



**FIXING  
WHAT  
MATTERS**

 **BOSSONG**

**2026**  
STRENGTHENING SYSTEMS  
SISTEMI DI CONSOLIDAMENTO

# ANCORAGGI A INIEZIONE CONTROLLATA CON CALZA



Negli ultimi anni si è sviluppata un'attenzione sempre maggiore nei confronti del patrimonio edilizio esistente e delle attività miranti alla conservazione dei beni edilizi, sia di notevole pregio architettonico che appartenenti all'edilizia tradizionale.

Nell'ambito degli interventi di recupero di edifici esistenti sono ricorrenti le opere di consolidamento in cui si prevede l'inserimento di elementi metallici all'interno di strutture in muratura: la cucitura di piccole lesioni, catene o cerchiature poste a contenimento dell'azione di elementi spingenti quali archi e volte, l'inserimento di tiranti interni alla muratura allo scopo di incrementarne le caratteristiche di resistenza o di migliorare il comportamento globale delle strutture, anche in funzione antisismica.

Moderne ricerche, materiali e tecniche operative, hanno permesso di sviluppare una tecnologia che, riprendendo i principi di funzionamento dei sistemi tradizionalmente utilizzati per il rinforzo delle strutture in muratura, garantisce i migliori risultati dal punto di vista tecnico, nel rispetto dell'esistente e della logica costruttiva del manufatto.

## IL PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO E I VANTAGGI DEL SISTEMA

L'elemento resistente, costituito da una barra in acciaio inossidabile, è dotato di una speciale calza in tessuto che ha la funzione di controllare l'iniezione della malta effettuata coassialmente, per mezzo di appositi dispositivi di iniezione, per rendere solidale l'elemento di rinforzo alla muratura.

L'ancoraggio completamente assemblato viene posizionato all'interno di un perforo realizzato nella muratura da consolidare; la speciale calza viene riempita gradualmente durante l'iniezione, effettuata a bassa pressione, fino a completa saturazione.

Oltre a permettere la buona riuscita delle operazioni di iniezione, evitando imprevedibili e spesso dannose dispersioni in vuoti e cavità che possono essere sempre presenti nelle strutture murarie esistenti, la calza assicura l'aderenza del materiale iniettato al supporto per tutta la lunghezza.

Non si ha dispersione di malta durante l'iniezione, in quanto la malta resta contenuta nella calza che si espande adattandosi al diametro del foro ed alla conformazione del substrato; con i sistemi tradizionali, senza calza, la dispersione di malta è molto alta e spesso è causa di notevoli sprechi e di danni ai manufatti.

Grazie al totale controllo del materiale iniettato, garantito dalla calza, si ha sicurezza della completa iniezione di malta per tutta la lunghezza dell'ancoraggio.

Le caratteristiche della calza e la sua capacità di espansione nelle irregolarità delle murature sono tali da garantire un efficace legame meccanico con il substrato (ancoraggio per ingranamento); la stessa calza, che svolge la funzione di membrana permeabile, permette inoltre alla malta di fuoriuscire superficialmente e di esercitare una funzione di collante a diretto contatto con la muratura, sia a livello superficiale che in profondità, grazie alle caratteristiche di porosità del substrato (ancoraggio per adesione).

Grazie all'azione esercitata dall'ancoraggio su tutta la lunghezza della perforazione ed alla conseguente uniforme distribuzione delle sollecitazioni sulla superficie della muratura da consolidare, le piastre di ancoraggio alle estremità non sono necessarie, se non per esigenze specifiche legate al progetto.

Ai vantaggi di tipo tecnico, studiati per soddisfare le esigenze dei progettisti nell'ambito della conservazione del patrimonio edilizio ed architettonico esistente, si aggiungono i vantaggi legati alla messa in opera del sistema:

- gli ancoraggi iniettati con calza vengono forniti completi di calza, dispositivi di iniezione, manicotti di giunzione o altri accessori eventualmente necessari e della specifica malta;
- semplicità e rapidità delle operazioni di assemblaggio, posa e iniezione;
- non sono più necessarie lavorazioni aggiuntive quali opere murarie per la formazione di tasche o ripristino delle superfici murarie.

Le caratteristiche degli ancoraggi sono definite in base ai parametri specifici di ogni singolo progetto: si possono prevedere ancoraggi passivi, ancoraggi attivi con pre-sollecitazione, ancoraggi verticali e con qualsiasi grado di inclinazione. Lo scambio di informazioni relative alla conoscenza dello stato di conservazione del manufatto e delle finalità degli interventi previsti, rilievi e documentazione fotografica, quadro fessurativo e dei dissesti, progetto degli interventi, costituiscono un momento importante e finalizzato alla definizione della tipologia di ancoraggio più adatta e di una valutazione economica specifica per l'applicazione.



## I PRINCIPALI COMPONENTI

### Barre in acciaio inossidabile

La tipologia di elemento resistente, il diametro e le caratteristiche del materiale dipendono dal tipo di applicazione. Nei paragrafi successivi sono descritti i diversi prodotti disponibili, ancoraggi con barre tipo **GBOS**, **TBOS**, **RBOS** e **MRBOS** ed i principali utilizzi. Partendo dal presupposto che interventi su manufatti esistenti e strutture monumentali debbano avere, tra i principali requisiti, quello della **durabilità**, gli ancoraggi vengono realizzati con barre in acciaio inossidabile AISI 304 e relativi accessori in acciaio inossidabile AISI 316. Su richiesta si possono assemblare ancoraggi con barre in acciaio inossidabile AISI 316 con elevata resistenza alla corrosione, per applicazioni in ambienti marini o particolarmente aggressivi. Il limite dimensionale delle singole barre, relativamente alla lunghezza, è di 6,00 metri, per motivazioni principalmente legate al trasporto ed alla fattibilità delle operazioni di assemblaggio e posa; ancoraggi con lunghezze superiori possono essere assemblati in cantiere mediante manicotti di giunzione a completo ripristino.



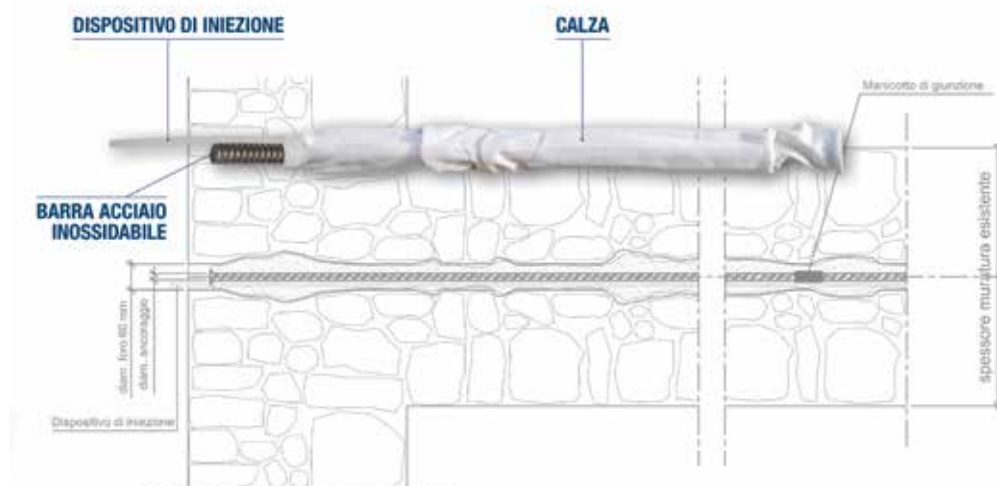
### Calza

L'involucro è costituito da una speciale calza tubolare in tessuto con capacità di espansione, in grado di adattarsi al diametro del perforo ed alla conformazione del substrato. La maglia della calza, che funge da membrana permeabile, è stata progettata per contenere gli aggregati costituenti la miscela, permettendo il filtraggio superficiale della parte più liquida che ne garantisce l'adesione al supporto. Il diametro della calza è dimensionato sulla base del diametro e della lunghezza della perforazione.



### Malta

La malta specifica per iniezioni con calza è un prodotto premiscelato in polvere. Il legante, unito ad aggregati di opportuna granulometria e additivi, costituisce il prodotto preconfezionato che, opportunamente miscelato con acqua, consente di ottenere una miscela iniettabile, a ritiro controllato. La boiaccia è caratterizzata da elevata fluidità che ne garantisce l'iniezione attraverso gli appositi dispositivi anche per diversi metri ma allo stesso tempo, grazie alla specifica composizione, il percolamento attraverso la calza è limitato ad una minima percentuale dell'acqua di impasto che filtra attraverso la maglia della calza nel momento in cui viene raggiunta la completa iniezione dell'ancoraggio. Le caratteristiche della malta da iniezione sono riportate a pag. 12.



# GBOS



Prodotti forniti direttamente da Bossong a imprese o committenti. Non disponibili per rivendite di materiali edili o ferramenta.

## ANCORAGGI

Ancoraggi a iniezione controllata con calza costituiti da barre in acciaio inossidabile AISI 304, su richiesta AISI 316, ad alta resistenza (tensione di rottura a trazione  $750 \text{ N/mm}^2$  - tensione di snervamento  $650 \text{ N/mm}^2$ ), con filettatura adeguata all'utilizzo con calza, continua su tutta la lunghezza o parziale, ottenuta tramite processo di rullatura.

Ancoraggi completamente o parzialmente assemblati completi di calza per il controllo dell'iniezione della malta, appositi dispositivi di iniezione e relativi manicotti di giunzione e/o manicotti tenditori in acciaio inossidabile AISI 316, necessari per lunghezze superiori ai 6,00 metri; inclusa malta Presstec specifica per iniezioni con calza. Sono disponibili elementi accessori quali piastre di ancoraggio all'estremità con relativi dadi e controdadi per soddisfare le diverse esigenze progettuali.

### Dati tecnici



### GBOS P Ancoraggi a iniezione controllata con calza e malta Presstec con barre tipo GBOS

CODICE	ARTICOLO	TIPOLOGIA BARRA	MATERIALE	DIAMETRO BARRA	DIAMETRO FORO	TIPO MALTA INIEZIONE
	<b>GBOS P</b>			$d_{\text{barra}}$ [mm]	$d_{\text{foro}}$ [mm]	
991120	GBOS 12-30 P	GBOS 12/304	inox AISI 304	12	30 *	Presstec
991124	GBOS 12-40 P	GBOS 12/304	inox AISI 304	12	40 **	Presstec
991164	GBOS 16-40 P	GBOS 16/304	inox AISI 304	16	40 **	Presstec
991160	GBOS 16-50 P	GBOS 16/304	inox AISI 304	16	50	Presstec
991200	GBOS 20-60 P	GBOS 20/304	inox AISI 304	20	60	Presstec
991240	GBOS 24-70 P	GBOS 24/304	inox AISI 304	24	70	Presstec
991270	GBOS 27-80 P	GBOS 27/304	inox AISI 304	27	80	Presstec
991300	GBOS 30-90 P	GBOS 30/304	inox AISI 304	30	90	Presstec
991330	GBOS 33-100 P	GBOS 33/304	inox AISI 304	33	100	Presstec
991360	GBOS 36-110 P	GBOS 36/304	inox AISI 304	36	110	Presstec

\* lunghezza max 1000 mm  
\*\* lunghezza max 2500 mm

**Parametri per dimensionamento** vedere capitolo Ricerca e Sviluppo da pag 17

**Malta da iniezione** vedere pag 12

## BARRE



### GBOS

Barre in acciaio inossidabile con filettatura continua



### SBOS

Barre lisce con filettatura parziale in acciaio inossidabile

## ACCESSORI



### C-GBOS

Manicotti di giunzione inox per barre GBOS



### T-GBOS

Manicotti tenditori in inox per barre GBOS



### N-GBOS

Dadi bassi inox per barre GBOS



### LN-GBOS

Dadi alti inox per barre GBOS



### BS-PLATE

Piastre standard in inox



### BA-PLATE

Piastre nervate in inox

## BARRE

### Dati tecnici



## GBOS

Barre in acciaio inossidabile ad alta resistenza con filettatura continua



CODICE	ARTICOLO	MATERIALE	DIAMETRO BARRA	AREA SEZIONE TRASVERSALE	PESO X METRO LINEARE	LUNGHEZZA MAX	TENSIONE DI ROTTURA A TRAZIONE (Valore nominale)	TENSIONE DI SNERVAMENTO (Valore nominale)	CARICO MIN. DI ROTTURA A TRAZIONE	CARICO MIN. DI SNERVAMENTO A TRAZIONE
GBOS			d <sub>barra</sub> [mm]	S [mm <sup>2</sup> ]	[kg/m]	[mm]	f <sub>t, nom</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	f <sub>y, nom</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	N <sub>t, s</sub> [kN]	N <sub>y, s</sub> [kN]
981112	GBOS 12/304	inox AISI 304	12	91	0,73	6000	750	650	64	54
981116	GBOS 16/304	inox AISI 304	16	167	1,30	6000	750	650	124	108
981120	GBOS 20/304	inox AISI 304	20	261	2,10	6000	750	650	196	170
981124	GBOS 24/304	inox AISI 304	24	378	2,90	6000	750	650	283	246
981127	GBOS 27/304	inox AISI 304	27	492	3,90	6000	750	650	368	320
981130	GBOS 30/304	inox AISI 304	30	596	4,70	6000	750	650	446	388
981133	GBOS 33/304	inox AISI 304	33	737	5,75	6000	750	650	552	480
981136	GBOS 36/304	inox AISI 304	36	873	7,00	6000	750	650	653	568
981139	GBOS 39/304	inox AISI 304	39	1037	8,25	6000	750	650	776	674
981142	GBOS 42/304	inox AISI 304	42	1197	9,50	6000	750	650	896	778
981145	GBOS 45/304	inox AISI 304	45	1388	10,90	6000	750	650	1038	903
981148	GBOS 48/304	inox AISI 304	48	1562	12,40	6000	750	650	1168	1016



## SBOS

Barre in acciaio inossidabile ad alta resistenza lisce con filettatura parziale



CODICE	ARTICOLO	MATERIALE	DIAMETRO BARRA	AREA SEZIONE TRASVERSALE	PESO X METRO LINEARE	LUNGHEZZA MAX	TENSIONE DI ROTTURA A TRAZIONE (Valore nominale)	TENSIONE DI SNERVAMENTO (Valore nominale)	CARICO MIN. DI ROTTURA A TRAZIONE	CARICO MIN. DI SNERVAMENTO A TRAZIONE
SBOS			d <sub>barra</sub> [mm]	S [mm <sup>2</sup> ]	[kg/m]	[mm]	f <sub>t, nom</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	f <sub>y, nom</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	N <sub>t, s</sub> [kN]	N <sub>y, s</sub> [kN]
981412	SBOS 12/304	inox AISI 304	10,76	91	0,73	6000	750	650	64	54
981416	SBOS 16/304	inox AISI 304	14,58	167	1,30	6000	750	650	124	108
981420	SBOS 20/304	inox AISI 304	18,25	261	2,10	6000	750	650	196	170
981424	SBOS 24/304	inox AISI 304	21,90	378	2,90	6000	750	650	283	246
981427	SBOS 27/304	inox AISI 304	24,90	492	3,90	6000	750	650	368	320
981430	SBOS 30/304	inox AISI 304	27,57	596	4,70	6000	750	650	446	388
981433	SBOS 33/304	inox AISI 304	30,63	737	5,75	6000	750	650	552	480
981436	SBOS 36/304	inox AISI 304	33,34	873	7,00	6000	750	650	653	568
981439	SBOS 39/304	inox AISI 304	36,34	1037	8,25	6000	750	650	776	674
981442	SBOS 42/304	inox AISI 304	39,04	1197	9,50	6000	750	650	896	778
981445	SBOS 45/304	inox AISI 304	42,04	1388	10,90	6000	750	650	1038	903
981448	SBOS 48/304	inox AISI 304	45,60	1562	12,40	6000	750	650	1168	1016

