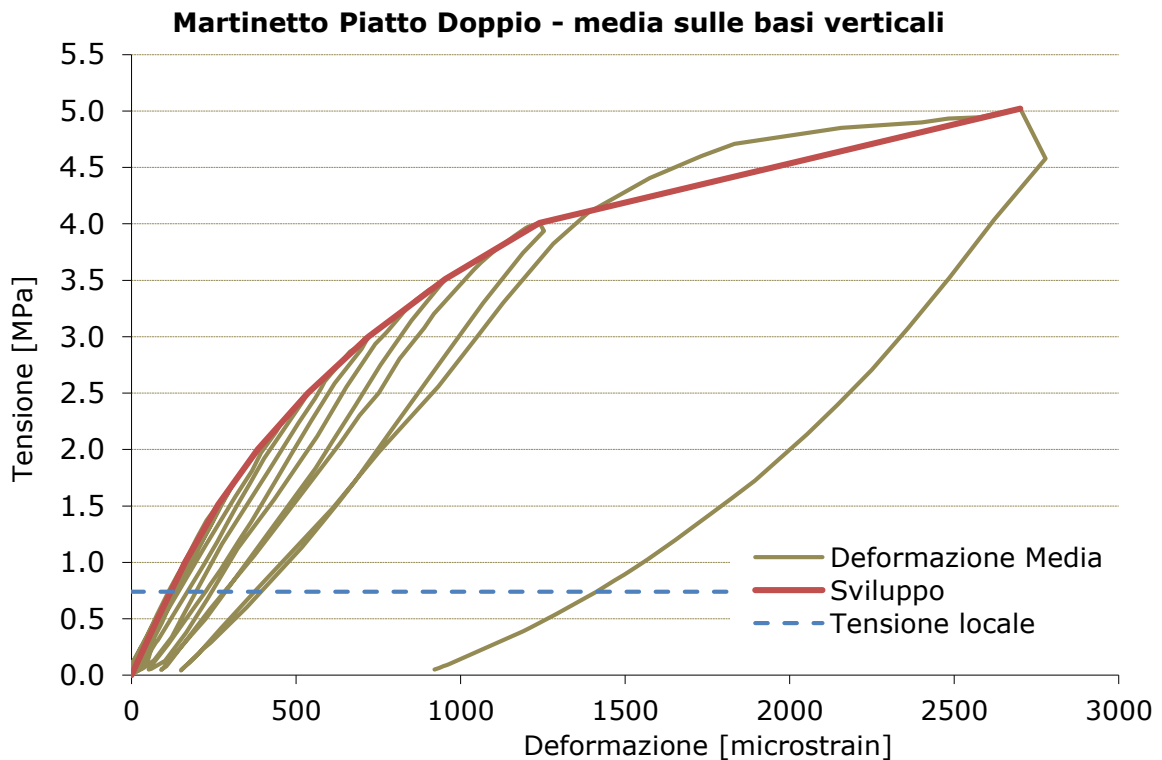


Figura 3-23: test di martinetto doppio MPD 1: diagramma sforzi-deformazioni relativo alla media delle basi di misura verticali con visualizzazione dei moduli di rigidezza calcolati

Modulo di elasticità nei rami di scarico E [N/mm ²]	$\Delta(\sigma)$ [N/mm ²]
5573	0,50-0,05
5616	1,00-0,05
5375	1,50-0,05
5089	2,00-0,05
4742	2,50-0,05
4418	3,00-0,05
4014	3,50-0,05
3641	4,00-0,05
2793	5,00-0,05

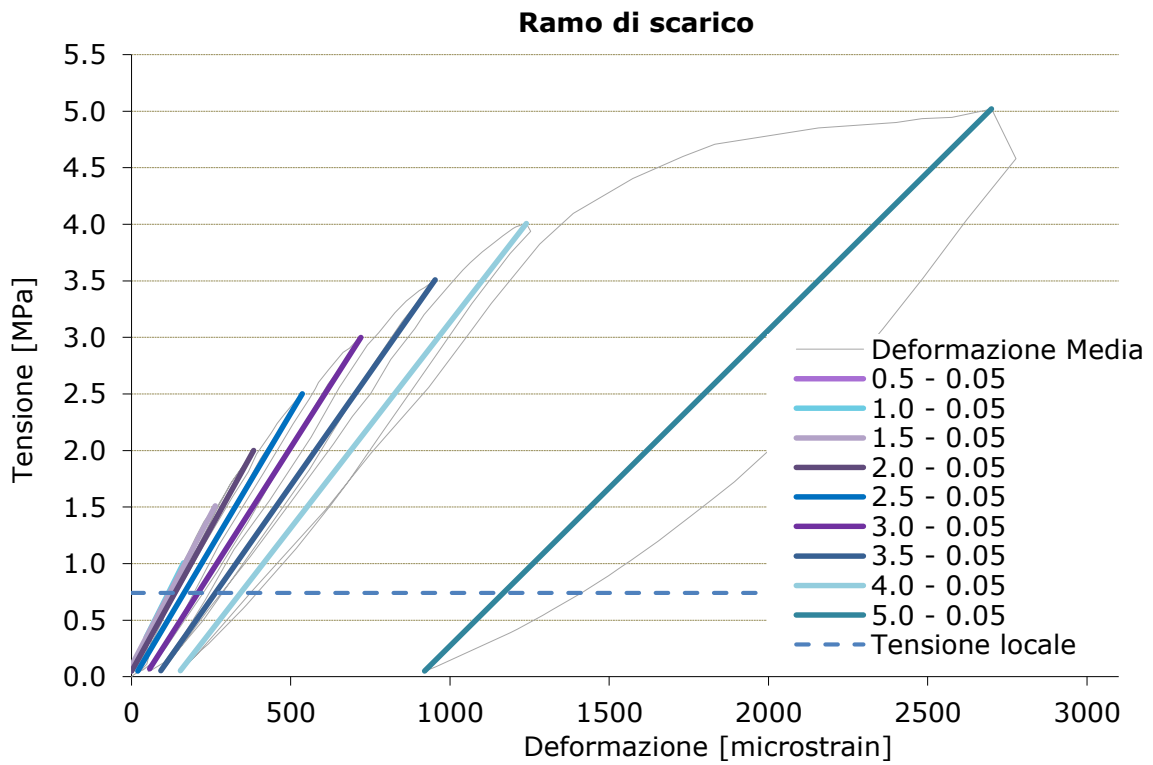


Figura 3-24: variazione del coefficiente angolare della retta approssimante l'inclinazione dei rami di scarico per il calcolo dei moduli elastici

3.4.1 Test di martinetto piatto singolo MPS 2

La prova di martinetto piatto singolo MPS 2 è stata effettuata in una volta interna al fortino S. Lucia in direzione trasversale rispetto ai mattoni, vicino alla posizione MP1. La prova è stata eseguita a un'altezza di 325 cm misurati dal livello di calpestio, il taglio praticato ha una lunghezza pari a 35 cm.

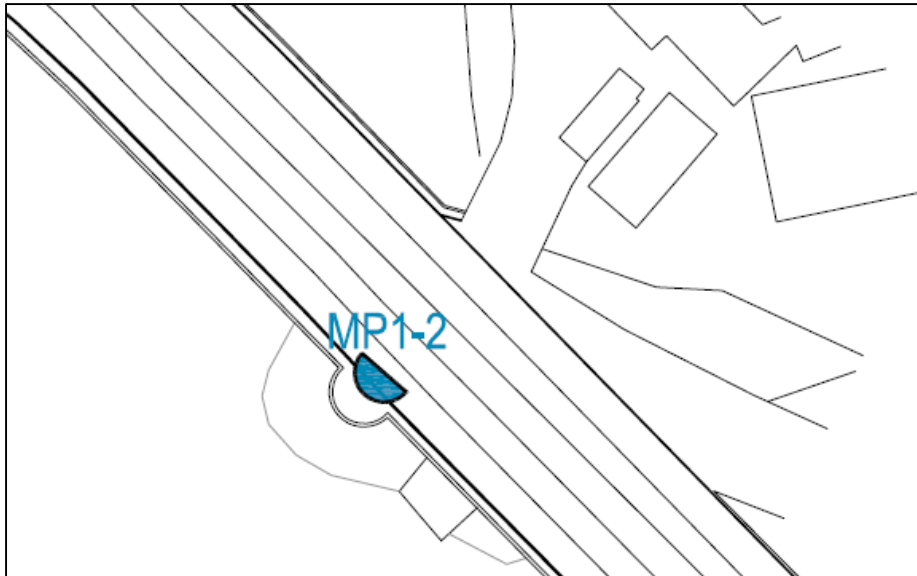


Figura 3-25: prova di martinetto piatto singolo MPS 2; individuazione prova; misura delle distanze iniziali; inserimento del martinetto

La muratura presenta tessitura regolare ed è costituita da un misto di mattoni pieni in laterizio. Per l'esecuzione del test sono stati utilizzati 4 sensori di spostamento posizionati a cavallo del taglio eseguito nella muratura. Il test si è svolto tra le ore 14:00 e le ore 16:00 del giorno 13 dicembre 2013.

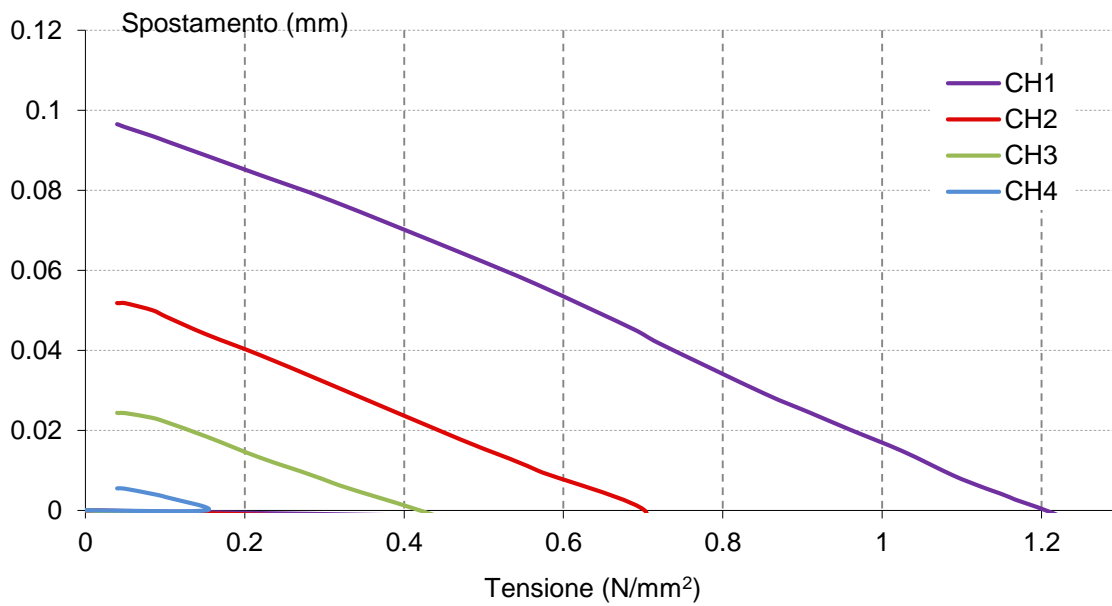
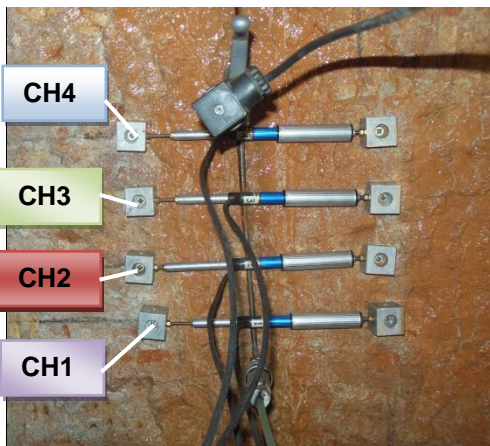


Figura 3-26: test di martinetto singolo MPS 2; variazione relativa della misura registrata dai sensori di spostamento in funzione dello sforzo applicato