### Materiali



BARRE  
Inox AISI 304



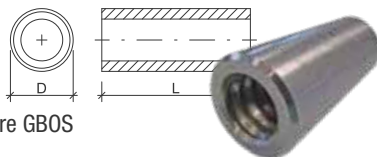
BARRE  
Inox AISI 316 su richiesta



ACCESSORI  
Inox AISI 316

## ACCESSORI

### C-GBOS



Manicotti di giunzione inox per barre GBOS

CODICE	ARTICOLO	MATERIALE	DIAMETRO FILETTATURA	DIAMETRO ESTERNO	LUNGHEZZA	PESO
C - GBOS			d [mm]	D [mm]	L [mm]	[kg]
983012	C-GBOS 12/316	inox AISI 316	12	17,5	46,5	0,05
983016	C-GBOS 16/316	inox AISI 316	16	25	59	0,14
983020	C-GBOS 20/316	inox AISI 316	20	30	71	0,23
983024	C-GBOS 24/316	inox AISI 316	24	36	86	0,41
983027	C-GBOS 27/316	inox AISI 316	27	41	99	0,69
983030	C-GBOS 30/316	inox AISI 316	30	45	107	0,79
983033	C-GBOS 33/316	inox AISI 316	33	50	115	1,07
983036	C-GBOS 36/316	inox AISI 316	36	54,5	122	1,34
983039	C-GBOS 39/316	inox AISI 316	39	59	130	1,67
983042	C-GBOS 42/316	inox AISI 316	42	63,5	137	2,04
983045	C-GBOS 45/316	inox AISI 316	45	68	145	2,48
983048	C-GBOS 48/316	inox AISI 316	48	72,5	152	2,95

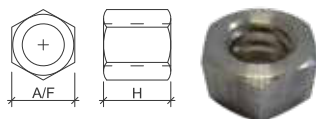
### T-GBOS



Manicotti tenditori inox per barre GBOS

CODICE	ARTICOLO	MATERIALE	DIAMETRO FILETTATURA	DIAMETRO ESTERNO	LUNGHEZZA	PESO
T - GBOS			d [mm]	D [mm]	L [mm]	[kg]
983612	T - GBOS 12/316	inox AISI 316	12	-	-	-
983616	T - GBOS 16/316	inox AISI 316	16	-	-	-
983620	T - GBOS 20/316	inox AISI 316	20	-	-	-
983624	T - GBOS 24/316	inox AISI 316	24	-	-	-
983627	T - GBOS 27/316	inox AISI 316	27	-	-	-
983630	T - GBOS 30/316	inox AISI 316	30	-	-	-
983633	T - GBOS 33/316	inox AISI 316	33	-	-	-
983636	T - GBOS 36/316	inox AISI 316	36	-	-	-
983639	T - GBOS 39/316	inox AISI 316	39	-	-	-
983642	T - GBOS 42/316	inox AISI 316	42	-	-	-
983645	T - GBOS 45/316	inox AISI 316	45	-	-	-
983648	T - GBOS 48/316	inox AISI 316	48	-	-	-

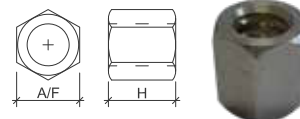
### N-GBOS



Dadi bassi inox per barre GBOS

CODICE	ARTICOLO	MATERIALE	DIAMETRO FILETTATURA	LATO PIATTO	ALTEZZA	PESO
N - GBOS			d [mm]	A/F [mm]	H [mm]	[kg]
983212	N - GBOS 12/316	inox AISI 316	12	19	10	0,02
983216	N - GBOS 16/316	inox AISI 316	16	24	13	0,03
983220	N - GBOS 20/316	inox AISI 316	20	30	16	0,06
983224	N - GBOS 24/316	inox AISI 316	24	36	19	0,11
983227	N - GBOS 27/316	inox AISI 316	27	42	23	0,18
983230	N - GBOS 30/316	inox AISI 316	30	46	24	0,22
983233	N - GBOS 33/316	inox AISI 316	33	50	27	0,29
983236	N - GBOS 36/316	inox AISI 316	36	56	29	0,41
983239	N - GBOS 39/316	inox AISI 316	39	60	32	0,51
983242	N - GBOS 42/316	inox AISI 316	42	65	34	0,64
983245	N - GBOS 45/316	inox AISI 316	45	70	36	0,79
983248	N - GBOS 48/316	inox AISI 316	48	75	38	0,96

### LN-GBOS



Dadi alti inox per barre GBOS

CODICE	ARTICOLO	MATERIALE	DIAMETRO FILETTATURA	LATO PIATTO	ALTEZZA	PESO
LN - GBOS			d [mm]	A/F [mm]	H [mm]	[kg]
983312	LN - GBOS 12/316	inox AISI 316	12	19	20	0,03
983316	LN - GBOS 16/316	inox AISI 316	16	24	26	0,06
983320	LN - GBOS 20/316	inox AISI 316	20	30	32	0,12
983324	LN - GBOS 24/316	inox AISI 316	24	36	38	0,21
983327	LN - GBOS 27/316	inox AISI 316	27	42	44	0,35
983330	LN - GBOS 30/316	inox AISI 316	30	46	48	0,45
983333	LN - GBOS 33/316	inox AISI 316	33	50	60	0,65
983336	LN - GBOS 36/316	inox AISI 316	36	56	66	0,93
983339	LN - GBOS 39/316	inox AISI 316	39	60	68	1,08
983342	LN - GBOS 42/316	inox AISI 316	42	65	70	1,32
983345	LN - GBOS 45/316	inox AISI 316	45	70	72	1,58
983348	LN - GBOS 48/316	inox AISI 316	48	75	76	1,93

### BS-PLATE



Piastre standard in inox

CODICE	ARTICOLO	MATERIALE	DIAMETRO PIASTRA	DIAMETRO BARRA	DIAMETRO FORO	SPESORE
BS-PLATE			[mm]	d [mm]	D [mm]	T [mm]
983822	BS-PLATE	inox AISI 304	220	d	d+2 mm	25
983830	BS-PLATE	inox AISI 304	300	d	d+2 mm	25

### BA-PLATE



Piastre nervate in inox

CODICE	ARTICOLO	MATERIALE	DIAMETRO PIASTRA	DIAMETRO BARRA	DIAMETRO FORO	SPESORE
BA-PLATE			[mm]	d [mm]	D [mm]	T [mm]
983922	BA-PLATE	inox AISI 304	220	d	d+2 mm	25
983930	BA-PLATE	inox AISI 304	300	d	d+2 mm	25

# APPLICAZIONI SPECIALI

## ANCORAGGI ATTIVI

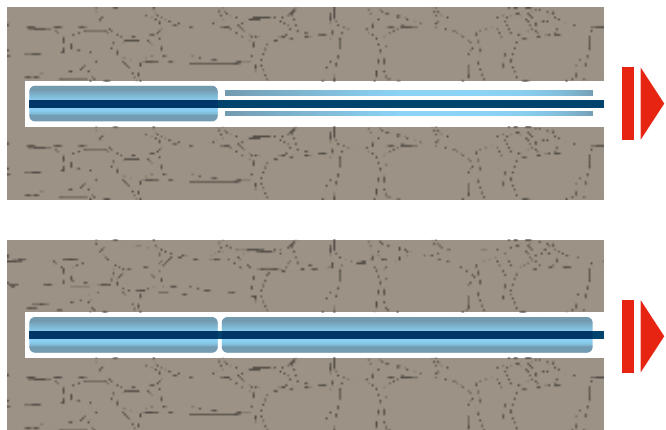
Per alcune applicazioni è possibile prevedere, preliminarmente all'iniezione della malta che renderà solidale l'ancoraggio al substrato, una pre-sollecitazione della barra in acciaio; si otterrà in questo modo un ancoraggio attivo che, come nel caso di tiranti passivi, avrà la funzione di stabilizzare le deformazioni in atto ed impedirne ulteriori sviluppi ma, a differenza di questi, sarà immediatamente efficace.

A seconda delle caratteristiche geometriche e distributive del manufatto su cui si interviene sarà possibile effettuare la tesatura con l'ausilio di elementi di contrasto provvisori o permanenti ad entrambe le estremità (Caso 1) oppure, nel caso di ancoraggi ciechi (Caso 2) creare un bulbo di ancoraggio in profondità, che fungerà da organo di ritegno.



### Caso 1

- inserimento ancoraggio ad iniezione controllata con calza all'interno del perforo
- posizionamento elementi di contrasto provvisori o permanenti alle estremità
- tesatura al valore di pre-sollecitazione richiesto
- iniezione della malta
- eventuale rimozione degli elementi di contrasto, se provvisori, dopo un periodo di 10÷28 giorni, a discrezione della D.L., necessario per la maturazione della malta



### Caso 2

- inserimento ancoraggio ad iniezione controllata con calza all'interno del perforo
- iniezione del bulbo di profondità, dimensionato in funzione del carico di pre-sollecitazione
- posizionamento elementi di contrasto provvisori o permanenti all'estremità libera
- successivamente all'avvenuta maturazione della malta del bulbo di profondità, dopo un periodo di 10÷28 giorni, a discrezione della D.L., può essere effettuata la tesatura della parte libera di barra al valore di pre-sollecitazione richiesto
- iniezione della malta nel secondo bulbo di superficie
- eventuale rimozione degli elementi di contrasto, se provvisori, successivamente all'avvenuta maturazione della malta nel bulbo di superficie



posizionamento elementi di contrasto e cilindro

fase di pre-sollecitazione

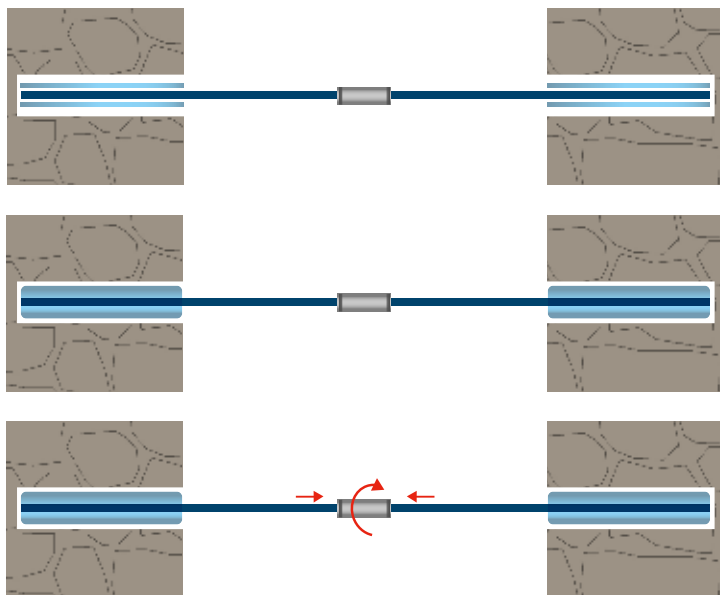


fase di iniezione successiva alla pre-sollecitazione



particolare elemento di contrasto provvisorio

## Catene a vista



a. assemblaggio catena, mediante inserimento manicotto tenditore e posizionamento estremità con bulbi di ancoraggio all'interno dei fori realizzati nella muratura

b. iniezione dei bulbi di ancoraggio alle estremità

c. dopo un periodo di 10÷28 giorni, a discrezione della D.L., necessario per la maturazione della malta, si può procedere con la tesatura della catena mediante azione su manicotto tenditore centrale; al fine di operare una corretta messa in carico delle catene si suggerisce il controllo del tiro applicato a mezzo di azione su manicotto tenditore, attraverso la misura delle deformazioni della barra in acciaio.



bulbo di ancoraggio alle estremità

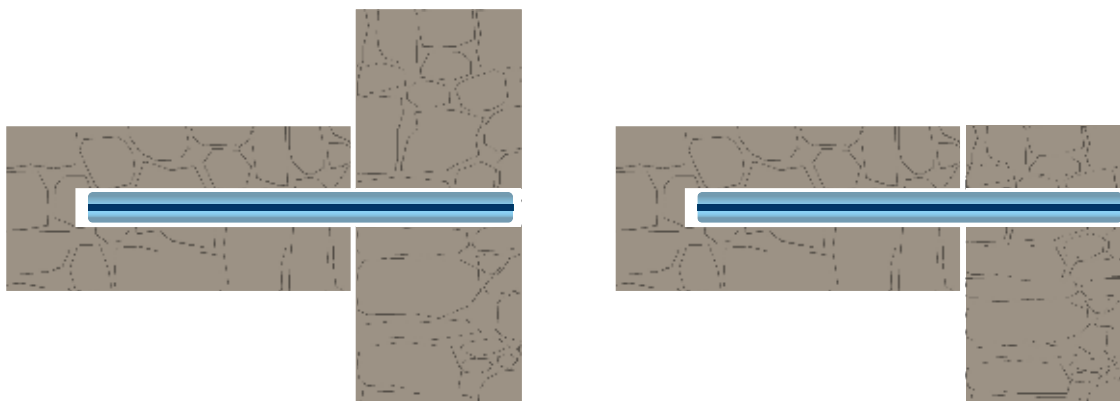
iniezione del bulbo di ancoraggio

manicotto tenditore centrale

catena a vista

## Connessione tra murature d'angolo e di testa

Gli ancoraggi ad iniezione controllata con calza possono essere impiegati per migliorare il collegamento tra muri di spina e pareti longitudinali perimetrali (giunti a T") e tra pareti perimetrali longitudinali e trasversali (giunti a "L"). Questo tipo di soluzione, che sfrutta l'attivazione dei meccanismi di aderenza e di ingranamento con il substrato, permette di limitare la lunghezza dell'ancoraggio alla zona di effettiva necessità senza l'obbligo di dover estendere la perforazione a tutta la lunghezza della parete per collocare elementi di contrasto, quali piastre o capochiave a chiavistello, alle estremità.



# TBOS / RBOS / MRBOS



Prodotti forniti direttamente da Bossong a imprese o committenti. Non disponibili per rivendite di materiali edili o ferramenta.

## ANCORAGGI PER USI SPECIFICI



**TBOS P** Ancoraggi a iniezione controllata con calza e malta Presstec con barre in acciaio inossidabile tipo TBOS con **filettatura metrica**



CODICE	ARTICOLO	TIPOLOGIA BARRA	MATERIALE	DIAMETRO BARRA	DIAMETRO FORO	TIPO MALTA INIEZIONE
TBOS P						
				d <sub>barr</sub> [mm]	d <sub>foro</sub> [mm]	
993120	TBOS 12-30 P	TBOS 12/304	inox AISI 304	12	30*	Presstec
993124	TBOS 12-40 P	TBOS 12/304	inox AISI 304	12	40**	Presstec
993164	TBOS 16-40 P	TBOS 16/304	inox AISI 304	16	40**	Presstec
993160	TBOS 16-50 P	TBOS 16/304	inox AISI 304	16	50	Presstec
993200	TBOS 20-60 P	TBOS 20/304	inox AISI 304	20	60	Presstec
993240	TBOS 24-70 P	TBOS 24/304	inox AISI 304	24	70	Presstec
993270	TBOS 27-80 P	TBOS 27/304	inox AISI 304	27	80	Presstec

\* lunghezza max 1000 mm

\*\* lunghezza max 2500 mm



**RBOS P** Ancoraggi a iniezione controllata con calza e malta Presstec con barre in acciaio inossidabile tipo RBOS ad **aderenza migliorata**



CODICE	ARTICOLO	TIPOLOGIA BARRA	MATERIALE	DIAMETRO BARRA	DIAMETRO FORO	TIPO MALTA INIEZIONE
RBOS P						
				d <sub>barr</sub> [mm]	d <sub>foro</sub> [mm]	
992120	RBOS 12-30 P	RBOS 12/304	inox AISI 304	12	30*	Presstec
992124	RBOS 12-40 P	RBOS 12/304	inox AISI 304	12	40**	Presstec
992164	RBOS 16-40 P	RBOS 16/304	inox AISI 304	16	40**	Presstec
992160	RBOS 16-50 P	RBOS 16/304	inox AISI 304	16	50	Presstec
992200	RBOS 20-60 P	RBOS 20/304	inox AISI 304	20	60	Presstec
992250	RBOS 25-70 P	RBOS 25/304	inox AISI 304	25	70	Presstec

\* lunghezza max 1000 mm

\*\* lunghezza max 2500 mm



**MRBOS P** Ancoraggi multibarra a iniezione controllata con calza e malta Presstec con barre in acciaio inossidabile tipo RBOS ad **aderenza migliorata**



CODICE	ARTICOLO	TIPOLOGIA BARRA	MATERIALE	DIAMETRO BARRA	DIAMETRO FORO	TIPO MALTA INIEZIONE
MRBOS Ls						
				d <sub>barr</sub> [mm]	d <sub>foro</sub> [mm]	
990408	MRBOS 4x8-60(90) P	RBOS 8/304	inox AISI 304	8 (n.4 strand)	60 ÷ 90 (*)	Presstec
990608	MRBOS 6x8-60(90) P	RBOS 8/304	inox AISI 304	8 (n.6 strand)	60 ÷ 90 (*)	Presstec
990410	MRBOS 4x10-70(90) P	RBOS 10/304	inox AISI 304	10 (n.4 strand)	70 ÷ 90 (*)	Presstec
990610	MRBOS 6x10-70(90) P	RBOS 10/304	inox AISI 304	10 (n.6 strand)	70 ÷ 90 (*)	Presstec

(\*) Diametro variabile a seconda della lunghezza dell'ancoraggio

# DIATONI & DIATONOS



Prodotti forniti direttamente da Bossong a imprese o committenti. Non disponibili per rivendite di materiali edili o ferramenta.

## DIATONI ARTIFICIALI AD ESPANSIONE

Murature costituite da più paramenti non ingranati tra loro sono ricorrenti nelle costruzioni storiche. I meccanismi di danno che coinvolgono questi elementi, principalmente identificabili nel distacco di paramenti dovuto alla nascita di spinte interne in pannelli murari soggetti all'azione di carichi verticali e nel comportamento non monolitico di pannelli soggetti a ribaltamento per effetto dell'azione sismica, sono spesso la causa della vulnerabilità degli organismi edilizi ed il loro controllo rappresenta il primo obiettivo di qualsiasi intervento di prevenzione.

Nelle murature costruite "a regola d'arte" l'impiego dei diatoni, blocchi tessuti ortogonalmente al piano del pannello murario e di lunghezza tale da realizzare ingranamento tra i paramenti, assumeva un carattere sistematico, mentre le murature più scadenti ne risultano per la maggior parte sprovviste o caratterizzate da un numero insufficiente di elementi. In questi casi, un intervento che prevede l'inserimento di diatoni artificiali può essere determinante per il miglioramento della riposta del pannello in termini di:

- redistribuzione dei carichi nello spessore murario;
- resistenza alla sollecitazione di trazione ovvero alle spinte interne allo spessore murario, che nascono per effetto dell'azione dei carichi verticali agenti su pannelli costituiti da una tessitura muraria per lo più irregolare;
- resistenza all'azione tangenziale che provoca lo scorrimento tra i paramenti per effetto dell'azione di ribaltamento del pannello in modo da garantire il collegamento tra i paramenti che non risponderanno al momento ribaltante in modo isolato ma con un assetto monolitico, capace di garantire un maggiore effetto stabilizzante.

Rispetto alle tecniche tradizionali descritte in letteratura e richiamate come efficaci per realizzare un adeguato collegamento tra i paramenti murari nelle NTC e nella direttiva del 2007, gli ancoraggi ad iniezione controllata, permettono, grazie alla espansione della calza che esercita una compressione sulla parete del perforo nella fase di iniezione in pressione della malta, il ripristino del flusso originario delle tensioni, deviato nella fase di esecuzione del carotaggio. Un diatono "inerte", inserito in un perforo precedentemente realizzato nel substrato, costituirà un riempimento dello stesso ma difficilmente potrà farsi carico di quelle azioni verticali deviate in corrispondenza delle aree adiacenti.

I vantaggi che derivano dall'utilizzo degli ancoraggi ad iniezione controllata per la realizzazione di diatoni artificiali si riflettono anche sugli aspetti legati alla conservazione ed al rispetto della compagine muraria esistente: un diametro di perforazione ridotto rispetto alle soluzioni proposte dalle tecniche tradizionali e la sicurezza che la malta di iniezione non venga dispersa all'interno delle murature oltre all'utilizzo di elementi resistenti in acciaio inossidabile a garanzia della durabilità nel tempo dell'intervento.



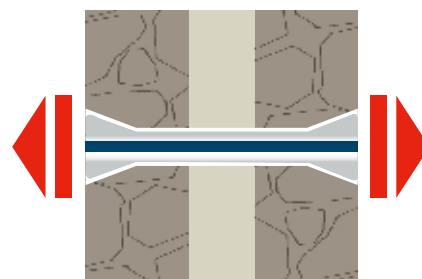
DIATONO

## DAI DIATONI AI DIATONOS

La recente attività di ricerca, condotta in collaborazione con il Prof. Ing. Antonio Borri dell'Università degli Studi di Perugia, ha avuto come principali obiettivi lo studio approfondito del comportamento dei diatoni artificiali a espansione ed il loro incremento prestazionale introdotto mediante la pre-sollecitazione e lo svaso. Questo sistema, che prende il nome di "diatonos" associa ai benefici dell'intervento con diatoni artificiali a espansione i vantaggi derivanti dagli interventi con tirantini antiespulsivi, noti in letteratura.

La pre-sollecitazione viene introdotta al fine di incrementare l'ingranamento esistente tra i paramenti che risulta di norma molto basso nelle murature a paramenti poco o per nulla ammassati. Andando a pre-sollecitare l'elemento di rinforzo con una forza di trazione applicata con apposita chiave dinamometrica, successivamente alla maturazione della malta di iniezione ed alla rimozione degli elementi di contrasto provvisori, lo sforzo viene trasmesso, in termini di azioni di compressione trasversale, ai paramenti.

Lo svaso alle estremità, realizzato con carotaggio a diametro variabile, migliora il meccanismo di trasmissione della compressione trasversale alla muratura, grazie alla nascita di componenti orizzontali dell'azione di compressione sul carotaggio svasato che vanno a sommarsi alle azioni tangenziali distribuite sulla superficie del carotaggio.



DIATONOS  
(con svaso e pre-sollecitazione)



Dati tecnici

Diatoni & Diatonos

Diatoni artificiali ad espansione



CODICE	ARTICOLO	TIPOLOGIA BARRA	MATERIALE	DIAMETRO BARRA	DIAMETRO FORO	LUNGHEZZA MASSIMA	TIPO MALTA INIEZIONE
	<b>GBOS P</b>			$d_{barra}$ [mm]	$d_{foro}$ [mm]	[mm]	
994400	DIATONO	GBOS 16-40 P	inox AISI 304	16	40	1500	Presstec
994900	DIATONOS	GBOS 16-40 (90) P	inox AISI 304	16	40 - 90	1500	Presstec

Parametri per dimensionamento vedere capitolo Ricerca e Sviluppo da pag 17

Malta da iniezione vedere pag 12



# MALTA DA INIEZIONE

Nell'ambito degli interventi di consolidamento di strutture di interesse storico, strettamente legati ai principi del restauro conservativo e spesso vincolati alla tutela della Soprintendenza per i Beni Architettonici, la scelta del materiale da iniezione necessario affinché si sviluppi aderenza tra elemento di rinforzo e substrato deve essere effettuata con particolare attenzione.

Se da un lato malte da inghisaggio a base cementizia, caratterizzate da ottime resistenze meccaniche, possono causare problemi di compatibilità con la muratura, dall'altro, malte a base calce, caratterizzate da una buona compatibilità chimica, offrono valori di resistenza decisamente inferiori alle precedenti. Riguardo all'utilizzo di malte a base cementizia, le eventuali problematiche legate alla compatibilità con i materiali che costituiscono il substrato possono essere superate considerando che gli ancoraggi a iniezione controllata con calza garantiscono un totale controllo dell'iniezione e quindi evitano la dispersione del materiale all'interno della muratura: il contatto tra malta e muratura è limitato alla sola superficie del perforo e ciò costituisce una maggiore sicurezza contro eventuali reazioni chimiche.

Relativamente alla specifica miscela a base cementizia standard abitualmente impiegata per la realizzazione di ancoraggi ad iniezione controllata con calza, la particolare formulazione, specificatamente studiata per l'impiego in manufatti in muratura storica, garantisce una più che buona capacità di resistere all'attacco solfatico come attesta l'esito positivo al Saggio di Anstett.

è inoltre necessario considerare che i requisiti di compatibilità, migliorano quando si evita o comunque si limita la penetrazione da parte dei solfati nei pori: questo avviene grazie al **basso rapporto acqua/legante (0,20÷0,22)** e soprattutto a seguito della modalità stessa di iniezione in pressione, che crea all'interno della calza un bulbo di malta compatto, con ridottissima porosità capillare, difficilmente penetrabile dai solfati.

CODICE	ARTICOLO	MATERIALE
982000	PRESSTEC	malta premiscelata in polvere, di colore grigio chiaro



**CONSUMO E CONFEZIONE:** confezionata in sacchi da 25 kg

**ACQUA D'IMPASTO:** 20÷22% (5÷5,5 litri di acqua per ogni sacco da 25 kg di prodotto)



12 mesi

**STOCCAGGIO E CONSERVAZIONE:** conservare il prodotto in luogo asciutto e protetto, a temperatura compresa tra +5° e +35°C.

**DURATA:** 12 mesi se il prodotto è correttamente conservato negli imballi originali integri

PROPRIETÀ MECCANICHE E FISICHE				
	CARATTERISTICHE PRESTAZIONALI		METODO DI PROVA	NORMA DI RIFERIMENTO
Massa volumica malta fresca [kg/m³]	28 gg	<b>2.070</b>	UNI EN 1015-6	UNI EN 998-2
Resistenza a compressione [MPa]	3 gg	<b>21,20</b>	UNI EN 1015-11	UNI EN 998-2
	7 gg	<b>37,20</b>		
	28 gg	<b>51,50</b>		
Resistenza a trazione per flessione [MPa]	3 gg	<b>2,50</b>	UNI EN 1015-11	UNI EN 998-2
	7 gg	<b>3,50</b>		
	28 gg	<b>4,50</b>		
Modulo elastico a compressione [MPa]	28 gg	<b>28.000</b>	UNI EN 1015-11	UNI EN 998-2

PROPRIETÀ CHIMICHE			
CARATTERISTICHE PRESTAZIONALI	PRESSTEC	METODO DI PROVA	NORMA DI RIFERIMENTO
Resistenza ai solfati	Espansione al saggio di Anstett inferiore all'1,6% dopo 28 gg	saggio di Anstett	-

# ACCESSORI & COMPLEMENTI



## BOS TP

Tubi in PVC con filettatura alle estremità per sistema di protezione continuo



## IW

Isolatore in nylon



## BOS RM

Raccordi metallici carotatrice / tubi BOS TP



### Dati tecnici



Tubi protezione in PVC

## BOS TP

CODICE	ARTICOLO	MATERIALE	DIAMETRO ESTERNO	DIAMETRO INTERNO	LUNGHEZZA
			d <sub>est</sub> [mm]	d <sub>int</sub> [mm]	[mm]
984050	BOS TP 50	PVC	50	38	1000
984060	BOS TP 60	PVC	60	48	1000
984070	BOS TP 70	PVC	70	58	1000
984080	BOS TP 80	PVC	80	68	1000

## BOS RM



Raccordi metallici carotatrice / tubi BOS TP

CODICE	ARTICOLO	MATERIALE	RACCORDO PER
984150	BOS RM 50	ACCIAIO	BOS TP 50
984160	BOS RM 60	ACCIAIO	BOS TP 60
984170	BOS RM 70	ACCIAIO	BOS TP 70
984180	BOS RM 80	ACCIAIO	BOS TP 80

## IW



Isolatore in nylon



CODICE	ARTICOLO	MATERIALE	DIAMETRO FORO PASSANTE	DIAMETRO RONDELLA	LUNGHEZZA
			d [mm]	D [mm]	L [mm]
984216	IW 16	NYLON	16	30	15
984220	IW 20	NYLON	20	35	20
984224	IW 24	NYLON	24	45	25
984227	IW 27	NYLON	27	55	30

# INSTALLAZIONE ANCORAGGI

## PERFORAZIONE

L'installazione degli ancoraggi viene effettuata all'interno di fori realizzati nella muratura per mezzo di carotatrici con sonda diamantata, con funzionamento a sola rotazione, in modo da evitare effetti di vibrazione e di percussione sulle strutture murarie. Le perforazioni possono essere effettuate, a seconda del tipo di muratura e del contesto in cui si deve operare, con raffreddamento ad acqua ad aria o con tecnologie che evitano la dispersione dei liquidi di raffreddamento. La scelta della modalità di perforazione è determinante, soprattutto se si opera in contesti di particolare pregio ove possono essere presenti pareti affrescate, intonaci, stucchi e altri manufatti la cui salvaguardia deve essere garantita. Il diametro del perforo viene definito in base alle dimensioni dell'ancoraggio: in particolare deve essere circa tre volte il diametro della barra in acciaio che costituisce l'ancoraggio; anche la valutazione della lunghezza dell'ancoraggio è determinante per la scelta del diametro di perforazione.

Il corretto dimensionamento del perforo garantisce non solo la fattibilità delle operazioni di inserimento dell'ancoraggio, completo di calza, manicotti di giunzione e dispositivi di iniezione, ma è anche fondamentale per il funzionamento stesso dell'ancoraggio dal momento che una variazione del diametro di perforazione influisce sulla superficie di contatto con il substrato.

Per la specificità degli interventi che interessano gli edifici monumentali è importante fare riferimento a società di perforazione con esperienza nel settore; inoltre, per una corretta esecuzione delle opere, Bossong raccomanda di affidare l'esecuzione delle operazioni di assemblaggio e posa degli ancoraggi ad iniezione controllata con calza a **operatori che abbiano ricevuto adeguata formazione da Bossong e che facciano uso della specifica attrezzatura** (vedere pag. 16).



## ASSEMBLAGGIO E POSA

Successivamente alla perforazione, prima dell'installazione degli ancoraggi iniettati con calza, è necessario l'inserimento, all'interno dei fori, di specifici Tubi di Protezione Bossong BOS-TP, di adeguato diametro, in modo da facilitare le operazioni di posa degli ancoraggi ed evitare di dover riprendere la perforazione a causa dell'ostruzione dei fori. Gli ancoraggi, completamente assemblati, dotati di specifica calza in tessuto e dei dispositivi di iniezione vengono posizionati all'interno delle apposite sedi. Per gli ancoraggi con lunghezza superiore ai 6,00 metri l'assemblaggio finale viene effettuato in cantiere: la connessione tra le diverse parti avviene tramite manicotti di giunzione a completo ripristino e, nel caso di incanamenti posti a contenimento di azioni esercitate da elementi spingenti, quali archi e volte, è previsto l'inserimento di manicotti tenditori.



## INIEZIONE DELLA MALTA

La speciale malta è una miscela studiata appositamente per essere iniettata all'interno della calza in tessuto: il legante, unito ad aggregati di differente granulometria, costituisce il prodotto preconfezionato che, opportunamente miscelato con acqua, produce una malta iniettabile, a ritiro controllato. Successivamente alla miscelazione, la malta viene inserita in uno specifico serbatoio e portata ad una pressione di circa 2,5-5 bar: la pressione di iniezione sarà definita in base alla lunghezza dell'ancoraggio e alle condizioni della muratura in cui si va ad operare. L'iniezione viene effettuata gradualmente fino a completa saturazione dell'ancoraggio.



preparazione della boiacca

miscelazione con trapano a frusta

filtraggio malta attraverso idoneo setaccio

iniezione all'interno degli appositi dispositivi



La malta è confezionata in sacchi e deve essere miscelata con acqua fresca e pulita; il rapporto raccomandato di acqua/malta è di 5 litri di acqua per ogni sacco da 25 Kg di prodotto. I 5 litri possono essere incrementati del 10% (500 ml) nel caso in cui le temperature siano superiori ai 20°C, quando il substrato si presenta particolarmente asciutto e poroso oppure se l'iniezione viene effettuata attraverso tubi di diametro molto piccolo:

- versare 4,5 litri di acqua in un contenitore pulito adatto alla miscelazione;
- aggiungere gradualmente circa 3/4 del contenuto di un sacco di malta e, contemporaneamente, iniziare a mescolare con trapano elettrico manuale dotato di apposita frusta;
- aggiungere un ulteriore mezzo litro di acqua (per raggiungere la quantità raccomandata di 5 litri) e il restante contenuto del sacco di malta;
- mescolare in continuazione la malta per circa 4 minuti rimuovendo il composto secco dai bordi del contenitore;
- lasciar riposare la miscela per 5 minuti durante i quali il composto inizia ad addensarsi; in questa fase, se necessario, può essere aggiunta una parte o tutto il mezzo litro (10%) di acqua supplementare;
- versare, attraverso idoneo setaccio, la malta miscelata nel serbatoio di iniezione a pressione;
- pressurizzare il serbatoio tra i 2,5-5 bar a seconda del tipo e della lunghezza dell'ancoraggio da iniettare.

Si raccomanda di non aumentare il contenuto di acqua al di fuori dei parametri e delle quantità indicate al fine di evitare una riduzione della resistenza della miscela ottenuta.