Schema dei sensori durante la prova

Tensione di compressione in corrispondenza della compensazione della lettura (azzeramento)

Sensore 1 (CH1)	1,19 N/mm ²
Sensore 2 (CH2)	0,67 N/mm ²
Sensore 3 (CH3)	0,39 N/mm ²
Sensore 4 (CH4)	0,15 N/mm ²

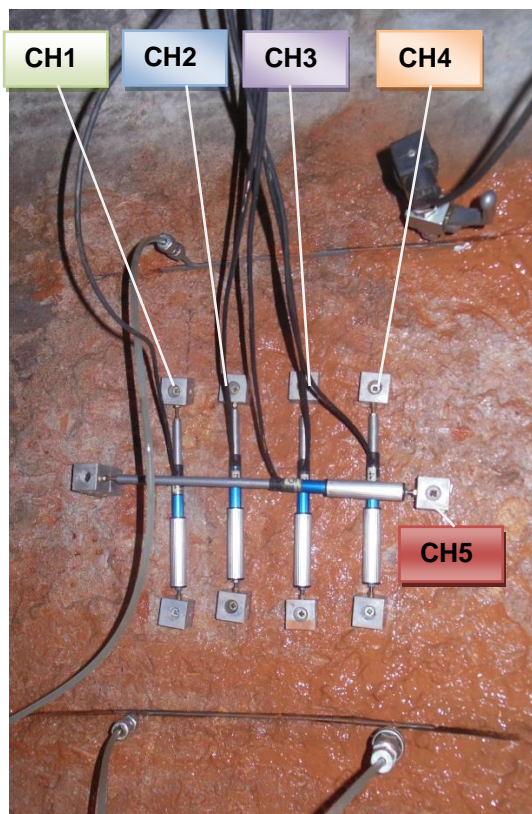
Media sui sensori (σ locale) 0,60 N/mm²

3.4.2 Test di martinetto piatto doppio MPD 2

La prova di martinetto piatto doppio MPD 2 ha comportato l'esecuzione di un secondo taglio nella muratura ove si è svolta la prova di martinetto singolo MPS 2, al di sopra del primo taglio a una distanza da questo di 50 cm. Nel campione di muratura posto tra i due tagli sono state posizionate 4 basi di lettura verticali e 1 orizzontale per il rilievo delle deformazioni durante i cicli di carico. Il test si è svolto tra le ore 16:00 e le ore 17:30 del giorno 13 dicembre 2013.



Figura 3-27: prova con martinetto piatto doppio MPD 2 – Disposizione dei sensori



Schema dei sensori durante la prova

σ massimo applicato [N/mm ²]	5,00
step incremento ciclo [N/mm ²]	0,50
Modulo di elasticità tangente E_{tan} [N/mm²]	$\Delta (\sigma)$ [N/mm²]
8050	0,00-0,50
6830	0,50-1,00
5827	1,00-1,50
6704	1,50-2,00
5384	2,00-2,50
4548	2,50-3,00
4179	3,00-3,50
3137	3,50-4,00
2833	4,00-4,50
2987	4,50-5,00

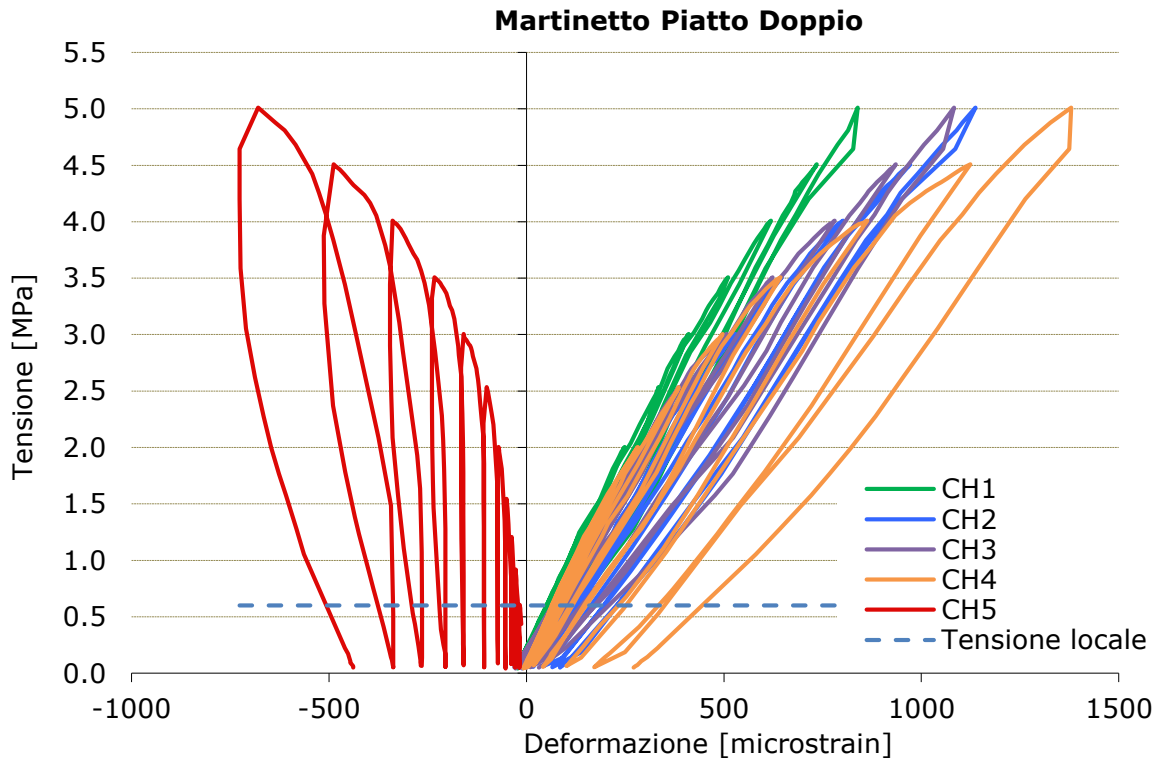


Figura 3-28: test di martinetto doppio MPD 2: diagramma sforzi-deformazioni relativo alle singole basi di misura

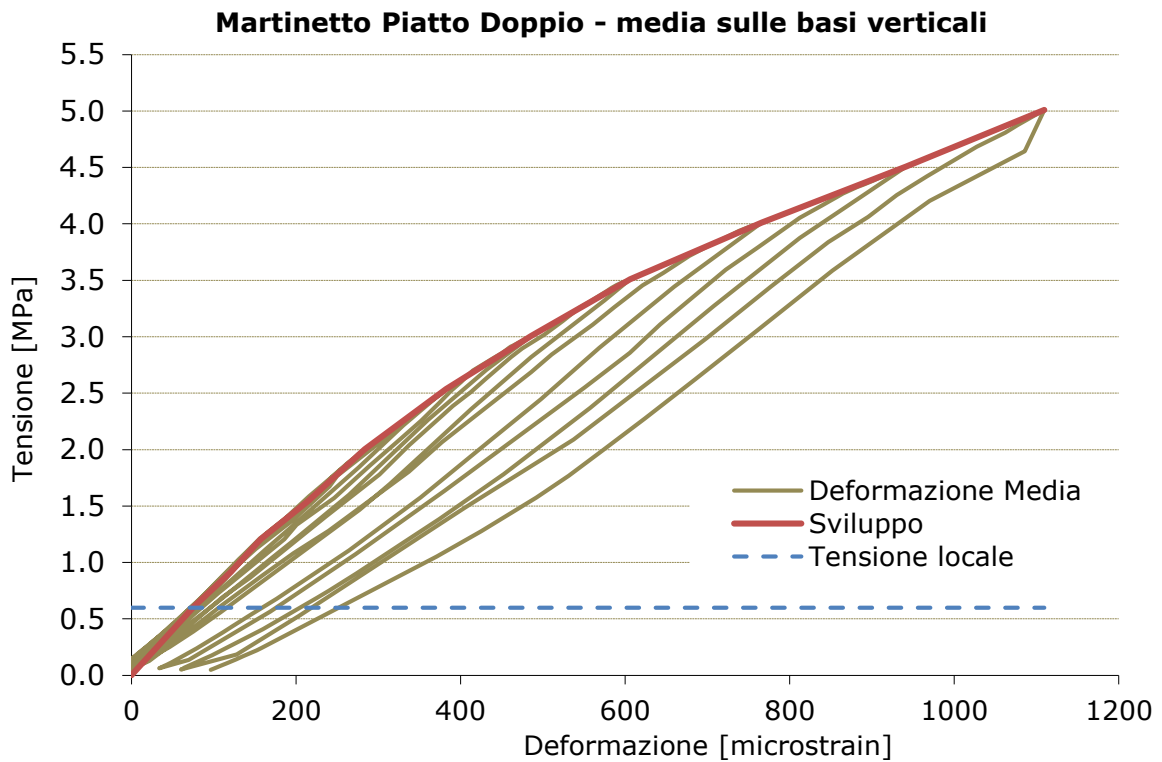


Figura 3-29: test di martinetto doppio MPD 2: diagramma sforzi-deformazioni relativo alla media delle basi di misura verticali con visualizzazione dei moduli di rigidezza calcolati

Modulo di elasticità nei rami di scarico E [N/mm ²]	$\Delta(\sigma)$ [N/mm ²]
7147	0,50-0,05
6757	1,00-0,05
6492	1,50-0,05
6518	2,00-0,05
6294	2,50-0,05
5984	3,00-0,05
5733	3,50-0,05
5399	4,00-0,05
5059	4,50-0,05
4896	5,00-0,05

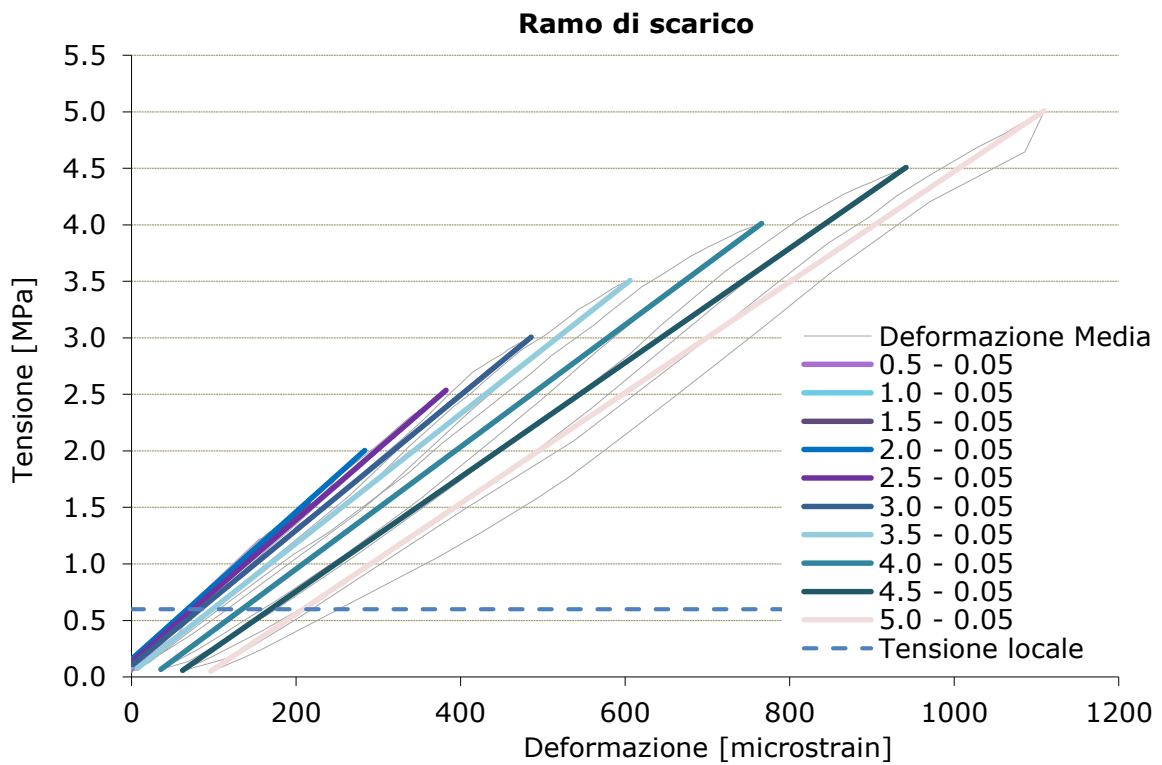


Figura 3-30: variazione del coefficiente angolare della retta approssimante l'inclinazione dei rami di scarico per il calcolo dei moduli elastici