Per approfondimenti sulla modalità di applicazione vedere **Istruzioni per l'installazione degli ancoraggi a iniezione controllata con calza**.



testa dell'ancoraggio prima dell'iniezione

testa dell'ancoraggio dopo l'iniezione

## PROVE IN SITU

Le prestazioni degli ancoraggi a iniezione controllata dipendono in larga misura dal tipo di substrato in cui sono installati. Test di pull-out su ancoraggi campione (di sacrificio) possono essere richiesti ed effettuati, in fase preliminare, per l'acquisizione di dati utili per la progettazione e il dimensionamento degli ancoraggi e/o in fase successiva alla realizzazione dell'intervento, per il collaudo.

L'utilizzo di cilindri forati a spinta, posizionati in asse all'ancoraggio, di una pompa manuale per l'applicazione della forza e di un trasduttore rettilineo per la misura dello spostamento in testa alla barra, permettono di rilevare i valori del carico e del relativo spostamento. Un sistema digitale di acquisizione dati, composto da un personal computer collegato ad una centralina di acquisizione/conversione dati, permette di ottenere GRAFICI CARICO-SPOSTAMENTO.



## ATTREZZATURA E ISTRUZIONI PER L'INSTALLAZIONE DEGLI ANCORAGGI

Per l'installazione degli ancoraggi è necessario l'utilizzo di specifica attrezzatura:

- serbatoio a pressione per iniezioni, capacità 24 o 50 lt, completo di tubo e accessori
- lancia di iniezione con raccordi per il collegamento con i dispositivi di iniezione
- compressore professionale a secco (senza olio), capacità 24 lt, con raccordi a servizio del serbatoio di iniezione
- miscelatore manuale con frusta
- tubi di protezione in PVC di adeguato diametro con estremità filettate sullo spessore
- due contenitori per la miscelazione (minimo 20 lt di capienza) e un cantaltri
- un grosso setaccio a maglie sottili
- dispositivo per il controllo in linea delle iniezioni in profondità (solo per iniezioni non ispezionabili)
- pistola termo-incollatrice e stick ricarica colla termofusibile
- dispositivi di protezione individuale (DPI – occhiali, guanti, mascherina per polveri)
- kit accessori installazione

Per approfondimenti sulla modalità di applicazione vedere **Istruzioni per l'installazione degli ancoraggi a iniezione controllata con calza**.



## RICERCA E SVILUPPO

A testimonianza della necessità di intraprendere studi nel campo degli ancoraggi iniettati è la richiesta sempre più forte da parte dei progettisti di strumenti e di linee guida per il progetto degli ancoraggi e la loro applicazione nel campo del consolidamento delle strutture in muratura. Attualmente la scarsa bibliografia esistente sull'argomento e la carenza di normazione rendono difficoltosa la progettazione di interventi in cui sia necessario l'ancoraggio nelle murature; uno dei principali obiettivi della ricerca è proprio quello di fornire dei parametri di progettazione che possano essere di riferimento per progettisti e tecnici che operano nel settore.



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI BRESCIA

Dipartimento di Ingegneria Civile, Architettura,  
Territorio e Ambiente (DICATA)  
Laboratorio Prove Materiali "Pietro Pisa"

### LA DEFINIZIONE DI UN PROTOCOLLO DI PROVA E LA PRIMA CAMPAGNA SPERIMENTALE IN LABORATORIO

Nel corso delle prime attività condotte nell'ambito della ricerca e dello sviluppo, a partire dall'anno 2006, con il coordinamento scientifico del Prof. Ezio Giuriani e del Prof. Giovanni Plizzari, Dipartimento di Ingegneria Civile, Architettura, Territorio e Ambiente dell'Università degli Studi di Brescia, si è resa necessaria la definizione di un protocollo di prova che fosse di riferimento sia per l'esecuzione di prove in laboratorio che in situ.


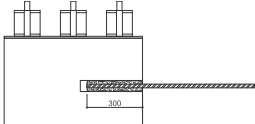
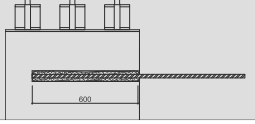
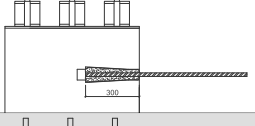
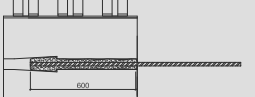
Per l'esecuzione di una prova di estrazione, non confinata, di un ancoraggio campione, preventivamente inserito nel perforo realizzato nella muratura e reso solidale al substrato mediante l'iniezione di malta, è necessario un elemento di contrasto che permetta di scaricare la forza applicata in corrispondenza degli appoggi che avranno una distanza dall'ancoraggio tale da permettere l'eventuale formazione di un cono di estrazione nella muratura. La forza viene applicata mediante cilindri forati a spinta posizionati in asse all'ancoraggio collegati ad una pompa oleodinamica manuale collegata a relativo manometro digitale o analogico per la lettura del carico applicato. La misura dello spostamento è invece affidata a un trasduttore rettilineo posizionato in testa all'ancoraggio. Un sistema digitale di acquisizione dati composto da un personal computer collegato ad una centralina di acquisizione /conversione dati, permette di ottenere grafici carico-spostamento.



Le prime prove sperimentali sono state effettuate presso il Laboratorio Pietro Pisa dell'Università degli Studi di Brescia su banchi prova realizzati in scala reale con muratura "standard", opportunamente pre-sollecitata e con modeste caratteristiche meccaniche in modo tale da riprodurre una tipologia strutturale il più possibile simile a quella presente nelle costruzioni storiche; scopo delle prove la valutazione, in termini sia qualitativi che quantitativi, della capacità resistente degli ancoraggi ad iniezione controllata con calza, in termini di aderenza e ingranamento e delle relative modalità di rottura. Fin dalle prime esperienze di laboratorio si è ritenuto utile procedere, in parallelo allo studio dei tradizionali ancoraggi iniettati con malta a base cementizia, allo studio del comportamento di ancoraggi iniettati con malta a base calce; una delle priorità della sperimentazione sugli ancoraggi è stata infatti quella di corrispondere alle richieste del recupero conservativo che pongono particolare attenzione alla compatibilità chimico-fisica con le murature storiche.

I numerosi test eseguiti hanno portato alla definizione di alcuni parametri, ritenuti significativi per la progettazione degli ancoraggi iniettati con calza, quali le sollecitazioni di taglio all'interfaccia bulbo malta-substrato e quelle all'interfaccia barra-malta.

L'abaco riportato a pagina seguente indica i valori medi delle tensioni tangenziali ultime all'interfaccia bulbo di malta-muratura ( $\tau_{U \text{ media foro}}$ ) e barra-malta ( $\tau_{U \text{ media barra}}$ ) per differenti forme imposte con l'esecuzione del carotaggio e per le due tipologie di malta, a base cementizia e a base calce. Dall'osservazione dei risultati appare evidente che gli ancoraggi iniettati a base calce risultano penalizzati nel caso di perfori perfettamente cilindrici ove il meccanismo resistente principale che si sviluppa è l'aderenza con il substrato, mentre le performance migliorano nel momento in cui, grazie allo svaso o al sottosquadro, si attiva il meccanismo resistente per forma; sottosquadro e svaso non hanno invece alcuna influenza sulle prestazioni dell'ancoraggio iniettato con malta a base cementizia, che sviluppa le massime tensioni tangenziali sfruttando la sola aderenza e gli ingranamenti meccanici offerti dal substrato in condizioni di normale perforo cilindrico. Un'altra considerazione emerge dal confronto tra i risultati ottenuti in funzione della differente lunghezza di ancoraggio: i valori medi delle tensioni tangenziali ultime calcolate sulla lunghezza sono confrontabili tra loro a significare che il carico aumenta proporzionalmente all'aumentare della lunghezza di ancoraggio per i valori considerati, ovvero da 300mm a 600mm.

TIPO MURATURA	TIPO PERFORO	RESISTENZA COMPRESIONE MALTA ALLETTAMENTO	TIPO ANCORAGGIO			MALTA BASE CEMENTIZIA		MALTA BASE CALCE	
			diam. barra	diam. perforo	lung. ancoraggio	$\tau_u$ media foro	$\tau_u$ media barra	$\tau_u$ media foro	$\tau_u$ media barra
		[MPa]	[mm]	[mm]	[mm]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
		< 4	20	60	300	<b>1,81</b>	<b>5,62</b>	<b>0,89</b>	<b>2,77</b>
		< 4	20	60	600	<b>1,47</b>	<b>4,56</b>	<b>0,88</b>	<b>2,73</b>
		< 4	20	60 con svaso	300	<b>1,03</b>	<b>3,20</b>	<b>1,29</b>	<b>4,01</b>
		< 4	20	60 con sottosquadro	600	<b>1,62</b>	<b>5,02</b>	<b>0,97</b>	<b>3,01</b>

abaco valori tensioni tangenziali ultime medie ottenute da prove di estrazione in laboratorio

Nelle murature esistenti, siano esse costituite principalmente da elementi in laterizio o lapidei o di natura mista, difficilmente ci si potrà ricondurre ai casi limite indagati nello studio sperimentale; la prevalenza di meccanismi di aderenza o di ingranamento meccanico sarà in funzione dell'organizzazione della muratura stessa e della percentuale di vuoti presenti.

#### FONTI BIBLIOGRAFICHE E APPROFONDIMENTI

Algeri C., Poverello E., Plizzari G., Giuriani E., "Experimental study on the injected anchors behaviour on historical masonry" in SAHC 2010, 7th International Conference on Structural Analysis of Historical Constructions, 6-8 October, Shanghai, China, 2010.










## PROVE IN SITU

La prima fase di prove sperimentali in laboratorio su muratura standard è stata seguita da una seconda campagna di prove in situ per la formazione di una banca dati il più possibile rappresentativa delle diverse tipologie murarie che si ritrovano nei manufatti esistenti. Anche in questo caso, l'esecuzione dei test su differenti substrati quali muratura di mattoni e muratura di pietra, ha permesso di acquisire valori di tensioni tangenziali all'interfaccia bulbo di malta-muratura e all'interfaccia barra-malta. Le proprietà del substrato e tra queste le caratteristiche di resistenza della malta di allettamento, che possono essere indagate con prove di infissione sui giunti di malta con sclerometro adattato, influenzano in modo determinante la capacità degli ancoraggi, come dimostra la variabilità dei parametri ottenuti. Dal momento che la modalità di rottura più ricorrente è quella che interessa il substrato, lasciando intatto il bulbo di ancoraggio, la progettazione degli ancoraggi deve essere basata sulla conoscenza delle proprietà della muratura (resistenza del materiale base). L'abaco a pagina seguente riporta i valori medi delle tensioni tangenziali ultime medie, all'interfaccia malta-muratura ( $\tau_u$  media foro) e barra-malta ( $\tau_u$  media barra) ottenute dalle prove in situ in funzione della tipologia del substrato ovvero del tipo di elementi resistenti, della malta di allettamento e della tessitura muraria e in funzione del tipo di malta utilizzata per l'iniezione, malta a base cementizia e malta a base calce.

I valori delle tensioni tangenziali di progetto potranno essere determinati, a partire dai valori ultimi medi, mediante applicazione di opportuno coefficiente di sicurezza:

$$\tau_{rec} = \tau_u \text{ media} / \nu \text{ [MPa]} \quad \nu = 3 \div 4 \text{ coefficiente di sicurezza}$$



TIPO MURATURA	CODIFICA	ELEMENTI RESISTENTI	RESISTENZA COMPRESSIONE MALTA ALLETTAMENTO	TIPO ANCORAGGIO			MALTA BASE CEMENTIZIA		MALTA BASE CALCE	
				diam. barra	diam. perforo	lungh. ancoraggio	$\tau_u$ media foro	$\tau_u$ media barra	$\tau_u$ media foro	$\tau_u$ media barra
			[MPa]	[mm]	[mm]	[mm]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
	 A	Mattoni pieni 30x15x5 cm	~ 4	20	60	430	<b>0,61</b>	<b>1,88</b>	<b>0,47</b>	<b>1,47</b>
	 B	Mattoni pieni 26x12x6 cm	6,0÷6,5	20	60	550	<b>1,12</b>	<b>3,59</b>	-	-
	 C	Mattoni pieni 26x13x8 cm	6,0÷9,0	20	60	500	<b>1,39</b>	<b>4,30</b>	<b>0,87</b>	<b>2,71</b>
	 D	Tufo calcareo	1,0÷1,5	20	60	500	<b>0,47</b>	<b>1,45</b>	-	-
	 E	Travertino e tufo calcareo	5,0÷6,0	20	60	600	<b>0,86</b>	<b>2,67</b>	-	-
	 F	Travertino	~ 4	20	60	550	<b>0,49</b>	<b>1,53</b>	-	-
	 G	Arenaria	< 0,5	20	60	550	<b>0,53</b>	<b>1,64</b>	-	-
	 H	Calcare compatto	<< 4	20	60	430	<b>1,00</b>	<b>3,09</b>	<b>0,85</b>	<b>2,64</b>
	 I	Calcare compatto	1,0÷1,5	16	40	550	<b>1,69</b>	<b>4,22</b>	-	-
	 L	Calcare compatto	elevata resistenza	20	60	600	<b>1,73</b>	<b>5,35</b>	<b>1,11</b>	<b>3,45</b>
	 M	Pietra calcarea	0,5÷1,0	20	60	600	<b>1,88</b>	<b>6,01</b>	-	-
	 N	Porfido	1,0÷5,0	20	60	580	<b>1,33</b>	<b>4,13</b>	-	-
	 O	Roccia calcarea compatta	-	20	60	500	<b>2,14</b>	<b>6,62</b>	-	-

abaco valori tensioni tangenziali ultime medie ottenute da prove di estrazione in situ

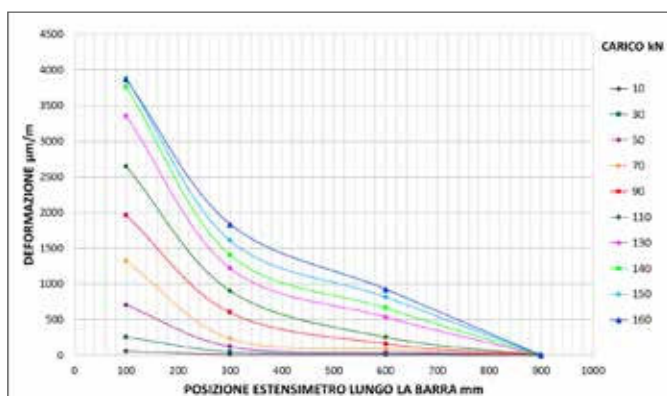
## DALLE PROVE DI ESTRAZIONE MONOTONE ALLE PROVE CICLICHE



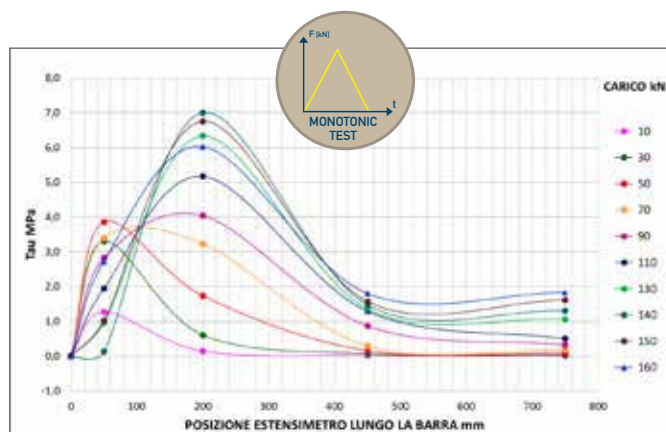
UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI BERGAMO  
Dipartimento di Ingegneria  
Laboratorio Prove Materiali "ProMa"

Il problema della salvaguardia dei beni monumentali e della loro messa in sicurezza in relazione alle recenti disposizioni normative in tema di prevenzione del rischio sismico, ha fornito lo spunto per approfondire le conoscenze scientifiche necessarie per uno sviluppo delle tecniche di ancoraggio sul costruito storico anche in campo sismico. Le attività sperimentali in laboratorio e in situ sono state condotte nell'ambito di un progetto di ricerca e sviluppo relativo alla valorizzazione del patrimonio culturale, il progetto Animus, acronimo di Ancoraggi Iniettati in Murature Storiche, co-finanziato dal programma Europeo POR-FESR 2007-2013, con il coordinamento scientifico del Prof. Ing. Paolo Riva del Dipartimento di Ingegneria dell'Università degli Studi di Bergamo e con la collaborazione del Dipartimento di Ingegneria dell'Università degli Studi di Brescia.

Il set up di prova, messo a punto con le precedenti esperienze, è stato implementato allo scopo di acquisire il maggior numero di informazioni utili ai fini della comprensione del comportamento degli ancoraggi ad iniezione controllata: gli ancoraggi test sono stati strumentati con estensimetri, posizionati sulla barra di acciaio, capaci di restituire la deformazione della stessa, nelle sezioni indagate, durante l'esecuzione della prova. Per tutte le prove eseguite si è quindi analizzata la risposta dell'ancoraggio sulla lunghezza sia in termini di deformazioni rilevate in corrispondenza degli estensimetri che in termini di sforzi tangenziali lungo l'ancoraggio, calcolati come valori medi nei tratti compresi tra gli estensimetri, al crescere del carico applicato.



deformazione estensimetri lungo la barra

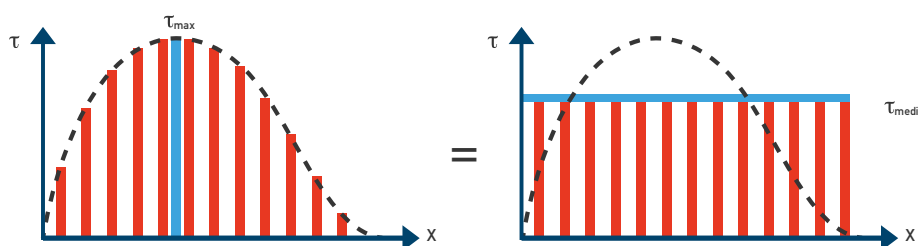


distribuzione  $\tau$  lungo l'ancoraggio ( $l_{eff} = 900$  mm)

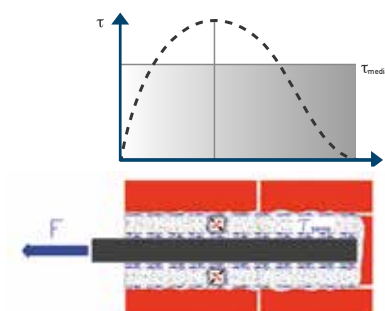
Nell'esempio riportato viene preso in esame un ancoraggio con lunghezza efficace pari a 900 mm: si può osservare che per bassi valori di carico, da 0 a 50 kN l'andamento presenta un picco nel primo tratto, più vicino al punto di applicazione del carico; all'aumentare del carico, da 70 a 160 kN si inizia ad osservare un arretramento del picco, a significare che in questa seconda fase il carico viene maggiormente trasferito al secondo tratto di ancoraggio. Verso la fine del bulbo gli sforzi hanno valori contenuti evidenziando che la lunghezza di ancoraggio è risultata sufficiente a sfruttare il fenomeno dell'aderenza.

Il grafico ottenuto sperimentalmente mostra un andamento qualitativo schematizzabile con un picco che tende a smorzarsi man mano che ci si allontana dal punto di applicazione del carico, andando a definire la cosiddetta lunghezza di ancoraggio efficace sulla quale si può considerare, come semplificazione per il calcolo, una distribuzione uniforme corrispondente al valore medio.

Nel caso in esame la tensione tangenziale massima  $\tau_{max}$  in corrispondenza del carico a rottura, all'interfaccia barra-malta è pari a 7,0 MPa mentre la tensione tangenziale media  $\tau_{media}$ , calcolata sulla lunghezza efficace di ancoraggio, sarà pari a 2,86 MPa.

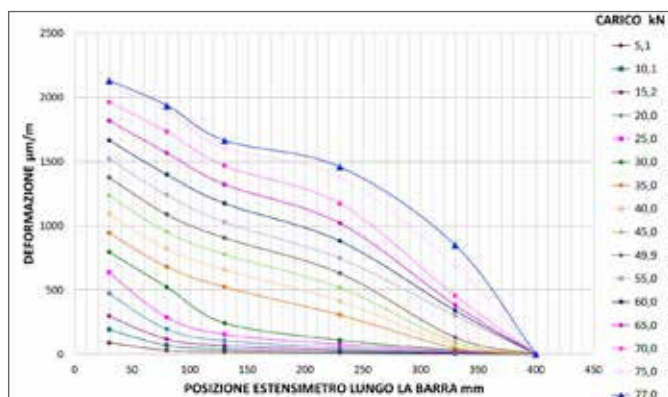


schematizzazione adottata per il calcolo

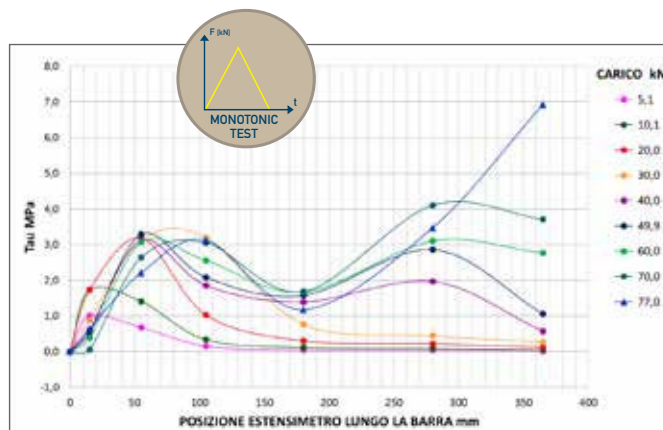


distribuzione sollecitazioni nell'ancoraggio all'interfaccia barra-malta e bulbo malta-substrato

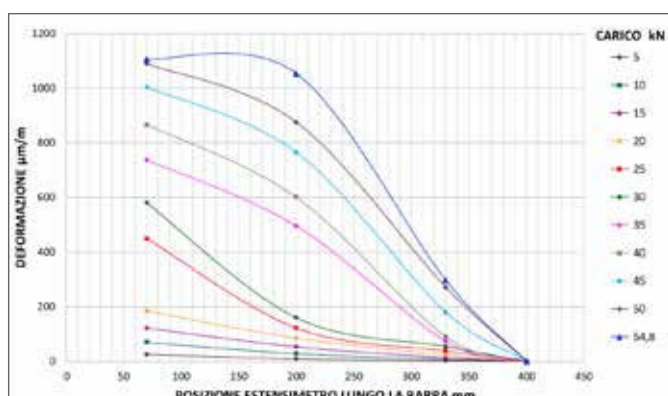
L'influenza del parametro lunghezza efficace di ancoraggio risulta evidente dallo studio di ancoraggi con dimensione del bulbo ridotta a 400 mm. Dall'osservazione dell'andamento delle deformazioni e delle tensioni tangenziali al crescere del carico è possibile, come nel caso precedente, osservare il fenomeno di arretramento del picco per carichi superiori ai 25 kN ma, a differenza del caso precedente, verso la coda dell'ancoraggio si osserva un forte incremento degli sforzi tangenziali per valori di carico prossimi a quello massimo di 50,7 kN a significare che a seguito del danneggiamento avvenuto nei tratti precedenti vi è un trasferimento di sforzi verso la parte posteriore del bulbo ancora integra. Questo ci permette di concludere che la lunghezza di ancoraggio assunta pari a 400 mm non è risultata sufficiente a sfruttare appieno il fenomeno dell'aderenza.



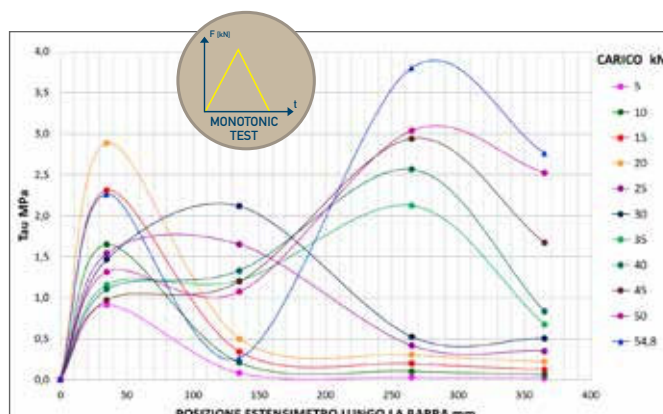
deformazione estensimetri lungo la barra



distribuzione  $\tau$  lungo l'ancoraggio ( $l_{eff} = 400$  mm)



deformazione estensimetri lungo la barra



distribuzione  $\tau$  lungo l'ancoraggio ( $l_{eff} = 400$  mm)

Nell'ambito della campagna sperimentale sono state condotte le seguenti tipologie di prova:

- prove di estrazione monotone con diversi gradi di confinamento verticale
- prove di estrazione cicliche su ancoraggi "corti" (posizionati trasversalmente al piano del paramento murario) iniettati con malta a base calce e malta a base cementizia
- prove di estrazione cicliche su ancoraggi "lunghi" (posizionati in direzione longitudinale ovvero nel piano del paramento murario) iniettati con malta a base calce e malta a base cementizia

In tutti i casi si è adottato il medesimo layout generale di prova: banco prova in laterizio, di dimensioni (H x L x P: 1000 x 2000 x 500 mm) tali da consentire l'installazione di tre ancoraggi trasversali e due ancoraggi longitudinali, struttura metallica di confinamento, cilindro forato a spinta collegato a pompa oleodinamica per l'applicazione del carico, trasduttori per la misurazione degli spostamenti posizionati in testa e sul retro della barra di acciaio, in testa e sul retro del bulbo di malta. Per l'acquisizione dei dati è stato utilizzato un sistema digitale di acquisizione in automatico composto da un personal computer collegato a centralina di acquisizione/conversione analogico/digitale con lettura sino a 16 canali.



schema del banco prova e del layout generale di prova

## PROVE DI ESTRAZIONE MONOTONE CON DIVERSI GRADI DI CONFINAMENTO VERTICALE

Per questo primo ciclo di prove, finalizzate ad una migliore comprensione dell'influenza che esercita il confinamento verticale sul comportamento dell'ancoraggio, i banchi prova, opportunamente intelaiati nella struttura metallica di confinamento, a sua volta sovrastata da una seconda struttura metallica più rigida necessaria ad esercitare una pressione uniforme sulla muratura, sono stati sottoposti a differenti carichi di compressione assiale:

- **0,05 MPa** paragonabile ad uno stato di sforzo ottenuto dai carichi gravanti da un solo piano di muratura di mattoni pieni (circa 3-3,5 metri di altezza)
- **0,1 MPa** paragonabile ad uno stato di sforzo ottenuto dai carichi gravanti da due piani di muratura di mattoni pieni (circa 6-7 metri di altezza)
- **0,2 MPa** paragonabile ad uno stato di sforzo ottenuto dai carichi gravanti fino a quattro piani di muratura di mattoni pieni (circa 12-13 metri di altezza)

Le prove sono state eseguite in controllo di forza sino al raggiungimento del carico ultimo di collasso che corrisponde al punto in cui si inizia a registrare un incremento significativo di spostamento senza apprezzabili incrementi di forze.

Analizzando i valori medi delle tensioni tangenziali ultime delle terne di ancoraggi testati per ciascun banco prova si evince che, per valori di confinamento tra 0,05 MPa e 0,1 MPa, la risposta dell'ancoraggio non viene influenzata dall'aumento dall'azione assiale verticale, risultando i valori medi sostanzialmente uguali; nel caso di confinamento pari a 0,2 MPa si rileva invece un incremento di resistenza del 30%.

TIPO PROVA	CONFINAMENTO	diam. barra	diam. perforo	lunghezza ancoraggio	carico max	$\tau_u$ media foro	$\tau_u$ media barra
	[MPa]	[mm]	[mm]	[mm]	[kN]	[MPa]	[MPa]
MONOTONA	<b>0,20</b>	20	60	400	<b>73,95</b>	<b>0,98</b>	<b>2,94</b>
MONOTONA	<b>0,10</b>	20	60	400	<b>55,22</b>	<b>0,73</b>	<b>2,20</b>
MONOTONA	<b>0,05</b>	20	60	400	<b>57,23</b>	<b>0,76</b>	<b>2,28</b>

Tabella A confronto prestazioni ancoraggi al variare del confinamento verticale

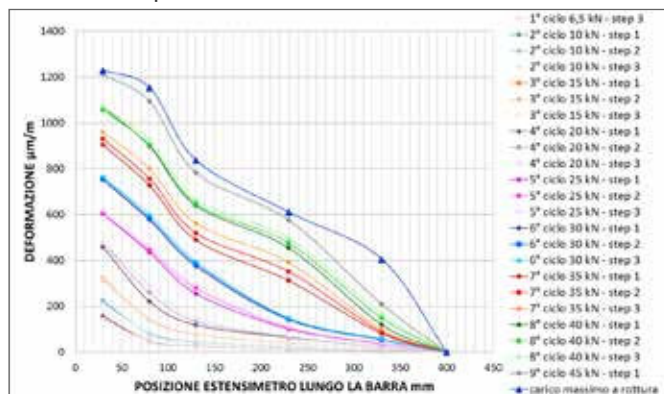


banco prova con sistema di precompressione verticale

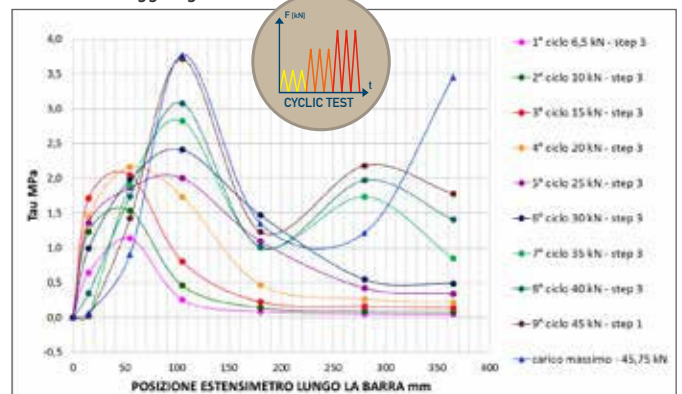
Sulla base dei risultati ottenuti, per le successive prove cicliche, è stato adottato un grado di confinamento pari a 0,06 MPa, capace di attivare il meccanismo di aderenza ma allo stesso tempo critico dal punto di vista delle resistenze.

## PROVE DI ESTRAZIONE CICLICHE SU ANCORAGGI "CORTI"

Le prove cicliche, eseguite su ancoraggi "corti", ove per ancoraggi corti si vuole intendere ancoraggi inseriti ortogonalmente allo sviluppo della tessitura muraria, in cui il rapporto tra lunghezza di ancoraggio/diametro del perforo è compreso tra 6-10, sono state condotte in modalità quasi-statica, con un numero limitato di cicli finalizzati a valutare il decadimento della resistenza (prove di fatica oligocicliche); in particolare sono stati eseguiti tre cicli di carico e scarico a 0 kN per i diversi valori di carico definiti da incrementi successivi di 5 kN sino al raggiungimento del carico di collasso.



deformazione estensimetri lungo la barra



distribuzione  $\tau$  lungo l'ancoraggio (valori riferiti al 3° step di ogni ciclo)

In generale si è potuto osservare che i cicli di carico hanno portato ad un'accelerazione del danneggiamento della muratura e ad un arretramento del picco

della curva degli sforzi tangenziali già con valori bassi del carico; la lunghezza di ancoraggio non è stata sufficiente al trasferimento degli sforzi in zona più profonda, in virtù del danneggiamento nelle zone più prossime all'applicazione del carico. In alcuni casi l'andamento della curva degli sforzi tangenziali medi lungo l'ancoraggio ha portato ad ipotizzare anche la rottura del bulbo di malta.