3.4.1 Test di martinetto piatto doppio MPD 3

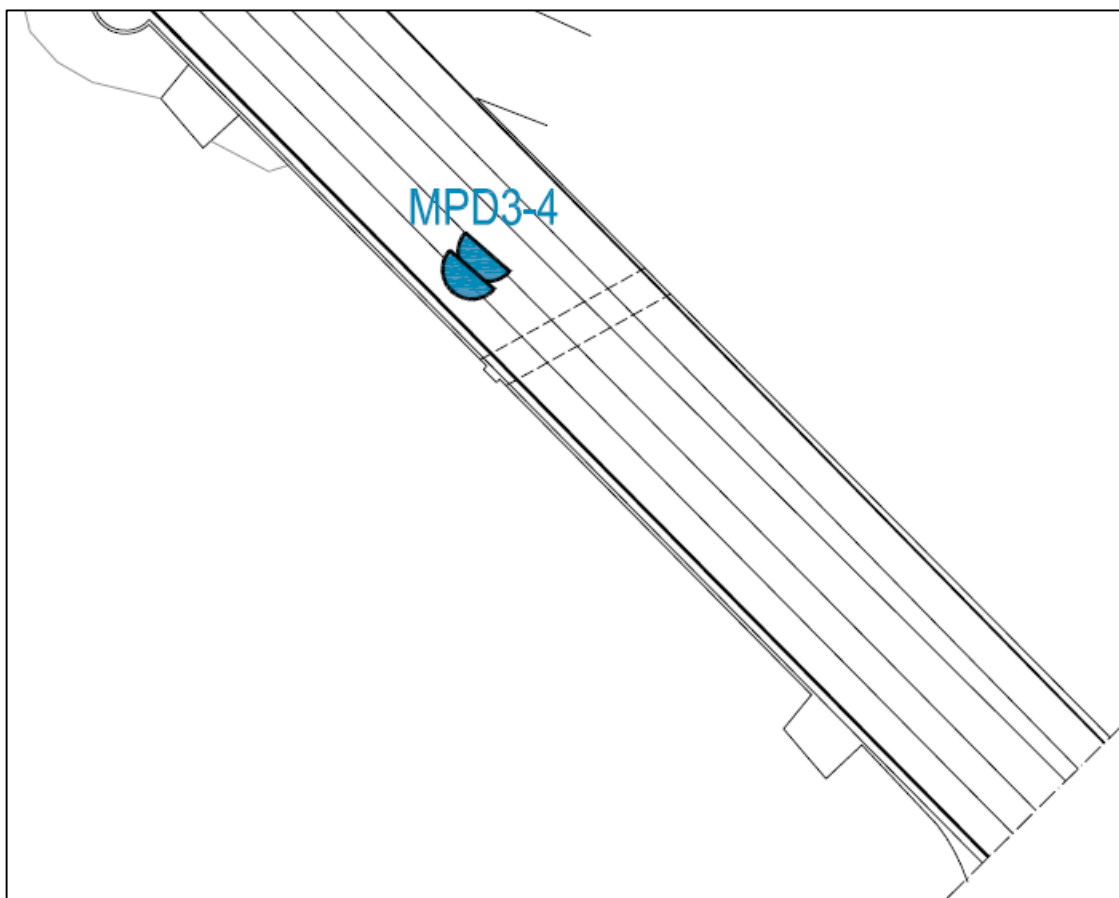


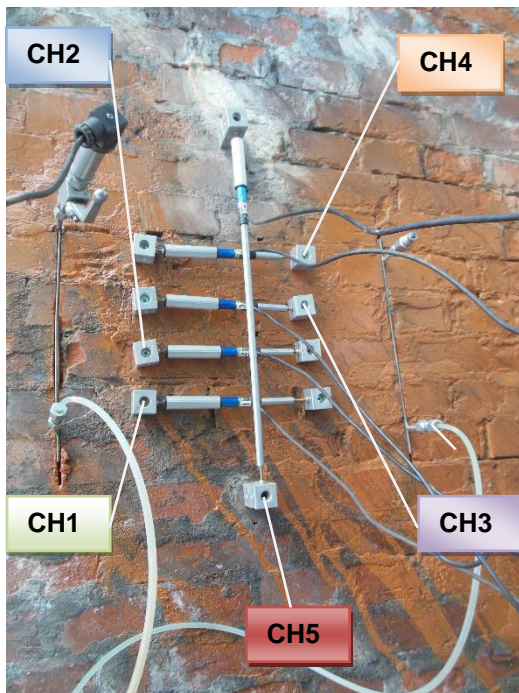
Figura 3-31: individuazione punto di prova

La prova di martinetto piatto doppio MPD 3 è stata effettuata in una delle due volte sul Canal Grande, in direzione trasversale rispetto ai mattoni.

La prova di martinetto piatto doppio MPD 3 ha comportato l'esecuzione di due tagli paralleli nei giunti di malta della muratura distanti fra loro 50 cm. La distanza fra il bordo della volta e quella relativa all'esecuzione del taglio superiore è di 275 cm. Nel campione di muratura posto tra i due tagli sono state posizionate 4 basi di lettura orizzontali e 1 verticale per il rilievo delle deformazioni durante i cicli di carico. Il test si è svolto tra le ore 11:45 e le ore 12:40 del giorno 19 dicembre 2013.



Figura 3-32: prova con martinetto piatto doppio MPD 3 – Disposizione dei sensori



Schema dei sensori durante la prova

σ massimo applicato [N/mm ²]	5,00
step incremento ciclo [N/mm ²]	0,50
Modulo di elasticità tangente E_{tan} [N/mm²]	$\Delta (\sigma)$ [N/mm²]
14390	0,00-0,50
11598	0,50-1,00
10278	1,00-1,50
8819	1,50-2,00
8077	2,00-2,50
7421	2,50-3,00
6636	3,00-3,50
6423	3,50-4,00
6631	4,00-4,50
7231	4,50-5,00

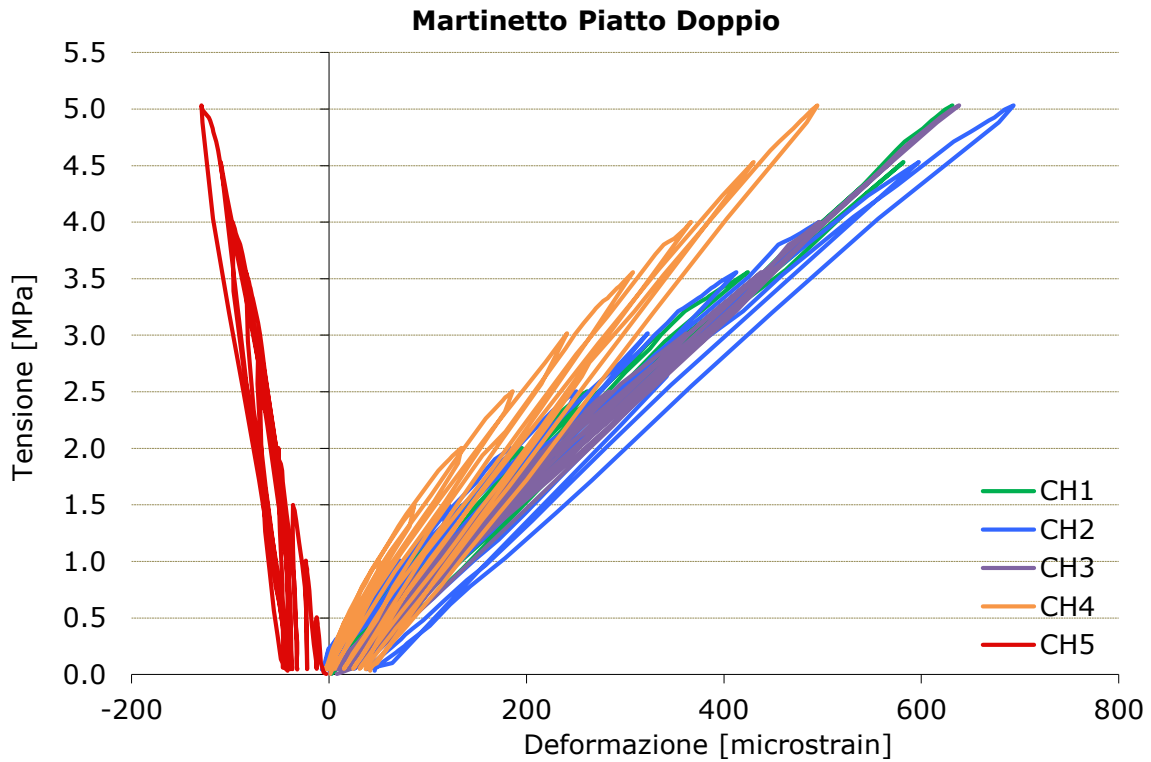


Figura 3-33: test di martinetto doppio MPD 3: diagramma sforzi-deformazioni relativo alle singole basi di misura

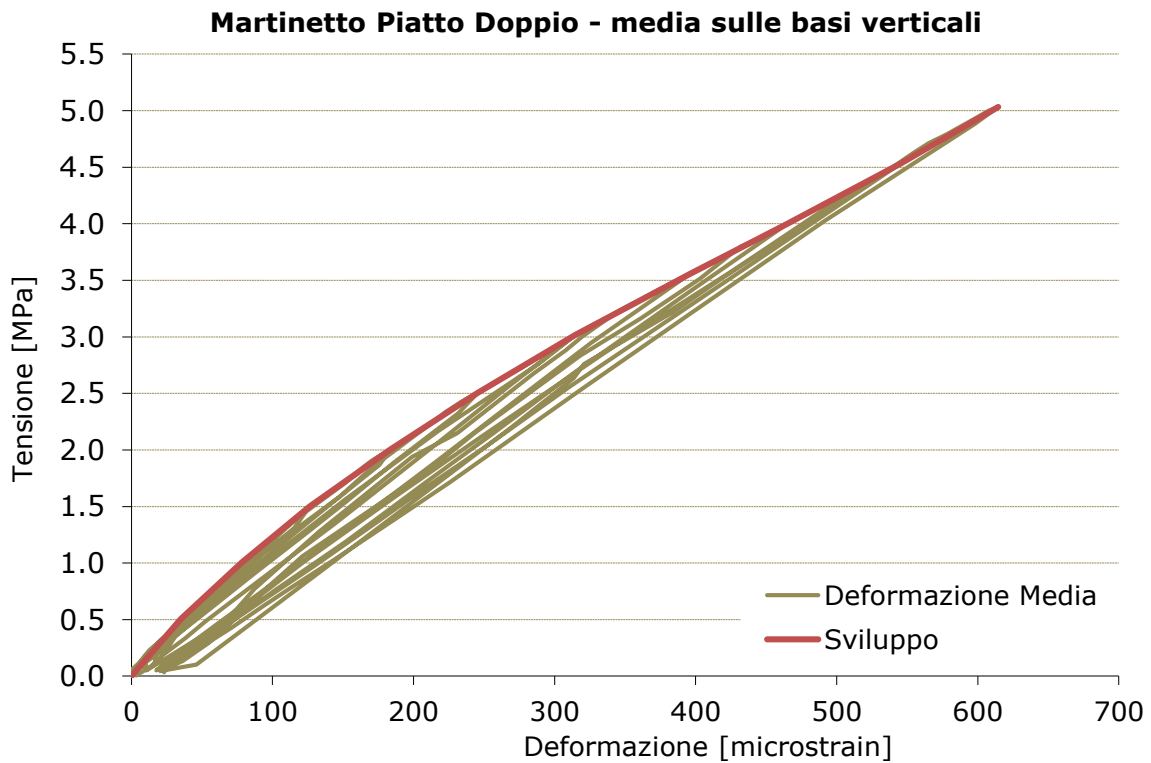


Figura 3-34: test di martinetto doppio MPD 3: diagramma sforzi-deformazioni relativo alla media delle basi di misura verticali con visualizzazione dei moduli di rigidezza calcolati