TIPO PROVA	CONFINAMENTO	TIPO MALTA INIEZIONE	diam. barra	diam. perforo	lunghezza ancoraggio	carico max	$\tau_u$ media foro	$\tau_u$ media barra
			[mm]	[mm]	[mm]	[kN]	[MPa]	[MPa]
CICLICA	0,06	<b>BASE CEMENTIZIA</b>	20	60	400	<b>39,34</b>	<b>0,52</b>	<b>1,57</b>
CICLICA	0,06	<b>BASE CALCE</b>	20	60	400	<b>34,16</b>	<b>0,45</b>	<b>1,36</b>



Tabella B

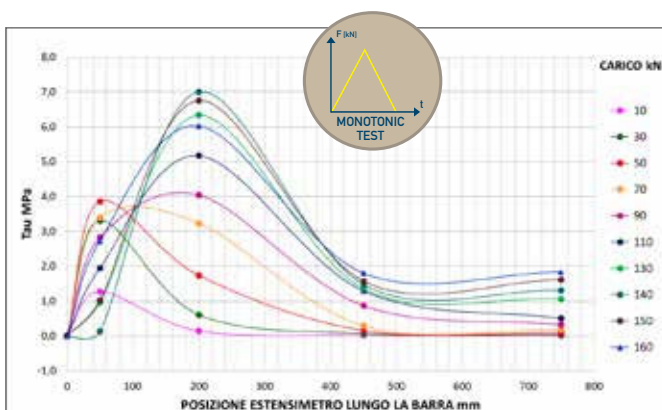
risultati prove estrazione cicliche su ancoraggi "corti"  
(valori ottenuti come media dei risultati delle terne di prove)

Dal confronto tra i valori medi della terna di provini relativi alle due tipologie di malta, si vince che i valori ottenuti con gli ancoraggi iniettati con malta a base calce sono, in queste condizioni di prove cicliche su ancoraggi "corti", poco inferiori a quelli raggiunti dagli ancoraggi iniettati con malta a base cementizia. **Il confronto tra prove monotone e prove cicliche eseguite su ancoraggi "corti"**, ha permesso di determinare che la resistenza, in termini di carico massimo e relativi sforzi medi di aderenza, si abbatte di un valore pari al **30÷35%**: carico massimo pari a 57,23 kN e tensione tangenziale media 2,28 kN per l'ancoraggio iniettato con malta a base cementizia sottoposto a prova monotona (Tabella A) e carico massimo pari a 39,34 kN e tensione tangenziale media 1,57 kN per l'ancoraggio iniettato con malta a base cementizia sottoposto a prova ciclica (Tabella B), il primo sottoposto ad un confinamento verticale pari a 0,05 MPa mentre il secondo a 0,06 MPa, ovvero valori confrontabili tra loro.

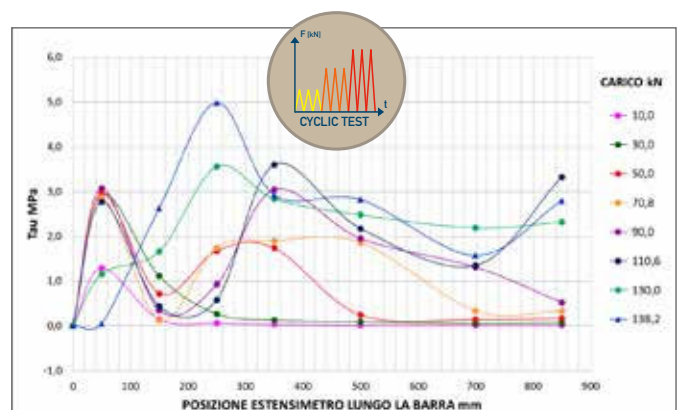
## PROVE DI ESTRAZIONE MONOTONE E CICLICHE SU ANCORAGGI "LUNGI"

In questa seconda fase di sperimentazione le prove monotone e cicliche sono state condotte secondo le stesse modalità di quelle precedenti con la sola differenza che per le prove cicliche sono stati applicati incrementi di carico di 10 kN.

Le prove cicliche eseguite su ancoraggi "lunghi", ove per ancoraggi lunghi si vuole intendere ancoraggi inseriti parallelamente allo sviluppo della tessitura muraria, in cui il rapporto tra lunghezza di ancoraggio/diametro del perforo è compreso tra 15÷20, hanno fatto osservare, analogamente agli ancoraggi "corti", un'accelerazione del danneggiamento del sistema ma la maggiore lunghezza di ancoraggio ha consentito di sfruttare meglio i meccanismi di aderenza e ingranamento potendo l'ancoraggio contare sul trasferimento degli sforzi dalle zone danneggiate alle zone integre. L'abbattimento di resistenza che si ottiene dal **confronto tra prove monotone e prove cicliche eseguite su ancoraggi "lunghi"** è in questo caso del **24%** per ancoraggi a base cementizia e del **28%** per ancoraggi a base calce (tabella C).



distribuzione  $\tau$  lungo l'ancoraggio



distribuzione  $\tau$  lungo l'ancoraggio

Dall'analisi del grafico relativo alla prova monotona di un ancoraggio iniettato con malta a base cementizia, si nota un andamento regolare con un picco in prossimità del punto di applicazione carico; il fenomeno di arretramento del picco si verifica a partire da alti valori di carico (da 110kN) e vengono raggiunti valori di carico ultimo di collasso prossimi allo snervamento della barra (valore nominale 170 kN). Prendendo in esame il comportamento di un ancoraggio analogo sottoposto a prova ciclica si evidenzia un andamento regolare solo per valori bassi del carico, al crescere di questo infatti si ha un andamento fortemente irregolare a significare il danneggiamento del sistema ed in prossimità del carico massimo si verifica l'arretramento del picco.

TIPO PROVA	CONFINAMENTO	TIPO MALTA INIEZIONE	diam. barra	diam. perforo	lungh. ancoraggio	carico max	$\tau_u$ media foro	$\tau_u$ media barra
			[mm]	[mm]	[mm]	[kN]	[MPa]	[MPa]
MONOTONA	0,06	<b>BASE CEMENTIZIA</b>	20	60	900	<b>171,50</b>	<b>1,01</b>	<b>3,06</b>
CICLICA	0,06	<b>BASE CEMENTIZIA</b>	20	60	900	<b>129,24</b>	<b>0,76</b>	<b>2,29</b>
MONOTONA	0,06	<b>BASE CALCE</b>	20	60	900	<b>110,82</b>	<b>0,65</b>	<b>1,96</b>
CICLICA	0,06	<b>BASE CALCE</b>	20	60	900	<b>79,82</b>	<b>0,47</b>	<b>1,41</b>

Tabella C

risultati prove estrazione monotone e cicliche su ancoraggi "lunghi"  
(valori ottenuti come media dei risultati delle terne di prove)



banco prova ancoraggi "lunghi"

Le prove eseguite hanno permesso anche di confrontare il comportamento di ancoraggi iniettati con malta a base cementizia e ancoraggi iniettati con malta a base calce, sia in termini di valori massimi di resistenza all'estrazione, che in termini di modalità di rottura riscontrate durante l'esecuzione dei test. La riduzione del carico ultimo di collasso raggiunto per gli ancoraggi iniettati con malta a base calce è risultata, per **prove monotone**, del **35%** mentre, per **prove cicliche** del **38%** rispetto al comportamento degli ancoraggi test iniettati con malta a base cementizia.

Dall'osservazione dei meccanismi di rottura attivati dagli ancoraggi è stato riscontrato che, nel caso di ancoraggi iniettati con malta a base cementizia, la porzione di muratura interessata dal meccanismo di rottura è stata di dimensioni maggiori, spesso andando a formare una sorta di cono a partire dalla profondità dell'ancoraggio, rispetto a quella degli ancoraggi a base calce che hanno interessato una porzione di muratura più in superficie e quindi di dimensioni ridotte. Ciò dimostra che l'ancoraggio iniettato con malta a base cementizia ha lavorato per la quasi totalità della lunghezza senza interruzione nel bulbo di malta. Per l'ancoraggio iniettato con malta a base calce la modalità di rottura fa presumere che vi sia stata una diffusione degli sforzi in profondità, tale da giustificare gli elevati valori di carico massimo raggiunti, ma che si sia verificato un superamento del limite di resistenza della malta, che ha provocato la rottura del bulbo; ciò a portato ad avere un meccanismo di collasso progressivo, con localizzazione delle deformazioni (allungamento della barra di acciaio) nei punti di rottura del bulbo di malta e conseguente sfilamento della parte di ancoraggio più in superficie, con estrazione di mattoni nel suo intorno.

## CONSIDERAZIONI SUI RISULTATI SMERIMENTALI E ULTERIORI APPROFONDIMENTI

Le numerose prove condotte in questa fase sperimentale permettono importanti valutazioni sul comportamento degli ancoraggi iniettati, soprattutto in termini di confronto tra ancoraggi con differente lunghezza efficace (ancoraggi corti e lunghi), sottoposti a diverse condizioni di carico (prove monotone e cicliche), iniettati con diverse tipologie di malta (malta a base calce e malta a base cementizia).

Un'analisi in termini assoluti dei diversi valori di carico ultimo raggiunti e le modalità con cui si è arrivati al collasso nelle diverse prove è invece fortemente influenzata dalla scelta progettuale iniziale riguardo al tipo di muratura indagata: per la costruzione del banco prova sono stati impiegati materiali con caratteristiche meccaniche molto scadenti al fine di riprodurre al meglio le condizioni di una muratura storica degradata.

Essendo quindi la malta di allettamento l'elemento più debole, in tutte le prove su ancoraggi "corti" si è ottenuta rottura lato muratura con estrazione di blocchi in laterizio per scorrimento sui giunti di malta, interessando uno o più elementi in laterizio nell'immediato intorno dell'ancoraggio, a valori di attivazione del meccanismo di collasso relativamente bassi rispetto alle performance tipiche dell'ancoraggio iniettato. Mai si è verificata la rottura dell'elemento in laterizio. Solo per gli ancoraggi "lunghi" e in particolare per quelli iniettati con malta a base cementizia le prove hanno portato a rottura con estrazione di una consistente porzione di muratura, paragonabile ad un cono di grandi dimensioni, con scollamento dei giunti verticali di malta e slittamento dei blocchi sui giunti orizzontali e in qualche caso anche allo snervamento della barra.



modalità rottura ancoraggi "corti" su banchi prova con malta allettamento tipo A



particolari dell'interno dei perfori nella muratura

In fase conclusiva della sperimentazione, al fine di comprovare quanto emerso in merito ai valori in termini assoluti dei carichi ultimi di collasso e delle relative tensioni tangenziali, sono state introdotte ulteriori prove monotone, su ancoraggi "corti", iniettati con malta a base cementizia installati su nuovi banchi prova, analoghi ai precedenti ma con una malta di allettamento più performante, sebbene sempre a base di calce idraulica naturale e quindi sempre orientata a riprodurre quelle tipiche dei manufatti storici esistenti.

Il dato più significativo è l'incremento ottenuto nella prova monotona con confinamento pari a 0,1 MPa pari a circa il doppio di quello ottenuto con la stessa identica prova sui primi banchi prova realizzati con malta di allettamento estremamente scadente.

Qui di seguito il confronto tra i valori medi della terna di prove per le prove monotone effettuate con diversi gradi di confinamento verticale.

TIPO PROVA	CONFINAMENTO	TIPO MALTA INIEZIONE	diam. barra	diam. perforo	lungh. ancoraggio	MALTA ALLETTAMENTO TIPO A			MALTA ALLETTAMENTO TIPO B		
						carico max	$\tau_u$ media foro	$\tau_u$ media barra	carico max	$\tau_u$ media foro	$\tau_u$ media barra
	[MPa]		d [mm]	D [mm]	[mm]	[kN]	[MPa]	[MPa]	[kN]	[MPa]	[MPa]
MONOTONA	<b>0,20</b>	<b>BASE CEMENTIZIA</b>	20	60	400	<b>73,95</b>	<b>0,98</b>	<b>2,94</b>	<b>127,98</b>	<b>1,70</b>	<b>5,09</b>
MONOTONA	<b>0,10</b>	<b>BASE CEMENTIZIA</b>	20	60	400	<b>55,22</b>	<b>0,73</b>	<b>2,20</b>	<b>121,63</b>	<b>1,61</b>	<b>4,84</b>
MONOTONA	<b>0,05</b>	<b>BASE CEMENTIZIA</b>	20	60	400	<b>57,23</b>	<b>0,76</b>	<b>2,28</b>	<b>72,88</b>	<b>0,97</b>	<b>2,90</b>

Tabella D

Confronto prestazioni ancoraggi al variare delle caratteristiche della muratura del banco prova



banchi prova costruiti con malta allettamento tipo B

modalità rottura ancoraggi "corti" su banchi prova con malta allettamento tipo B

## FONTI BIBLIOGRAFICHE E APPROFONDIMENTI

Silveri F., Riva P., Profeta G., Poverello E., Algeri C., "Experimental Study on Injected Anchors for the Seismic Retrofit of Historical Masonry Buildings", *International Journal of Architectural Heritage*, 2015

Silveri F., Riva P., Profeta G., Poverello E., Algeri C., "Injected anchors for the seismic retrofit of historical masonry buildings: experimental study on brick masonry" in SAHC 2014, 9<sup>th</sup> International Conference on Structural Analysis of Historical Constructions, 14-17 October, Mexico City, Mexico, 2014

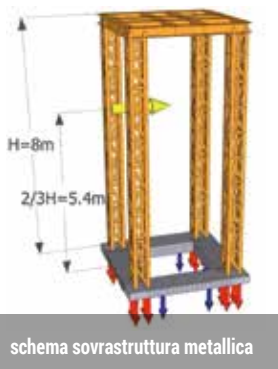
Silveri F., "Ancoraggi iniettati per il rinforzo sismico di edifici storici in muratura" *Tesi di Dottorato, Università degli Studi di Brescia, Dottorato di ricerca in Recupero degli Edifici Storici e Contemporanei, XXV ciclo*, 2013.

## SPERIMENTAZIONE SU ANCORAGGI PRE-SOLLECITATI

Parte dell'attività sperimentale condotta nell'ambito del progetto Animus ha interessato il comportamento di ancoraggi ad iniezione controllata pre-sollecitati, con doppio bulbo. Una prima applicazione in laboratorio su banco prova in muratura standard è stata seguita da una campagna sperimentale in situ sul campanile della Chiesa di Botta di Sotto il Monte. Obiettivi della sperimentazione: la misurazione della eventuale perdita di pre-carico dell'ancoraggio nel tempo, la determinazione della distribuzione degli sforzi tangenziali sulla lunghezza dell'ancoraggio e lo studio del comportamento degli ancoraggi sottoposti ad azioni di sollecitazione dinamica.



Chiesa di Botta di Sotto il Monte Papa Giovanni XXIII

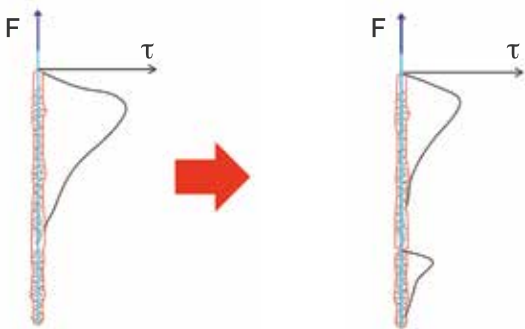


schemata sovrastruttura metallica

Il progetto architettonico di restauro della torre campanaria prevedeva una struttura metallica reticolare a copertura e protezione della cella campanaria, da collegarsi alla sottostante struttura esistente in muratura di pietra mediante **ancoraggi verticali profondi**.

Il comportamento del sistema è stato studiato attraverso modellazione a elementi finiti avente come obiettivo la verifica del comportamento degli ancoraggi sotto azioni orizzontali indotte dal vento e dal sisma, sia in condizioni d'esercizio che a rottura. L'analisi condotta ha portato a determinare i massimi valori di trazione a SLE e a SLU sugli ancoraggi verticali, reagenti solo a trazione, mentre gli sforzi di compressione sono stati valutati considerando la reazione del cordolo perimetrale in sommità e della sottostante muratura.

Avendo come principale obiettivo la garanzia del buon comportamento in esercizio del sistema, che si traduce nell'assenza di forze di trazione sugli ancoraggi, in modo da evitare decompressioni della sezione della muratura, è stato scelto di affidarsi a **ancoraggi iniettati verticali a doppio bulbo con pre-sollecitazione**.



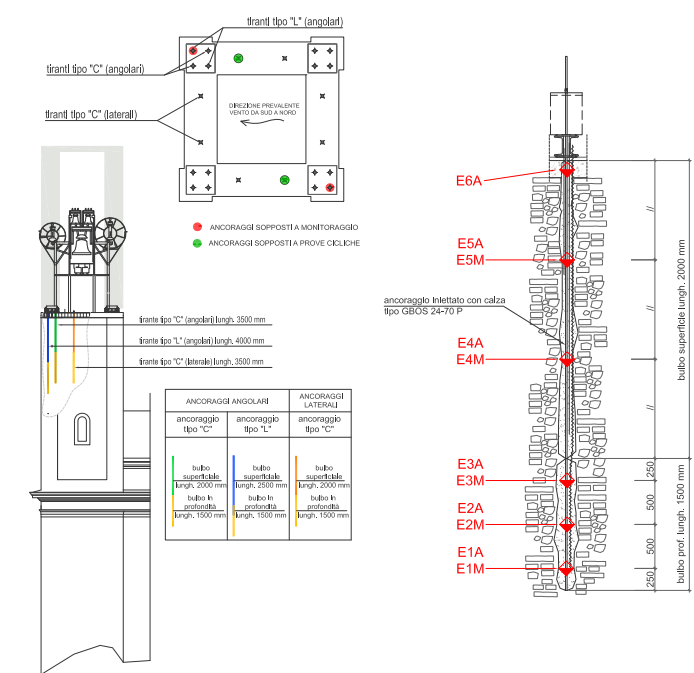
confronto comportamento qualitativo ancoraggio con bulbo singolo e con doppio bulbo

Gli ancoraggi con doppio bulbo, verticali, come nel caso studio in oggetto, o orizzontali, consentono l'applicazione di un pre-carico iniziale, imposto dopo l'iniezione e maturazione del bulbo di profondità mentre al bulbo di superficie, iniettato in un secondo momento, viene affidato ogni carico in eccesso oltre la pretensione iniziale. Questa soluzione permette una migliore distribuzione degli sforzi tangenziali lungo l'ancoraggio ed una minore intensità degli stessi, poiché nella parte di bulbo di profondità si avrà uno sforzo correlato al solo sforzo di pretensione data mentre, in presenza di ulteriori sollecitazioni, gli sforzi tangenziali si concentreranno nella parte corrispondente al bulbo di superficiale.

La figura a lato rappresenta, in termini qualitativi, il vantaggio offerto dal doppio bulbo, rispetto al singolo bulbo, nella distribuzione degli sforzi tangenziali: in caso di bulbo singolo le azioni producono sforzi tangenziali che si concentrano nella parte più superficiale causando alti regimi tensionali, si manifesta poi un graduale esaurirsi del fenomeno nelle parti più in profondità; con il doppio bulbo si ottiene una suddivisione degli sforzi che assumono di conseguenza valori di picco minori. Facendo corrispondere il valore del pre-carico alla massima forza di trazione che può agire sull'ancoraggio in condizioni di esercizio si ottiene l'auspicata assenza di forze di trazione sugli ancoraggi a SLE, evitando così la nascita di fenomeni decompressione della sezione muraria; azioni di trazione sugli ancoraggi si potranno verificare solo a stato limite ultimo per la parte che eccede le azioni in esercizio.

Sulla base dei carichi risultanti dalla modellazione di dettaglio è stata definita la tipologia di ancoraggi ad iniezione controllata, costituiti da barre GBOS 24/304 in perfori di 70 mm. La lunghezza di ancoraggio del bulbo in profondità, pari a 1,5 metri, è stata calcolata, sulla base dei risultati ottenuti da prove preliminari di estrazione, per far fronte ad un valore di pre-carico di 75 kN; allo stesso modo è stata definita la lunghezza minima del bulbo di superficie, variabile tra 2,0 metri e 2,5 metri, lunghezza necessaria per resistere alla differenza tra il massimo valore di forza trazione allo stato limite ultimo (pari a circa 200 kN) e il massimo valore a stato limite di esercizio (pari a circa 75 kN) ovvero 125 kN.

Lunghezze differenti del bulbo di superficie consentono uno sfalsamento in profondità in modo da evitare superfici preferenziali di rottura.



posizione e lunghezze ancoraggi

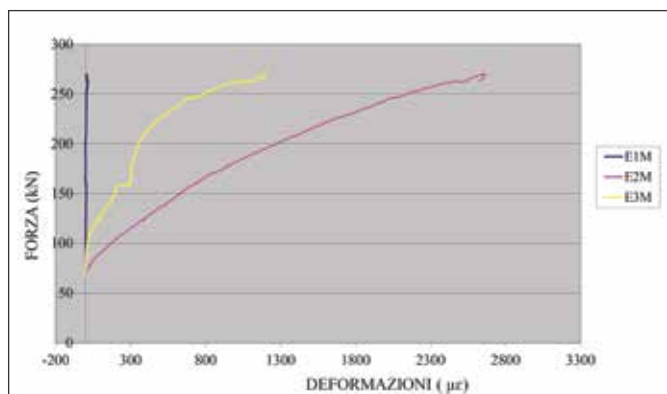
dettaglio struttura ancoraggi a doppio bulbo e posizione estensimetri



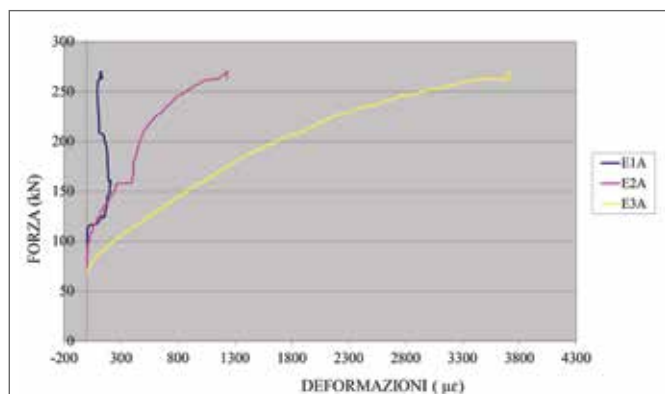
La campagna sperimentale in situ è stata preceduta da prove preliminari di laboratorio, eseguite su ancoraggi della stessa tipologia di quelli previsti per le prove in situ, finalizzate alla conoscenza di parametri importanti per le successive valutazioni quali:

- **Il rilassamento a deformazione costante** della barra in acciaio costituente l'elemento resistente dell'ancoraggio; al termine della prova, effettuata secondo i criteri stabiliti dalle norme di riferimento, si è osservata una diminuzione di tensione del carico applicato di 198 kN, corrispondente al 70% del carico a rottura a trazione della barra GBOS 24/304, pari a circa il 5%.
- **La possibile perdita di carico nel tempo di un ancoraggio verticale pre-sollecitato** opportunamente strumentato con estensimetri posizionati sulla barra di acciaio e nella corona di malta e installato in un banco prova in laterizio anch'esso dotato di trasduttori di spostamento sul paramento esterno; successivamente alla avvenuta maturazione della malta di iniezione, è stato applicato all'ancoraggio, la cui lunghezza del bulbo è stata definita pari a 1,5 metri, un precarico di 75 kN, corrispondente a circa il 25% del carico di rottura della barra a trazione; al termine del periodo di osservazione di un mese e mezzo è stata registrata dalla cella di carico una perdita pari al 15%.

Per tutta la durata della prova sono stati monitorati in continuo, tramite apposito sistema di acquisizione automatico, il carico e le deformazioni di tutti gli estensimetri, 3 nella barra di acciaio e 3 nelle malta, e dei 3 trasduttori di spostamento sul paramento esterno del banco prova. La lettura di questi dati ha permesso di verificare la distribuzione, lungo l'ancoraggio, delle deformazioni sulla barra di acciaio, nella corona di malta e nella muratura. Per tutti i livelli di carico applicati, dalla fase di pre-sollecitazione a quella di monitoraggio, a quella finale di estrazione che ha portato al raggiungimento di un carico di 260 kN, la massima deformazione nella corona di malta è stata misurata dall'estensimetro in posizione intermedia tra il punto di applicazione del carico e la fine dell'ancoraggio (E2M), mentre bassi valori di deformazione, prossimi allo zero, sono stati registrati dall'estensimetro posizionato verso il fondo dell'ancoraggio (E1M). Lungo la barra d'acciaio gli estensimetri hanno fatto registrare una deformazione massima nel punto più vicino all'applicazione del carico (E3A), e via via minore andando verso il fondo dell'ancoraggio (E2A, E1A).



deformazione estensimetri posizionati nella corona di malta nella fase di prova di estrazione finale



deformazione estensimetri posizionati sulla barra di acciaio nella fase di prova di estrazione finale

Il monitoraggio e la misura dell'eventuale perdita di precarico nel tempo è stata riproposta in situ prendendo in esame due degli ancoraggi verticali con struttura a doppio bulbo progettati per il collegamento della sovrastruttura metallica, mentre su altri due ancoraggi sono state eseguite prove cicliche al fine di studiarne il comportamento quando sottoposti ad azioni di sollecitazione dinamica.

Le prove cicliche sono state effettuate in due diverse fasi: una prima fase, a seguito dell'iniezione e dell'avvenuta maturazione della malta del bulbo in profondità, con n. 3 cicli per valori di carico compresi tra 0 kN e 90 kN e una seconda fase, dopo l'iniezione e la maturazione della malta iniettata nel secondo bulbo, con n. 3 cicli per valori di carico compresi tra 90 kN e 130 kN.

Gli ancoraggi test per le prove cicliche sono stati strumentati con estensimetri su tre posizioni (E1A,E2A,E3A sulla barra di acciaio e E1M, E2M, E3M nella corona di malta) in corrispondenza del bulbo di profondità e su due posizioni (E4A,E5A sulla barra di acciaio e E4M, E5M nella corona di malta) in corrispondenza del bulbo di superficie (vedere dettaglio struttura ancoraggio a doppio bulbo a pag. 34), questo ha permesso di valutare la distribuzione degli sforzi tangenziali sull'intera lunghezza di ancoraggio.

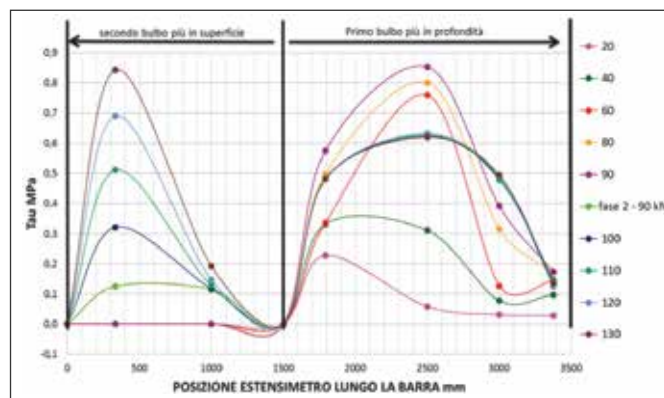
Il grafico che riporta l'andamento, per i diversi cicli di carico, degli sforzi tangenziali, ricavati come valori medi nei tratti di ancoraggio compresi tra due estensimetri a partire dalle deformazioni sulla barra di acciaio e dunque relativi all'aderenza tra barra e bulbo di malta, mostra che nella prima fase, quando è iniettato solo il bulbo più profondo, all'aumentare del carico, gli sforzi lungo il bulbo in profondità aumentano manifestando un progressivo arretramento del picco della curva; nella seconda fase, quando viene iniettato il bulbo in superficie, gli sforzi tangenziali lungo il bulbo di profondità restano stabili (sovrapposizione delle curve) mentre quelli lungo il bulbo di superficie crescono all'aumentare del carico applicato.

E' importante quindi osservare che il bulbo di profondità, iniettato per primo e preteso, ha evidenziato deformazioni fino a quando è stata raggiunta la maturazione della malta iniettata nel secondo bulbo di superficie, mentre in seguito non ha evidenziato particolari variazioni di deformazioni al variare dell'applicazione dei carichi; il bulbo di superficie si è preso carico degli incrementi di azioni oltre la pretensione iniziale.

Il grafico ottenuto sperimentalmente mostra un andamento qualitativo del tutto corrispondente con quanto ipotizzato in linea teorica, confermando una suddivisione degli sforzi tra primo bulbo e secondo bulbo (vedere confronto comportamento qualitativo nello schema a pag 32).

Se si fosse optato per una soluzione con bulbo unico si sarebbe ottenuto un andamento con un picco molto più alto nella parte superficiale di bulbo che avrebbe sicuramente portato a valori di tensione tangenziale non ammissibili per quel particolare substrato e inoltre si sarebbe verificato un graduale esaurirsi della curva scendendo verso la profondità del bulbo e quindi una distribuzione tale da non sfruttare appieno la profondità di ancoraggio.

Il monitoraggio nel tempo, che ha interessato un periodo di 16 mesi ha mostrato una perdita di pre-tensione pari a circa il 20÷25%. E' da sottolineare che questi valori non tengono conto di eventuali perdite di carico aggiuntive che si possono avere durante le fasi di serraggio del dado, operazioni che devono essere effettuate con particolare cautela.



distribuzione  $\tau$  lungo l'ancoraggio al termine di ciascun ciclo di carico

#### FONTI BIBLIOGRAFICHE E APPROFONDIMENTI

Silveri F., Profeta G., Riva P., Algeri C., Bolognini E., Poverello E., Panzeri P.,  
 "Pre stressed vertical injected anchors on historical masonry: a case study, the bell tower of Botta di Sotto il Monte Papa Giovanni XXIII"  
 in SAHC 2012, 8<sup>th</sup> International Conference on Structural Analysis of Historical Constructions, 15-17 October, Wroclaw, Poland, 2012.

## CARATTERIZZAZIONE DINAMICA ANTE E POST INTERVENTO



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI BERGAMO  
 Dipartimento di Ingegneria  
 Laboratorio Prove Materiali "ProMa"

L'utilizzo degli ancoraggi ad iniezione controllata con calza in modo diffuso per interventi finalizzati a migliorare il comportamento globale della fabbrica anche in funzione antisismica, è frequente negli edifici storici. Trattandosi di interventi sull'esistente, tra i diversi obiettivi che conducono alla corretta scelta progettuale vi è la necessità di non andare ad alterare gli importanti equilibri che caratterizzano il manufatto e, soprattutto in ambito sismico, di non andare a modificare, in modo significativo, la distribuzione delle rigidità della struttura.

Con la caratterizzazione dinamica ante e post intervento di un edificio sottoposto ad un intervento di consolidamento globale si è voluto proprio indagare sulla influenza degli incatenamenti introdotti.



Chiesa San Giovanni Battista in Sottochiesa



quadro fessurativo



incatenamenti longitudinali esistenti



operazioni di pre-sollecitazione ancoraggi

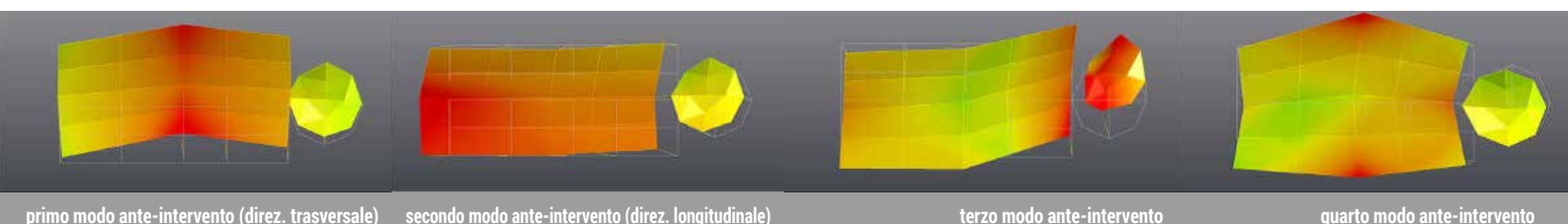
La Chiesa Parrocchiale di San Giovanni Battista in Sottochiesa, edificio di importanti dimensioni a navata unica di 29x15 metri con cappelle laterali e abside terminale, presentava un quadro fessurativo esteso a diversi elementi strutturali che interessava sia le volte e le pareti longitudinali della navata, che la cupola posta a copertura della zona presbiteriale. Da qui la necessità di integrare gli incatenamenti esistenti, posti a cerchiatura globale dell'intera fabbrica, con un nuovo ordine di ancoraggi inseriti all'interno delle murature anche allo scopo di ripristinare la continuità dei maschi murari caratterizzati da fessurazioni diffuse oltre a prevenire l'ampliarsi delle lesioni esistenti e ad offrire un presidio ulteriore al contenimento delle spinte delle strutture archivoltate.

Le prove di caratterizzazione dinamica sono consistite nell'analisi sperimentale del comportamento dinamico della fabbrica. Sono stati determinati i parametri dei primi modi di vibrare della struttura (frequenza propria, smorzamento e forma modale), attraverso l'elaborazione delle registrazioni in continuo delle vibrazioni dovute all'eccitazione ambientale in un periodo di tempo stimato come sufficiente per registrare fenomeni di entità significativa ed atti a garantire una elaborazione successiva statisticamente appropriata.