Modulo di elasticità nei rami di scarico E [N/mm ²]	$\Delta(\sigma)$ [N/mm ²]
14208	0,50-0,05
12568	1,00-0,05
11425	1,50-0,05
10686	2,00-0,05
10092	2,50-0,05
9744	3,00-0,05
9252	3,50-0,05
8900	4,00-0,05
8526	4,50-0,05
8434	5,00-0,05

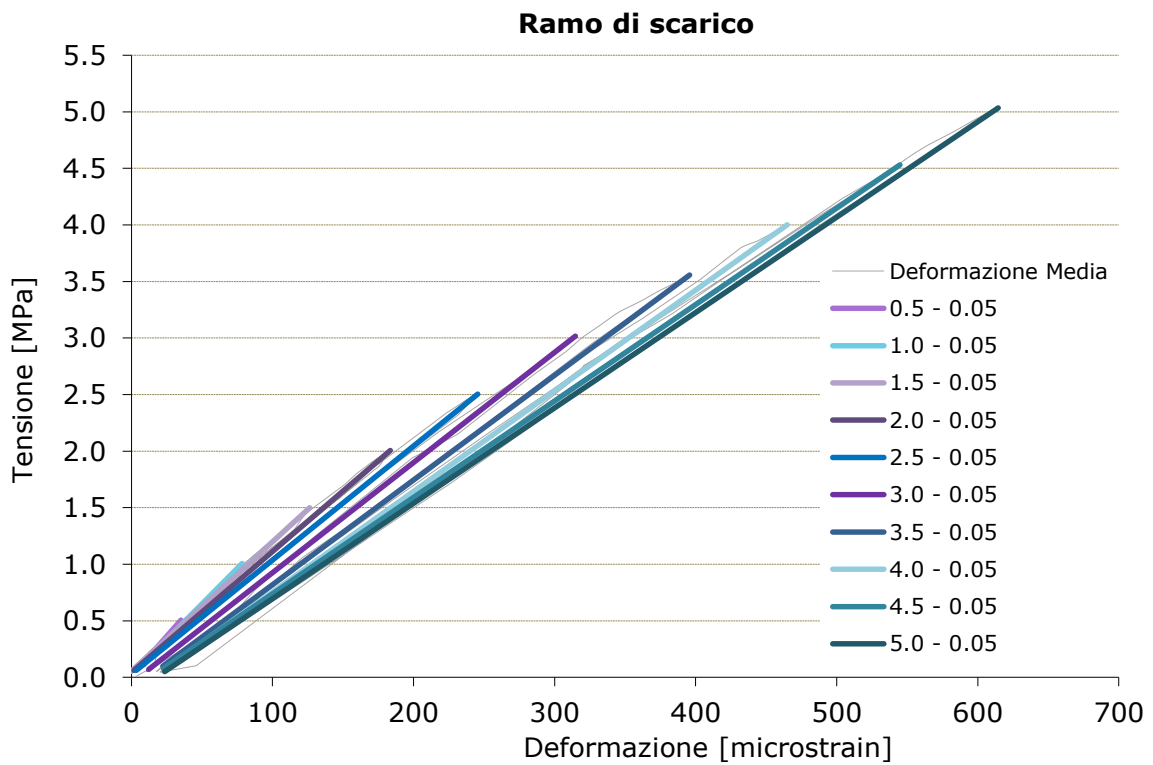


Figura 3-35: variazione del coefficiente angolare della retta approssimante l'inclinazione dei rami di scarico per il calcolo dei moduli elastici

3.4.1 Test di martinetto piatto doppio MPD 4

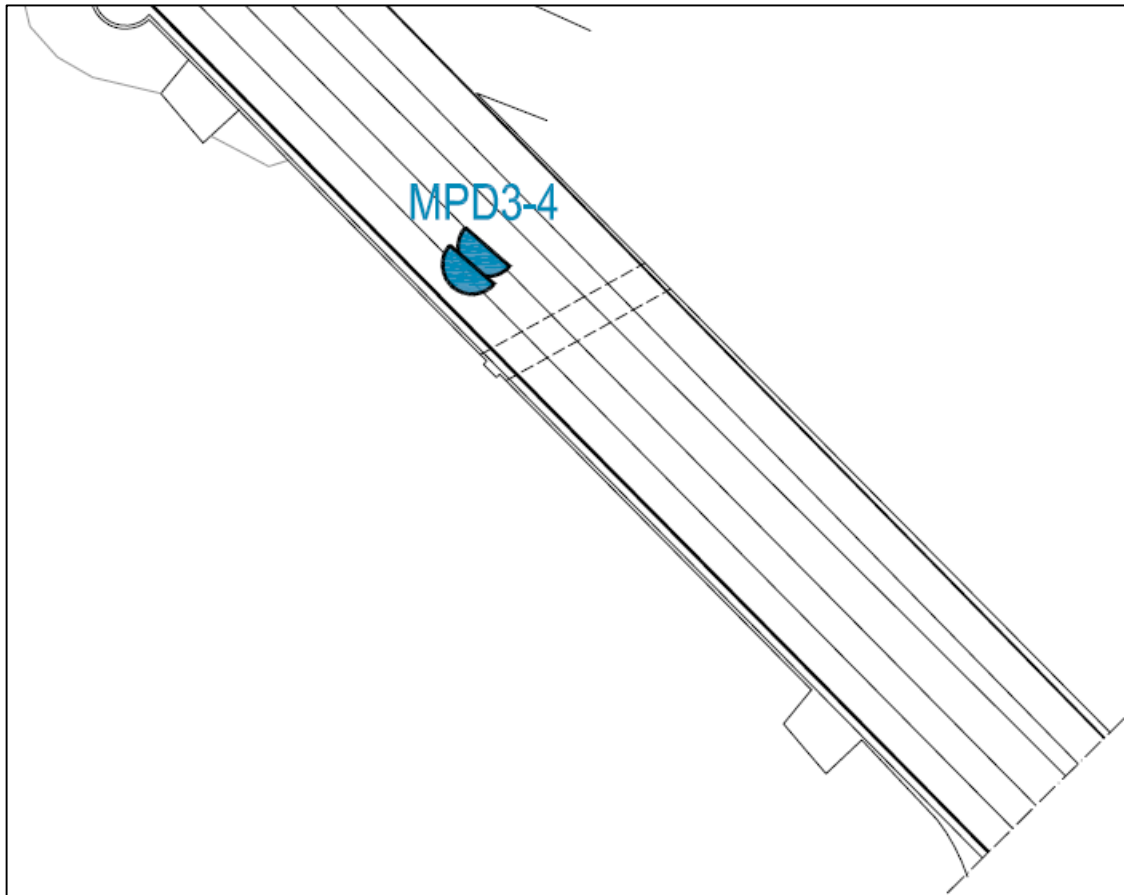


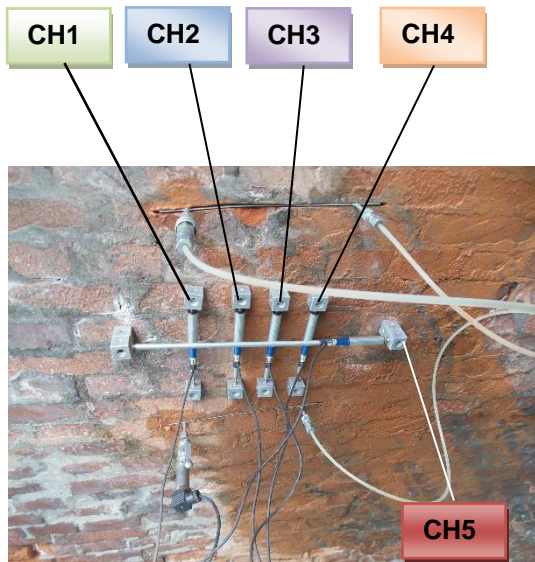
Figura 3-36: individuazione punto di prova

La prova di martinetto piatto doppio MPD 4 è stata effettuata in una delle due volte sul Canal Grande, in direzione normale ai mattoni, vicino alla prova MPD 3.

La prova di martinetto piatto doppio MPD 4 ha comportato l'esecuzione di due tagli paralleli nei giunti di malta della muratura distanti fra loro 50 cm. La distanza fra il bordo della volta e quella relativa all'esecuzione del taglio superiore è di 170 cm. Nel campione di muratura posto tra i due tagli sono state posizionate 4 basi di lettura verticali e 1 orizzontale per il rilievo delle deformazioni durante i cicli di carico. Il test si è svolto tra le ore 12:50 e le ore 13:36 del giorno 19 dicembre 2013.



Figura 3-37: prova con martinetto piatto doppio MPD 4 – Disposizione dei sensori



Schema dei sensori durante la prova

σ massimo applicato [N/mm ²]	4,80
step incremento ciclo [N/mm ²]	0,50
Modulo di elasticità tangente E_{tan} [N/mm²]	$\Delta (\sigma)$ [N/mm²]
5470	0,00-0,50
5040	0,50-1,00
4818	1,00-1,50
3875	1,50-2,00
2836	2,00-2,50
2245	2,50-3,00
1847	3,00-3,50
1372	3,50-4,00
927	4,00-4,50
704	4,50-4,80

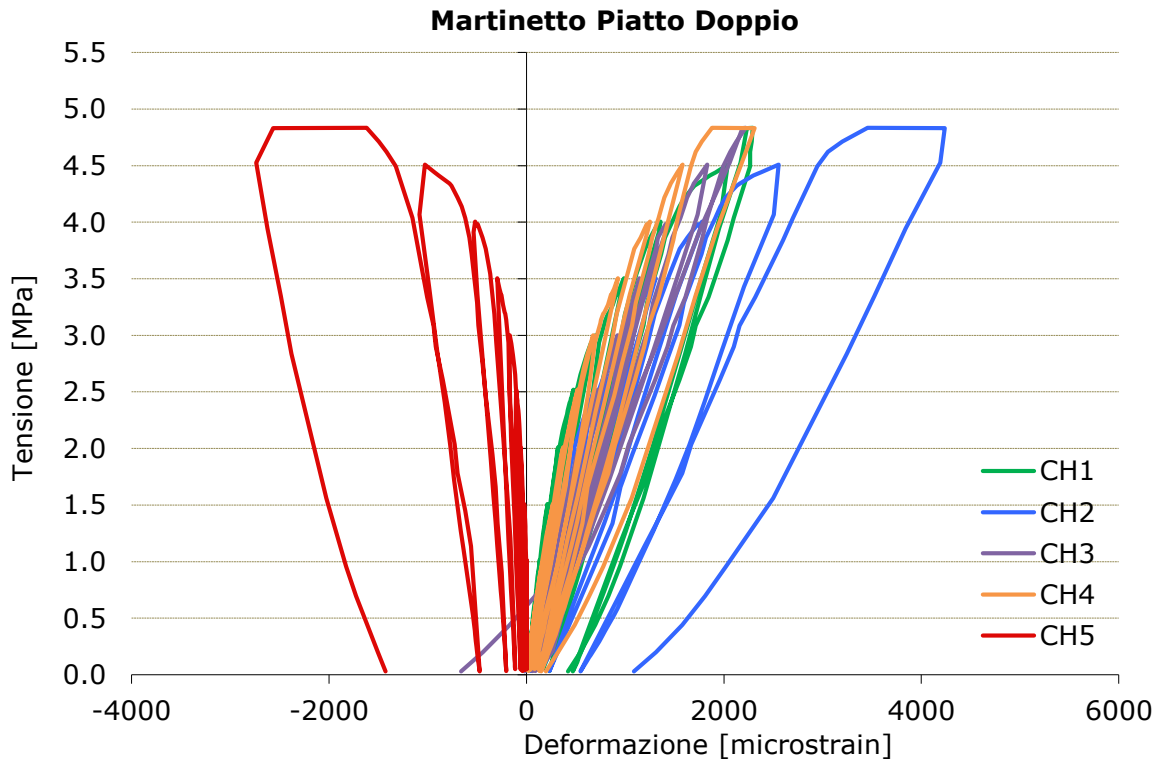


Figura 3-38: test di martinetto doppio MPD 4: diagramma sforzi-deformazioni relativo alle singole basi di misura

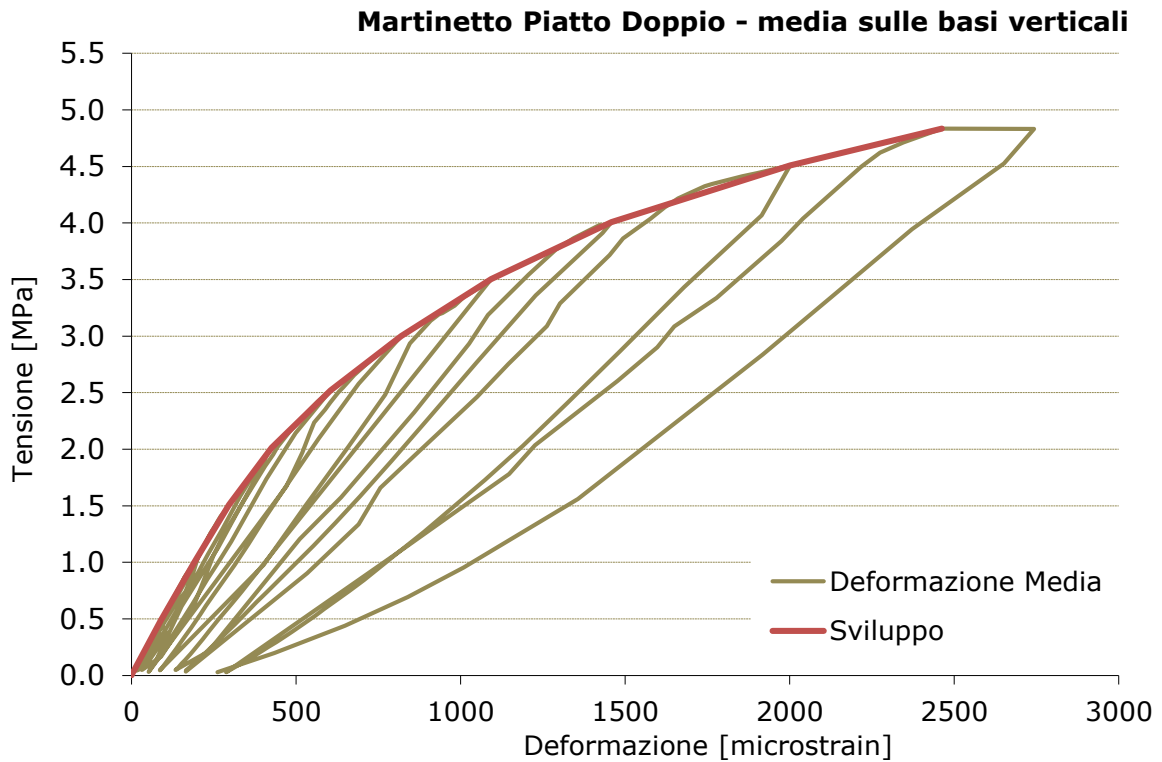


Figura 3-39: test di martinetto doppio MPD 4: diagramma sforzi-deformazioni relativo alla media delle basi di misura verticali con visualizzazione dei moduli di rigidezza calcolati

Modulo di elasticità nei rami di scarico E [N/mm ²]	$\Delta(\sigma)$ [N/mm ²]
5588	0,50-0,05
5318	1,00-0,05
5218	1,50-0,05
4964	2,00-0,05
4507	2,50-0,05
4037	3,00-0,05
3611	3,50-0,05
3071	4,00-0,05
2656	4,50-0,05
2286	4,80-0,05

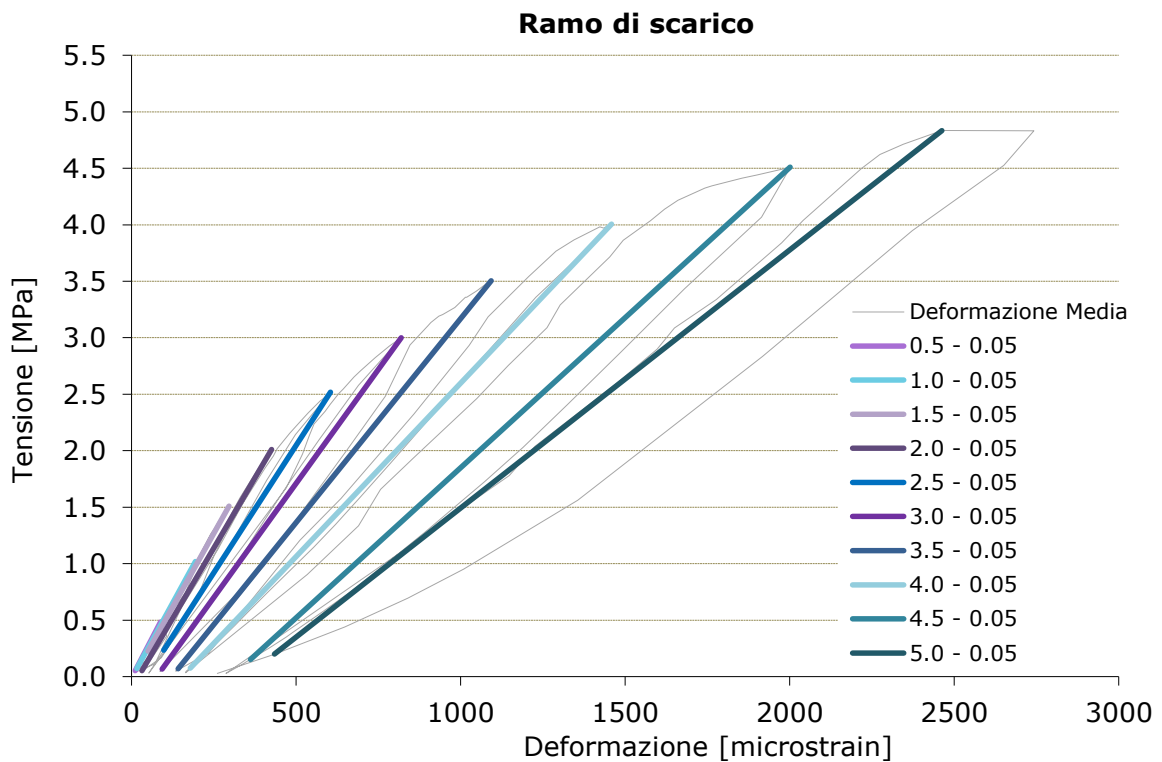


Figura 3-40: variazione del coefficiente angolare della retta approssimante l'inclinazione dei rami di scarico per il calcolo dei moduli elastici

4 PROVE DI CAROTAGGIO E DI DETERMINAZIONE DELL'INDICE DEI VUOTI DEL MATERIALE DI RIEMPIMENTO

Al fine di caratterizzare il materiale costituente il sottofondo stradale e le sottostrutture in conglomerato cementizio, sono stati effettuati 12 carotaggi in prossimità dei futuri tiranti di ancoraggio, mediante prelievo di campioni di materiale successivamente sottoposti a specifiche prove di laboratorio.

Le prove sono state effettuate nei giorni 13, 16, 17 e 18 dicembre 2013. I punti prova S6, S8, S10, S11 e S12 si riferiscono ai sondaggi per i fissaggi di tipo "A" (su pila con sottostruttura in calcestruzzo), le prove S5, S7 e S9 ai sondaggi per i fissaggi di tipo "B" (su terrapieno corto, cerchiati in azzurro in Figura 7-1), i punti prova S1, S2, S3 e S4 si riferiscono ai sondaggi per i fissaggi di tipo "C" (su terrapieno lungo, cerchiati in verde in Figura 7-1).

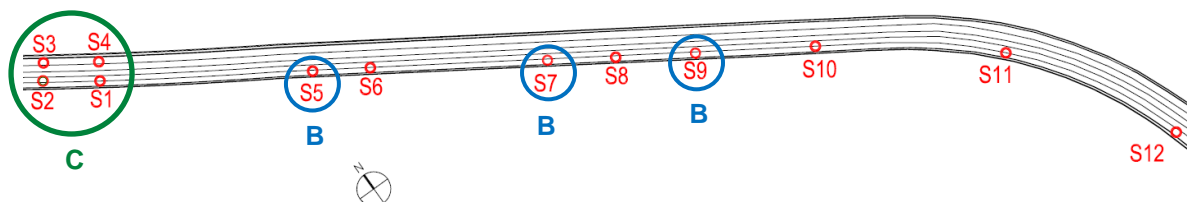


Figura 4-1: localizzazione dei carotaggi

Durante le operazioni di perforazione sono stati prelevati campioni ordinati in cassette catalogatrici e un tecnico specializzato ha provveduto alla redazione della colonna stratigrafica ed alla documentazione fotografica.



Figura 4-2: esecuzione dei carotaggi

I campioni di terreno sciolto e di calcestruzzo prelevati sono stati classificati e descritti nell'allegato, in cui vengono rappresentate le successioni dei materiali attraversati e i dati relativi al sondaggio.

I sondaggi sono stati realizzati con carotiere semplice (carote da 82 mm).

4.1 INDICE DEI VUOTI

A partire dai campioni estratti dalla struttura, sono state effettuate 7 prove per la determinazione dell'indice dei vuoti del materiale di riempimento presente sopra le strutture.

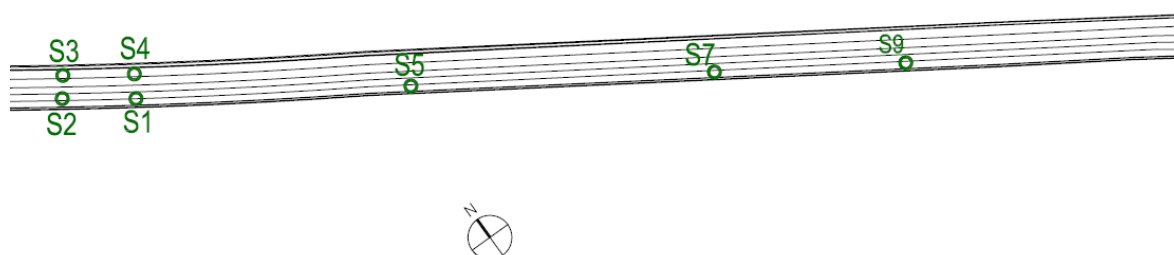


Figura 4-3: localizzazione dei provini estratti per la determinazione dell'indice dei vuoti

Le prove S5, S7 e S9 si riferiscono ai sondaggi per i fissaggi di tipo “B” (su terrapieno corto), i punti prova S1, S2, S3 e S4 si riferiscono ai sondaggi per i fissaggi di tipo “C” (su terrapieno lungo). Si riportano in allegato i risultati relativi alle prove.

5 PROVE DI COMPRESSIONE SUI PROVINI DI CALCESTRUZZO

5.1.1 La prova di resistenza alla compressione secondo UNI EN 12390-3

La norma UNI EN 12390-3 specifica il metodo standard per la determinazione della resistenza alla compressione dei provini di calcestruzzo indurito.

Il provino deve essere di forma cubica o cilindrica, di dimensioni e forma conformi ai requisiti riportati nella norma EN 12390-1.

Se vengono superate le rispettive tolleranze, i provini devono essere scartati, rettificati o sottoposti a misurazione in varie posizioni e bisogna calcolare i valori medi.

Prima di posizionare il provino nella macchina di prova è necessario asciugare l'eccesso di umidità dalla superficie dello stesso. Bisogna inoltre asciugare tutte le superfici portanti della macchina, pulirle e rimuovere eventuali residui di particelle o altri materiali estranei dalle superfici del provino che entrano in contatto con i piatti della macchina di prova.

Non bisogna utilizzare dispositivi diversi dai piatti ausiliari o blocchetti distanziatori tra il provino e i piatti di carico della macchina di prova.

Dopo aver selezionato una velocità di carico costante compresa tra 0,2 MPa/s ($N/mm^2 \cdot s$) e 1 MPa/s, viene applicato il carico al provino senza colpi e aumentato in modo continuo, alla velocità costante selezionata +/- 10%, fino a quando non può più sopportare un ulteriore carico.

Esempi di rottura del provino che dimostrano che le prove sono state eseguite in modo soddisfacente sono riportati in Figura 5-1 per i provini cilindrici.

Esempi di rottura non soddisfacenti sono riportati nella Figura 5-2. Se la rottura non è soddisfacente, ciò deve essere registrato facendo riferimento alla forma di rottura di cui alla Figura 5-2 che più si avvicina al tipo di rottura osservato.

Le rotture non soddisfacenti possono essere provocate da insufficiente attenzione ai procedimenti di prova, in particolare al posizionamento del provino o ad un difetto della macchina di prova. Per provini cilindrici, la rottura della cappatura prima del calcestruzzo è considerata una rottura non soddisfacente.

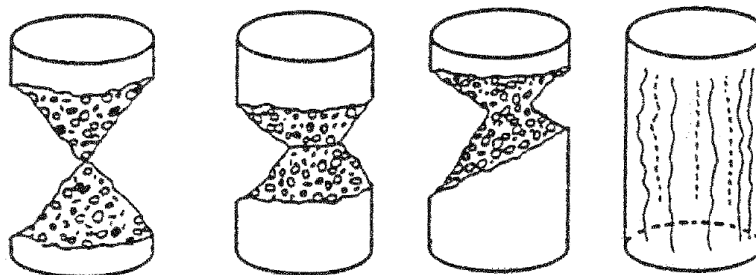


Figura 5-1: rotture soddisfacenti di provini cilindrici

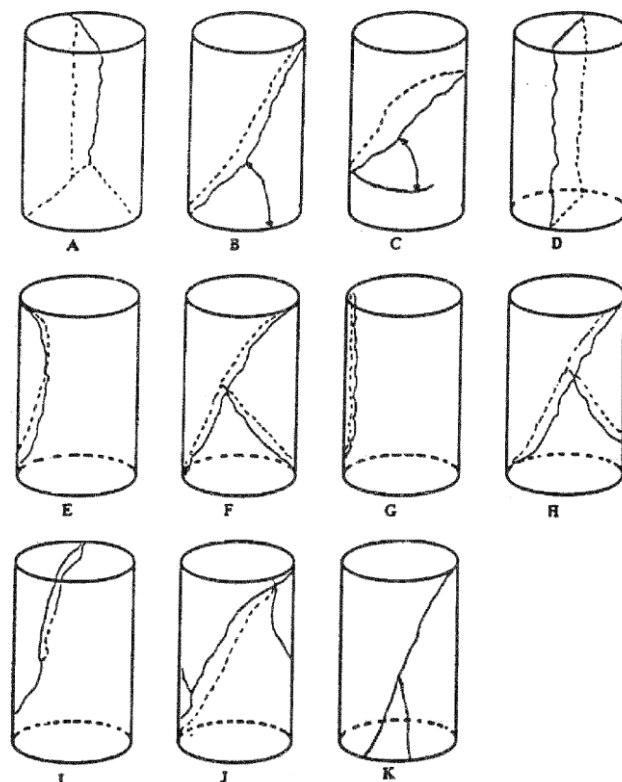


Figura 5-2: alcune rotture non soddisfacenti per provini cilindrici

La resistenza alla compressione è data dall'equazione:

$$f_c = \frac{F}{A_c} \quad (4)$$

dove:

f_c è la resistenza alla compressione, in megapascal;

F è il carico massimo di rottura, in newton;

A_c è l'area della sezione trasversale del provino su cui agisce la forza di compressione, calcolata dalla dimensione nominale del provino o da misurazioni del provino, in millimetri quadrati.

Il rapporto deve includere:

- a) l'identificazione del provino;
- b) le dimensioni nominali del provino o, se sottoposto a prova, le dimensioni effettive;
- c) i dettagli di regolazione mediante molatura/cappatura (se necessario);
- d) la data della prova;
- e) il carico massimo di rottura, espresso in kN;
- f) la resistenza a compressione del provino, al più vicino 0,1 MPa (N/mm²);
- g) la rottura non soddisfacente (se appropriato) e, in tal caso, il tipo più simile;
- h) tutti gli scostamenti dal metodo di prova normalizzato;
- i) una dichiarazione del tecnico responsabile della prova attestante che la stessa è stata eseguita in conformità al presente documento, fatto salvo per quanto annotato al punto h).

Il rapporto può includere:

- j) la massa del provino;
- k) la massa volumica apparente del provino, espressa al più vicino 10 kg/m³;
- l) la condizione del provino al ricevimento;
- m) le condizioni di maturazione dal ricevimento;
- n) il tempo di prova (se necessario);
- o) l'età del provino al momento della prova (se nota).

5.1.1 Osservazioni circa la stima della resistenza meccanica in situ ottenuta su provini estratti per carotaggio*

La resistenza dei provini estratti per carotaggio generalmente è inferiore a quella dei provini preparati nel corso della messa in opera del calcestruzzo e stagionati in condizioni standard, fra i fattori che determinano tale differenza si possono citare: la procedura di messa in opera e di compattazione, la stagionatura, l'effetto del prelievo. In mancanza di un'esperienza diretta è accettabile assumere che, a parità di tempo di stagionatura, la resistenza in situ ottenuta attraverso il carotaggio sia non inferiore a 0,85 volte la resistenza cilindrica del calcestruzzo messo in opera.

La resistenza ricavata dalle prove a compressione sui campioni ottenuti per carotaggio, in particolare la resistenza caratteristica, deve essere considerata con molta prudenza, a ragione della notevole influenza che la messa in opera e le condizioni di stagionatura del calcestruzzo hanno sulle caratteristiche delle carote. Il giudizio delle caratteristiche del calcestruzzo in opera, in base alla resistenza determinata su carote prelevate, deve tener conto dei fattori di conversione necessari a compensare l'effetto della snellezza e della conversione resistenza cilindrica – resistenza cubica.

In prima approssimazione si può assumere che la resistenza di un campione avente diametro compreso tra 100 e 150 mm, ottenuto per carotaggio, avente altezza eguale al diametro, sia la medesima di un equivalente provino cubico da 150 mm, e che la resistenza di un campione ottenuto per carotaggio ed avente rapporto altezza – diametro eguale a 2 sia eguale a quella di un equivalente provino cilindrico. Tenuto conto che, per un campione cilindrico avente rapporto altezza-diametro pari a 2, vale la relazione: $R_{cubica} = 1,25 R_{cilindrica}$, per valori intermedi si può fare riferimento ad un fattore di correzione della resistenza cilindrica in funzione del rapporto lunghezza – diametro, riportato nel grafico di Figura 5-3.

* *Linee guida per la messa in opera del calcestruzzo strutturale e per la valutazione delle caratteristiche meccaniche del calcestruzzo indurito mediante prove non distruttive. Consiglio Superiore dei LLPP - Febbraio 2008*

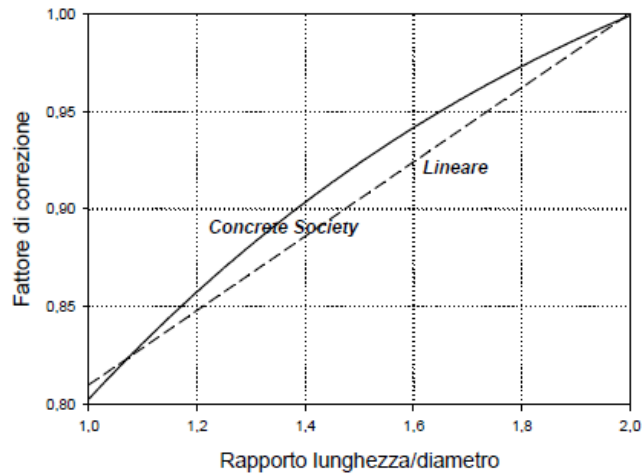


Figura 5-3: fattori di correzione della resistenza cilindrica in funzione del rapporto di snellezza dei provini (rapporto lunghezza – diametro)

5.1.2 Esecuzione della prova di compressione

Presso il Laboratorio Prove sui Materiali da Costruzione dell'Università degli Studi di Padova, a partire dai campioni estratti dalla struttura, sono state effettuate **15** prove di compressione sulle carote estratte. Da un singolo sondaggio sono stati campionati uno, due o tre provini.

I punti prova S6, S8, S10, S11 e S12 si riferiscono ai sondaggi per i fissaggi di tipo "A" (su pila con sottostruttura in calcestruzzo), le prove S7 e S9 ai sondaggi per i fissaggi di tipo "B" (su terrapieno corto).

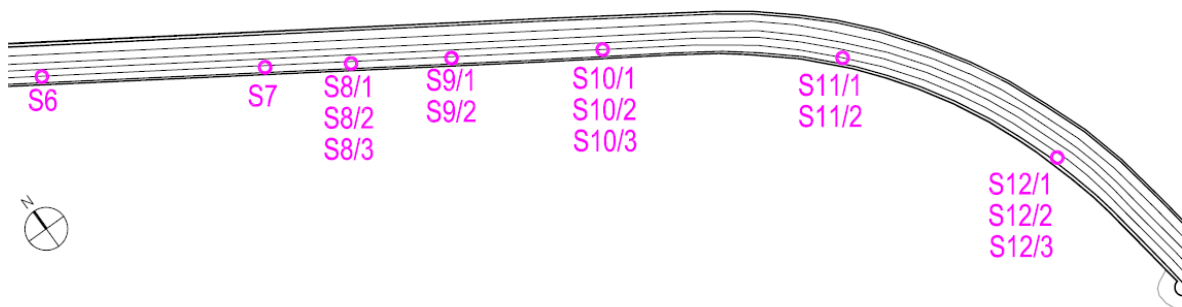


Figura 5-4: localizzazione delle carote estratte per le prove di compressione

I campioni prelevati sono stati tagliati e lavorati fino a ottenere provini rispondenti alle indicazioni delle norme UNI relative alle prove cui gli stessi sono destinati. Nella lavorazione dei campioni occorre scartare dagli stessi parti eventualmente danneggiate dalle operazioni di estrazione ovvero che contengano armature o corpi estranei.



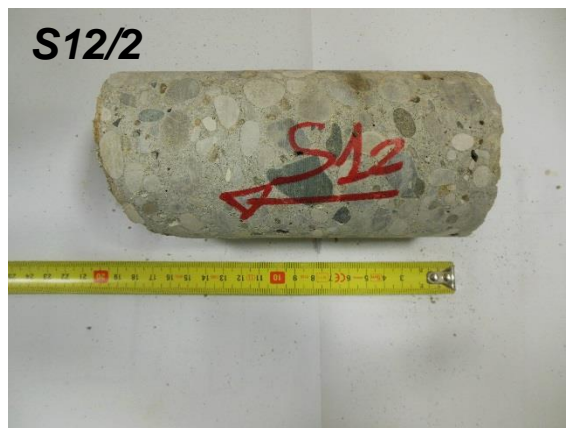
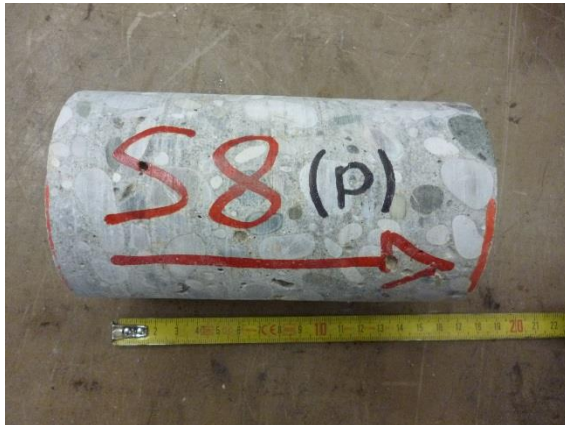


Figura 5-5: provini prima della rettifica





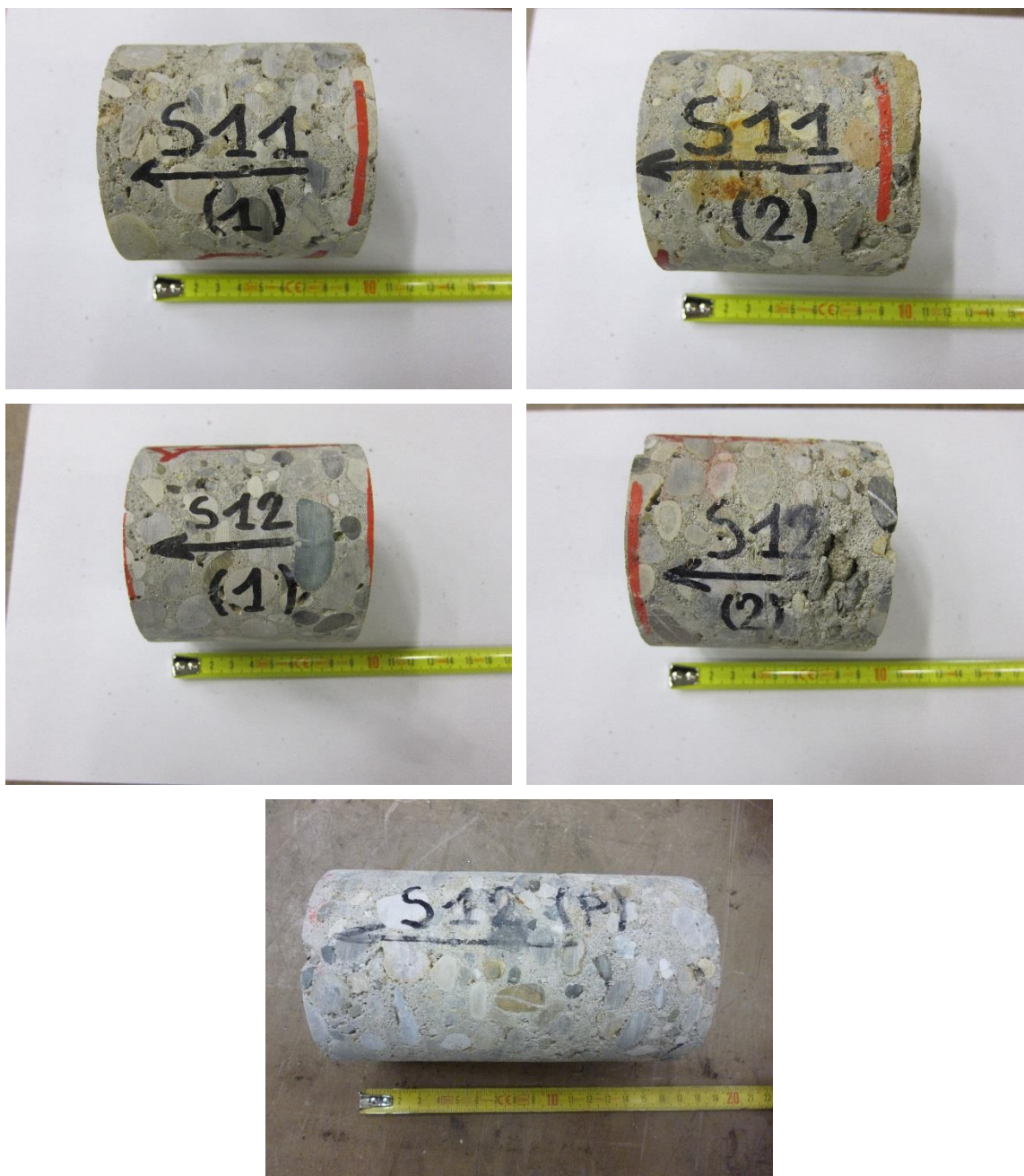


Figura 5-6: provini rettificati



Figura 5-7: esecuzione della prova di schiacciamento

Le carote sono state successivamente sottoposte a prova di schiacciamento presso il Laboratorio Prove sui Materiali da Costruzione dell'Università degli Studi di Padova. Le prove sono state eseguite i giorni 30 dicembre 2013 e 7 gennaio 2014.

Si riportano nel seguito i risultati delle prove (numerazione provino, data esecuzione, tipologia di prova, diametro, altezza, densità, resistenza cilindrica, tipologia di rottura).

Tabella 5-1: prove di compressione sulle carote – Norma UNI EN 12390-3

Provino n.	Data di prova	Tipologia di prova	Ø (mm)	h (mm)	Sez [mm ²]	M _u (kg/dm ³)	R _c o f _c (N/mm ²)	Tipo di rottura
S6	07/01/2014	Cubica	82	83	5281	2.46	69.4	S
S7	07/01/2014	Cubica	82	75	5281	2.37	36.1	S
S8/1	30/12/2013	Cubica	82	85	5281	2.34	21.4	S
S8/2	30/12/2013	Cubica	82	84	5281	2.48	68.3	S
S8/3	07/01/2014	Cilindrica	82	151	5281	2.46	60.6	S
S9/1	30/12/2013	Cubica	82	85	5281	2.34	23.5	S
S9/2	30/12/2013	Cubica	82	85	5281	2.29	22.8	S
S10/1	30/12/2013	Cubica	82	85	5281	2.36	19.9	S
S10/2	30/12/2013	Cubica	82	84	5281	3.38	26.3	S
S10/3	07/01/2014	Cilindrica	82	150	5281	2.31	14.4	S
S11/1	30/12/2013	Cubica	82	85	5281	2.43	29.8	S
S11/2	30/12/2013	Cubica	82	84	5281	2.39	22.0	S
S12/1	30/12/2013	Cubica	82	85	5281	2.50	71.6	S
S12/2	30/12/2013	Cubica	82	85	5281	2.36	9.5	S
S12/3	07/01/2014	Cilindrica	82	151	5281	2.31	12.3	S

Ø	Diametro del provino
h	Altezza provino
Sez	Area resistente del provino
M _u	Massa dell'unità di volume
f _c o R _c	Tensioni di rottura cilindrica o cubica rispettivamente; R _c se Ø~h; f _c se Ø≥2h; f _c = 0,83 R _c

6 RISULTATI CONCLUSIVI DELLA CAMPAGNA DI PROVE ESEGUITE

Lo schema riassuntivo generale delle prove condotte viene riportato in Figura 6-1.

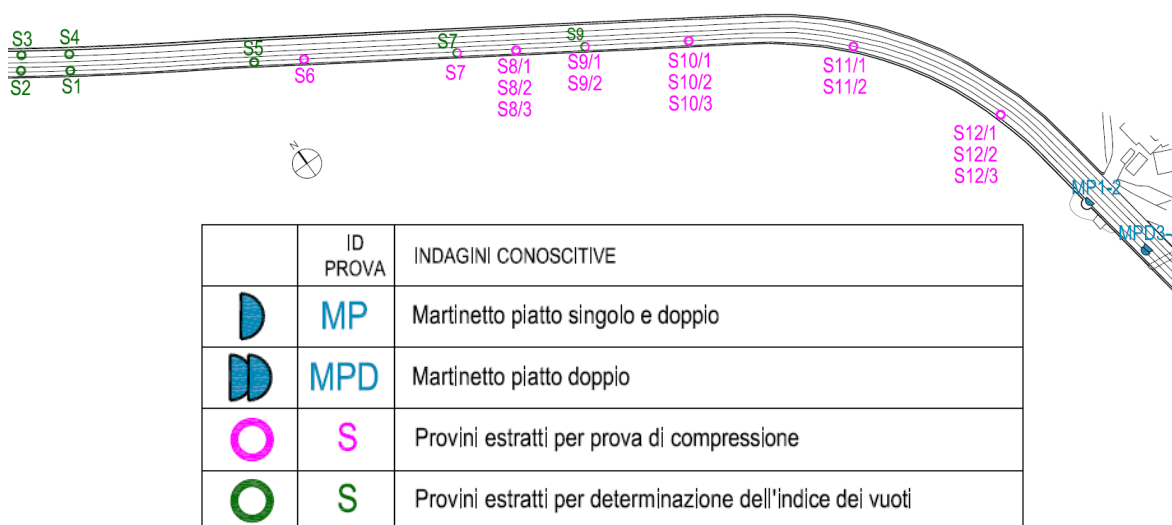


Figura 6-1: schema riassuntivo delle indagini condotte

Le **prove di martinetto piatto** hanno permesso di caratterizzare il comportamento meccanico delle murature indagate, ed al contempo hanno stabilito il tenore locale di tensione cui sono soggette le porzioni murarie oggetto di prova.

I risultati complessivi della prova condotta negli elementi in muratura vengono riportati in Tabella 6-1.

I risultati delle indagini sperimentali indicano mediamente dei valori apprezzabili di tensione locale di compressione. Come capita di rilevare nelle prove di martinetto piatto singolo, si sono verificate delle incongruenze nella risposta dei singoli sensori e la tensione locale è stata calcolata utilizzando sensori che sono giunti a convergenza a valori di tensione anche molto distanti tra loro. Tali prove pertanto possono presentare un valore di tensione locale soggetto ad un errore superiore alle altre.

In seguito a catalogazione visiva, la tipologia muraria analizzata è prevalentemente assimilabile (catalogazione da Tabella C8A.2.1 - Circolare 2 febbraio 2009, n. 617 - Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008, Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, pubblicata sulla Gazzetta Ufficiale n. 47 del 26 febbraio 2009 - Suppl. Ordinario n. 27) a "Muratura in mattoni pieni e malta di calce".

Tabella 6-1: riassunto dei risultati emersi dalla prova di martinetto piatto

Nome Prova	σ_{locale} [N/mm ²]	σ_{max} [N/mm ²]	Caratteristiche di deformabilità		
			$\Delta\sigma$ [N/mm ²]	E_{tangente} [N/mm ²]	E_{scarico} [N/mm ²]
MPD 1	0,74	5,00	0,00-0,50	6335	5573 (0,50 - 0,05)
			0,50-1,00	5984	5616 (1,00 - 0,05)
			1,00-1,50	5075	5375 (1,50 - 0,05)
			1,50-2,00	4060	5089 (2,00 - 0,05)
			2,00-2,50	3268	4742 (2,50 - 0,05)
			2,50-3,00	2715	4418 (3,00 - 0,05)
			3,00-3,50	2185	4014 (3,50 - 0,05)
			3,50-4,00	1742	3641 (4,00 - 0,05)
MPD 2	0,60	5,00	4,50-5,00	693	2793 (5,00 - 0,05)
			0,00-0,50	8050	7147 (0,50 - 0,05)
			0,50-1,00	6830	6757 (1,00 - 0,05)
			1,00-1,50	5827	6492 (1,50 - 0,05)
			1,50-2,00	6704	6518 (2,00 - 0,05)
			2,00-2,50	5384	6294 (2,50 - 0,05)
			2,50-3,00	4548	5984 (3,00 - 0,05)
			3,00-3,50	4179	5733 (3,50 - 0,05)
MPD 3	---	5,00	3,50-4,00	3137	5399 (4,00 - 0,05)
			4,00-4,50	2833	5059 (4,50 - 0,05)
			4,50-5,00	2987	4896 (5,00 - 0,05)
			0,00-0,50	14390	14208 (0,50 - 0,05)
			0,50-1,00	11598	12568 (1,00 - 0,05)

		1,00-1,50	10278	11425 (1,50 - 0,05)
		1,50-2,00	8819	10686 (2,00 - 0,05)
		2,00-2,50	8077	10092 (2,50 - 0,05)
		2,50-3,00	7421	9744 (3,00 - 0,05)
		3,00-3,50	6636	9252 (3,50 - 0,05)
		3,50-4,00	6423	8900 (4,00 - 0,05)
		4,00-4,50	6631	8526 (4,50 - 0,05)
		4,50-5,00	7231	8434 (5,00 - 0,05)
<hr/>				
		0,00-0,50	5470	5588 (0,50 - 0,05)
		0,50-1,00	5040	5318 (1,00 - 0,05)
		1,00-1,50	4818	5218 (1,50 - 0,05)
		1,50-2,00	3875	4964 (2,00 - 0,05)
		2,00-2,50	2836	4507 (2,50 - 0,05)
MPD 4	---	5,00		
		2,50-3,00	2245	4037 (3,00 - 0,05)
		3,00-3,50	1847	3611 (3,50 - 0,05)
		3,50-4,00	1372	3071 (4,00 - 0,05)
		4,00-4,50	927	2656 (4,50 - 0,05)
		4,50-4,80	704	2286 (4,80 - 0,05)

Vengono successivamente comparati i valori emersi dalle prove con quelli suggeriti dalla normativa per la tipologia muraria osservata (Circolare 2 febbraio 2009, n. 617 - Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008, Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, pubblicata sulla Gazzetta Ufficiale n. 47 del 26 febbraio 2009 - Suppl. Ordinario n. 27).

I valori di rigidezza emersi - generalmente relazionabili alla resistenza della muratura - denotano un buon comportamento della muratura indagata. Infatti, relativamente alla

classificazione muraria riportata in tabella C8A.2.1, i valori sperimentali ottenuti sono significativamente superiori rispetto a quelli riportati dalla normativa (che indica il valore di E nel range 1200 – 1800 N/mm²). La prova è stata spinta inoltre ad elevati tenori di compressione (5,0 N/mm²), e solo in prossimità di questi emergeva un netto calo della risposta meccanica della muratura, nella consueta direzione del carico.

Tabella C8A.2.1 - Valori di riferimento dei parametri meccanici (minimi e massimi) e peso specifico medio per diverse tipologie di muratura, riferiti alle seguenti condizioni: malta di caratteristiche scarse, assenza di ricorsi (listature), paramenti semplicemente accostati o mal collegati, muratura non consolidata, tessitura (nel caso di elementi regolari) a regola d'arte; f_m = resistenza media a compressione della muratura, τ_0 = resistenza media a taglio della muratura, E = valore medio del modulo di elasticità normale, G = valore medio del modulo di elasticità tangenziale, w = peso specifico medio della muratura

Tipologia di muratura	f_m	τ_0	E	G	w
	(N/cm ²)	(N/cm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(kN/m ³)
	Min-max	min-max	min-max	min-max	
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	240 400	6,0 9,2	1200 1800	400 600	18
Muratura in mattoni semipieni con malta cementizia (es.: doppio UNI foratura ≤ 40%)	500 800	24 32	3500 5600	875 1400	15
Muratura in blocchi laterizi semipieni (perc. foratura < 45%)	400 600	30,0 40,0	3600 5400	1080 1620	12

Figura 6-2: estratto da Tabella C8A.2.1, circolare 617 – 2009

Le prove di determinazione dell'indice dei vuoti del materiale di riempimento presente sopra le strutture hanno fornito i risultati sotto indicati.

Tabella 6-2: riassunto dei risultati emersi dalle prove per la determinazione dell'indice dei vuoti

Provino n.	Contenuto d'acqua W (%)	Peso di volume γ (kN/mc)	Indice dei vuoti e
S1	23,2	15,79	1,03
S2	23,4	15,05	1,15
S3	23,6	14,91	1,19
S4	19,7	15,21	1,05
S5	7,5	14,64	0,97
S7	9,9	14,97	0,99
S9	9,3	14,54	1,02

Le prove di compressione delle carote di calcestruzzo hanno evidenziato le caratteristiche del materiale riassunte nella tabella seguente.

Tabella 6-3: riassunto dei risultati emersi dalle prove di compressione sul calcestruzzo

Provino n.	Tipologia di prova	Rc o fc (N/mm ²)
S6	Cubica	69.4
S7	Cubica	36.1
S8/1	Cubica	21.4
S8/2	Cubica	68.3
S8/3	Cilindrica	60.6
S9/1	Cubica	23.5
S9/2	Cubica	22.8
S10/1	Cubica	19.9
S10/2	Cubica	26.3
S10/3	Cilindrica	14.4
S11/1	Cubica	29.8
S11/2	Cubica	22.0
S12/1	Cubica	71.6
S12/2	Cubica	9.5
S12/3	Cilindrica	12.3

f_c o R_c Tensioni di rottura cilindrica o cubica rispettivamente; R_c se $\varnothing < h$; f_c se $\varnothing \geq 2h$; f_c = 0,83 R_c

Padova, li 08/01/2014

Per EXPIN srl

Dr. Ing. Filippo Casarin

 EXPIN s.r.l. - ADVANCED STRUCTURAL CONTROL
SPINOFF DELL'UNIVERSITA' DI PADOVA
Via della Croce Rossa, 112 - PADOVA
Tel. 049.8697507 - Fax 049.8697511
C.F./P.IVA 04502850204 - info@expin.it

BIBLIOGRAFIA E NORMATIVA DI RIFERIMENTO MARTINETTI PIATTI

- [1] RILEM Recommendation MDT.D.4: In-situ stress tests based on the flat-jack – RILEM TC 177-MDT: „Masonry durability and on-site testing”, Materials and Structures, Volume 37, Number 7 / August, 2004
- [2] ASTM C 1196-92, „Standard test method for in-situ compressive stress within solid unit masonry estimated using flat-jack measurements”, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, 1997
- [3] Ronca, P., `New developments on the mechanical interpretation of the in-situ flat jack test', National Congress `La Meccanica delle Murature tra Teoria e Progetto', University of Messina, Italy- 18/20 Sept. 1996, 135-143
- [4] Ronca, P., Tiraboschi, C. and Binda, L., 'In-situ flat-jack tests matching new mechanical interpretations', Il`h Int. Brick/Block Masonry Conf. Shanghai, China, Vol. 1 (1997) 357-366
- [5] Rossi, P.P., 'Analysis of mechanical characteristic of brick masonry tested by means of in-situ tests', 6`s IBMaC. Rome, Italy, 1982
- [6] de Vekey, R.C., `Measurement of load eccentricity using flat jacks', Proc. Brit. Mas. Soc. (9) (Proc. 6`h IMC) Vol. 1 (2002) 79-85
- [7] de Vekey, R.C., 'Measurement of horizontal compressive stress in masonry using flat jacks', Acta Polytechnica 36 (2) (1996) 117-126
- [8] RILEM recommendation MDT. D.5: in-situ stress-strain behaviour tests based on the flat jack - RILEM TC 177-MDT: „Masonry durability and on-site testing”, Materials and Structures, Volume 37, Number 7 / August, 2004
- [9] ASTM C 1197, `Standard test method for in-situ measurement of masonry deformability properties using the flat jack method' (1991)
- [10] Bettio C., Gelmi, A., Modena, C. and Rossi, P.P., `Caratterizzazione meccanica consolidamento statico delle murature dei centri abitati di antica origine della provincia di Trento: rapporto preliminare sui risultati delle indagini svolte', Convegno "Murature, sicurezza, recupero", Trento, (1993) 185-222
- [11] Binda, L., `Caratterizzazione delle murature in pietra e mattoni ai fini dell'individuazione di opportune tecniche di riparazione', Unità di Ricerca di Milano, Relazione Finale, Contratto CNR/GNDT (1999)
- [12] Binda, L. and Anzani, A., 'The time-dependent behaviour of masonry prisms: an interpretation', The Masonry Society Journal 11 (2) (1993) 17-34. Binda, L., Gatti, G., Mangano, G., Poggi, C. and Sacchi Landriani, G., 'The collapse of the Civic Tower of Pavia: a survey of the materials and structure', Masonry International 6 (1) (1991) 11-20
- [13] Binda, L., Modena, C. and Baronio, G., 'Strengthening of masonries by injection technique', Proceedings of 6th NaMC, Voi. I, Philadelphia (1993) 1-14

- [14] Binda, L., Tiraboschi, C. and Tongini Folli, R., 'On site and laboratory investigation on materials and structure of the Beli Tower in Monza', 2nd Int. Conf. RILEM on Rehabilitation of structures, Highett, Australia, 1998, 542-556. Eurocode 6, 'Design of Masonry Structure'
- [15] Hilsdorf, H.K., 'Investigation into the failure mechanism of brick masonry loaded in axial compression', Proc. Int. Conf. on Masonry Structural System, Texas, 1969
- [16] Binda, L. and Tiraboschi, C., 'Flat jack test as a slightly destructive technique for the diagnosis of brick and stone masonry structures', Int. Journal for Restoration of Buildings and Monuments (Int. Zeitschrift für Bauinstandsetzen und Baudenkmalpflege, Zurich) (1999) 449-472

BIBLIOGRAFIA TECNICA DI RIFERIMENTO

- [1] Norme Tecniche per le Costruzioni (Decreto Ministeriale del 14/01/2008), Ministero delle Infrastrutture, pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale n. 29 del 4 febbraio 2008 – Suppl. Ordinario n. 30;
- [2] Circolare 2 febbraio 2009, n. 617 - Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008, Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, pubblicata sulla Gazzetta Ufficiale n. 47 del 26 febbraio 2009 - Suppl. Ordinario n. 27;
- [3] Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri - Patrimonio Culturale del 12/10/2007 - Linee guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle Norme Tecniche e all'applicazione dell'O.P.C.M. n. 3274 del 2003 e successive modifiche e integrazioni - G.U. n. 24 del 29/1/2008 suppl. ord. n. 25.

SCHEDE TECNICHE DELLA STRUMENTAZIONE

MARTINETTI PIATTI

Trasduttore di pressione tp14 – aep transducers



Specifiche tecniche

TIPO	TP14
PRESSIONE RELATIVA (R)	20-100 bar
LINEARITÀ ED ISTERESI	$\leq \pm 0.10$ %
EFFETTO DELLA TEMPERATURA (1°C)	
a) sullo zero	$\leq \pm 0.005$ %
b) sulla sensibilità	$\leq \pm 0.005$ %
SENSIBILITÀ NOMINALE	0-10 V
TOLLERANZA DI CALIBRAZIONE	$\leq \pm 0.1$ %
ALIMENTAZIONE NOMINALE (0-10V)	15-24 Vdc
RESISTENZA DI CARICO:	min. 3 K Ω
FREQUENZA DI RISPOSTA	da 2.5 a 5 kHz
VALORI MECCANICI LIMITE riferiti alla pressione nominale:	
a) pressione di servizio	100 %
b) pressione limite	150 %
c) pressione di rottura	>300 %
d) pressione altamente dinamica	75%
TEMPERATURA DI RIFERIMENTO	+23 °C
TEMPERATURA DI ESERCIZIO	-10/+70 °C
ATTACCO DI PROCESSO	1/4"Gas (*1/2"Gas) Maschio / BSP Male
CHIAVE DI SERRAGGIO	27 mm
COPPIA DI SERRAGGIO	28 Nm
CLASSE DI PROTEZIONE (EN 60529)	IP65
MATERIALE PARTE SENSORE	INOX 17-4 PH

Trasduttore di spostamento mls 130 – penny and giles



Specifiche tecniche

TIPO	MLS 130
CORSA	25 mm
RESISTENZA ($\pm 10\%$)	1 K Ω
DIAMETRO DEL CORPO	13 mm
LINEARITA' INDIPENDENTE GARANTITA	$\pm 0,25$ % F.S.
ISTERESI	<0,01 mm
ALIMENTAZIONE MAX.	22 Vdc
RISOLUZIONE	Virtualmente infinita
TEMPERATURA DI FUNZIONAMENTO	da -30 a +100 °C
MONTAGGIO	Perni filettati M4
Grado di protezione	IP66