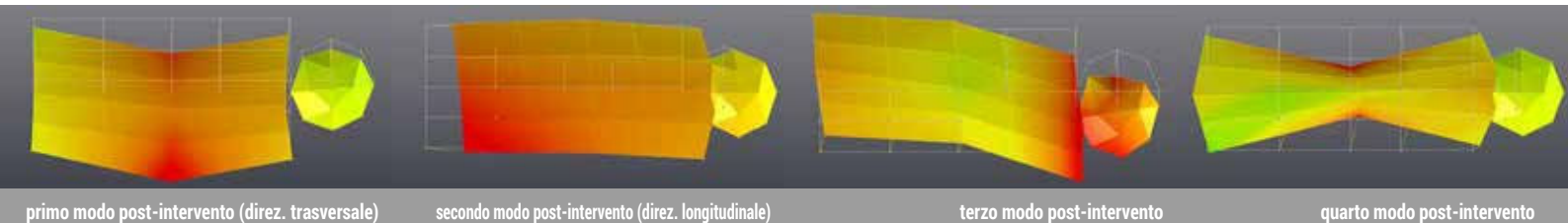
Per il rilievo sono stati impiegati 28 accelerometri di tipo sismico caratterizzati da una elevata sensibilità disposti nelle due direzioni e collegati ad un sistema di registrazione in continuo. Il processo di analisi della risposta ambientale dell'edificio ha portato ad individuare 9 modi nel campo di frequenza fino a 10 Hz e le deformate delle forme modali dei primi 4 modi di vibrare, dall'osservazione delle quali si evidenzia un comportamento piuttosto rigido in direzione longitudinale (freq. 4,81 Hz) ma molto meno rigido in direzione trasversale (freq. 3,45 Hz).

La caratterizzazione dinamica post-intervento è stata condotta in modo analogo alla precedente in un periodo successivo alla esecuzione dei lavori ed alla maturazione della malta di iniezione degli ancoraggi. Il processo di analisi ha portato ad individuare 7 modi nel campo di frequenza fino a 10 Hz e le deformate delle forme modali dei primi 4 modi di vibrare.

## DEFORMATE DEI PRIMI 4 MODI DI VIBRARE ANTE-INTERVENTO



## DEFORMATE DEI PRIMI 4 MODI DI VIBRARE POST-INTERVENTO



MODO	FREQUENZA ANTE INTERVENTO [Hz]	FREQUENZA POST INTERVENTO [Hz]	DIFFERENZA POST/ANTE
1	3,45	3,57	3,5%
2	4,81	4,99	3,7%
3	5,01	5,24	4,6%
4	6,04	6,24	3,3%

Tabella E confronto risultati analisi modale ante e post intervento per i primi 4 modi di vibrare

Dal confronto ante e post intervento dei risultati sperimentali emerge una buona corrispondenza tra le forme modali che restano sostanzialmente invariate e un certo irrigidimento conseguito dalla struttura con **incremento delle frequenze dell'ordine del 3,3÷4,6%**: la rigidità globale del sistema è aumentata senza modificare la distribuzione delle rigidità nella struttura. (Tabella E)

## FONTI BIBLIOGRAFICHE E APPROFONDIMENTI

Silveri F., Riva P., Profeta G., Belleri A., Poverello E., Panzeri P. "San Giovanni Battista church: operational modal analysis after injected anchors strengthening" in SAHC 2016, 10<sup>th</sup> International Conference on Structural Analysis of Historical Constructions, 13-15 September, Leuven, Belgium, 2016

Silveri F., "Ancoraggi iniettati per il rinforzo sismico di edifici storici in muratura"

Tesi di Dottorato, Università degli Studi di Brescia, Dottorato di ricerca in Recupero degli Edifici Storici e Contemporanei, XXV ciclo, 2013.

P&P LMC, "Parrocchia di San Giovanni Battista di Sottochiesa in comune di Taleggio (BG) Prove di caratterizzazione dinamica post intervento di consolidamento", Rapporto tecnico di Prova RdP-017-2013.

P&P LMC, "Parrocchia di San Giovanni Battista di Sottochiesa in comune di Taleggio (BG) Prove di caratterizzazione dinamica ante intervento di consolidamento", Rapporto tecnico di Prova RdP-020-2012.



## SPERIMENTAZIONE SU DIATONI ARTIFICIALI AD ESPANSIONE

Una prima serie di prove sperimentali su diatoni artificiali ad espansione è stata condotta presso il laboratorio di prove sui materiali Lastru dell'Università degli Studi di Perugia, con sede a Terni, responsabile scientifico Prof. Ing. Antonio Borri.

Sono stati realizzati banchi prova in muratura di pietra il più possibile rappresentativi di una muratura storica a paramenti distaccati o comunque scarsamente ammassati tra loro ed è stato indagato il comportamento dei pannelli non rinforzati (pannello A) e rinforzati con diatoni (pannello B) al fine di valutare l'effetto benefico dell'intervento di inserimento dei diatoni in termini di incremento dell'azione resistente allo scorrimento, ovvero della resistenza tangenziale di interfaccia tra i paramenti.

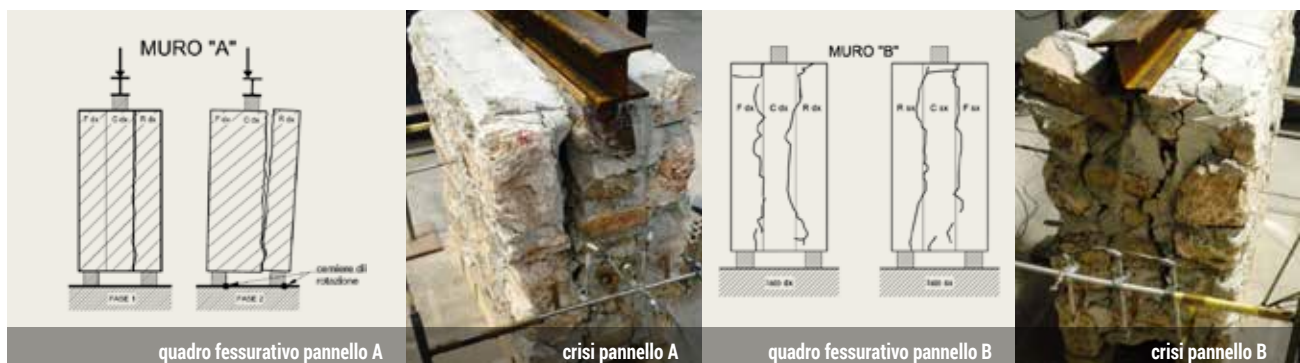
Il set up di prova, rappresentato schematicamente nelle immagini qui di seguito, mostra il punto di applicazione del carico che viene trasmesso dal martinetto al pannello centrale per poi essere trasferito ai paramenti laterali, per mezzo della sola superficie di interfaccia; i carichi vengono poi convogliati sugli appoggi di base posizionati in corrispondenza dello spessore dei paramenti esterni.

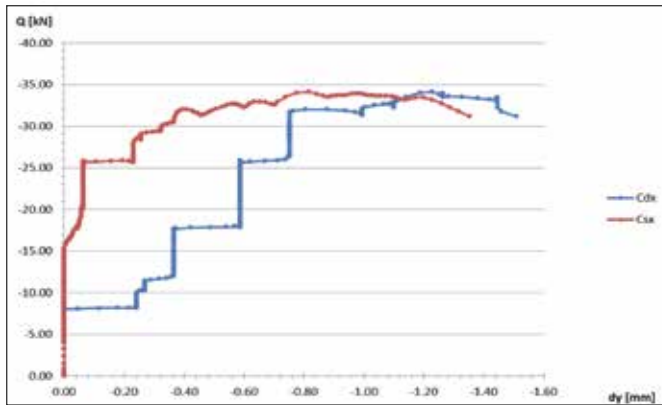


Il monitoraggio degli spostamenti verticali assoluti e relativi, indice dello scorrimento tra i paramenti e quello degli spostamenti orizzontali per registrare eventuali rigonfiamenti parietali effetto di componenti trasversali derivanti dagli sforzi di compressione verticale, è stato effettuato installando trasduttori di spostamento collegati ad un sistema di acquisizione dati; dall'inizio della prova sono infatti stati monitorati in modo continuo la forza applicata dal martinetto sul pannello e gli spostamenti.

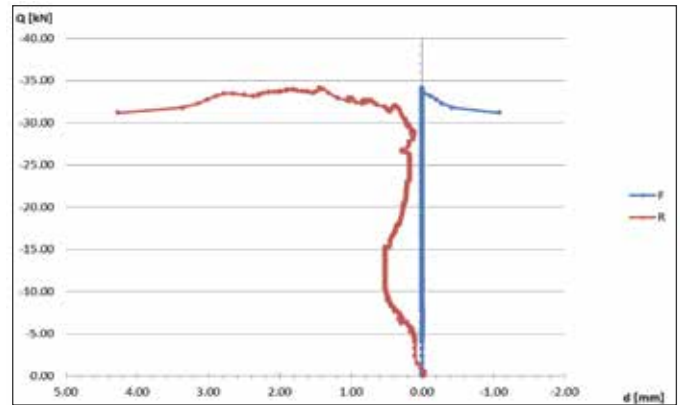
La crisi per il pannello "A", non rinforzato, è sopraggiunta all'aumentare del carico imposto, per scorrimento tra il pannello centrale e quello di retro, con la formazione di una lesione che si estende all'intera superficie di interfaccia fino a generare una sconnessione tra le due porzioni del pannello e ad innescare un atto di moto di rotazione. La nascita di una linea di rottura preferenziale è intrinseca alla natura stessa della muratura in pietra che essendo disomogenea ed irregolare non può che offrire resistenze diverse allo scorrimento nelle diverse sezioni di interfaccia.

Il pannello "B", consolidato con diatoni artificiali ad espansione, ha fatto registrare spostamenti orizzontali decisamente inferiori al caso precedente, con un andamento simmetrico per i due paramenti di fronte e di retro, rispetto al pannello centrale; questo fa ipotizzare che la presenza dei diatoni abbia avuto una efficace influenza contro il rigonfiamento del pannello, facendo scongiurare il meccanismo di separazione dei paramenti. Il test effettuato sul pannello "B" ha evidenziato quindi un comportamento tendente a quello di una parete monolitica.





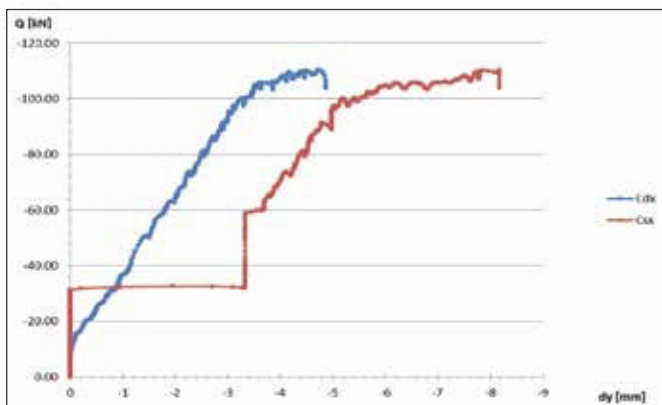
pannello A curva sperimentale carico-spostamento verticale del paramento centrale



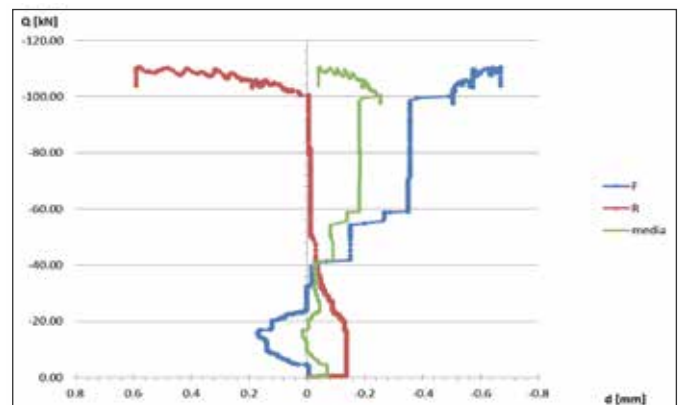
pannello A curva sperimentale carico-spostamento orizzontale dei paramenti di fronte e di retro

Dall'osservazione dei grafici che riportano le curve carico-spostamento, sia per spostamenti verticali che per spostamenti orizzontali si evince che il pannello A è caratterizzato da una crisi di tipo fragile, molto rapida e caratterizzata dalla generazione, a bassi valori del carico di attivazione, di una superficie di frattura di grande estensione in modo istantaneo, su una sola superficie di interfaccia (configurazione non simmetrica). Il paramento di retro ha avuto spostamenti orizzontali evidenti mentre quello di fronte ha fatto registrare spostamenti orizzontali pressoché nulli a conferma del quadro fessurativo caratterizzato da lesioni originatesi quasi esclusivamente sull'interfaccia tra il paramento centrale e quello di retro.

Valori del carico per la fase critica  $Q_r=34,11$  kN.



pannello B curva sperimentale carico-spostamento verticale del paramento centrale



pannello B curva sperimentale carico-spostamento orizzontale dei paramenti di fronte, di retro e loro valore medio

Nel caso del pannello B, lo spostamento orizzontale ha un andamento simmetrico per i due paramenti di fronte e di retro ed inoltre il valore di tali spostamenti risulta minimo rispetto al pannello A non consolidato. Questo può far supporre che, grazie al presidio offerto dai diatoni, il solido murario non ha subito al suo interno rilevanti accrescimenti di ampiezza delle lesioni, scongiurando il meccanismo di separazione tra i paramenti; l'andamento simmetrico potrebbe quindi giustificare spostamenti globali del pannello in senso orizzontale. Dato che la crisi è sopraggiunta con una configurazione simmetrica è possibile quantificare lo scorrimento tra i paramenti attraverso la lettura del grafico carico-spostamento verticale relativo del paramento centrale rispetto a quelli di estremità.

Valori del carico per la fase critica  $Q_r=109,43$  kN; il valore del carico di attivazione è circa tre volte superiore a quello del pannello A.

## FONTI BIBLIOGRAFICHE E APPROFONDIMENTI

Corradi M., Borri A., Poverello E., Castori G., "The use of transverse connectors as reinforcement of multi-leaf walls" *Materials and Structures (2017) 50:114*

Borri A., Savelli R., "Diatoni artificiali a espansione", Relazione sull'attività sperimentale, *Laboratorio Lastru, Polo Scientifico-Didattico di Terni, Università degli Studi di Perugia, 2012.*

## COMPORTAMENTO NEL TEMPO DI DIATONI E DIATONOS ARTIFICIALI AD ESPANSIONE



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PERUGIA  
LASTRU - Laboratorio Prove su Strutture e Materiali

L'esigenza di valutare l'incremento prestazionale ottenuto con l'introduzione dello svaso e della pre-sollecitazione, necessaria per generare nella muratura uno stato di compressione trasversale finalizzato al miglioramento della resistenza allo scorrimento tra i paramenti, ha portato alla definizione di una seconda campagna di prove sperimentali in situ sulle murature storiche di Palazzo Pica Alfieri a L'Aquila. Principali obiettivi il confronto tra diatoni e diatonos pre-sollecitati e lo studio del comportamento nel tempo, ovvero degli effetti dei diatoni artificiali ad espansione sulla muratura a lungo termine.

Gli ancoraggi sono stati opportunamente strumentati mediante l'applicazione di estensimetri sulla superficie della barra, n. 3 estensimetri per ciascun diatono, sono stati inseriti nelle apposite sedi ricavate nei pannelli murari e, successivamente al posizionamento di elementi di contrasto provvisori alle estremità, è stato applicato il carico di pre-sollecitazione, pari a 14 kN, definito sulla base delle caratteristiche geometriche e meccaniche degli ancoraggi e del substrato.

Il monitoraggio dei diatoni e diatonos ha avuto inizio durante la fase di pre-sollecitazione.

Per quantificare la componente di deformazione imputabile alle deformazioni termiche è stato realizzato un diatono di riferimento non pre-sollecitato.



estensimetro su barra in acciaio

diatoni & diatonos strumentati

fase di inserimento

fase di pre-sollecitazione

controllo del carico applicato

Effettuata l'iniezione di malta, necessaria a rendere solidale l'ancoraggio alla muratura, si è lasciato trascorre un periodo di tempo adeguato alla maturazione della malta stessa, rispettivamente 7 gg (valutati come il periodo necessario per il raggiungimento dei 2/3 della resistenza) e 28 gg (raggiungimento della completa resistenza).

Successivamente, sono state rimossi gli elementi di contrasto alle estremità, attivando la trasmissione degli sforzi dall'elemento di rinforzo alla malta indurita del bulbo. Grazie ai meccanismi di aderenza e di ingranamento, nel caso dei diatonos amplificati dalla presenza degli svassi, gli stessi sforzi vengono trasferiti alla muratura esercitando su di questa l'azione di compressione auspicata.

La lettura delle deformazioni degli estensimetri nelle diverse fasi ha permesso la comprensione dei fenomeni in atto e in primo luogo ha permesso di valutare e quantificare il decadimento della sollecitazione imposta nell'istante immediatamente successivo alla rimozione delle piastre e nel tempo.

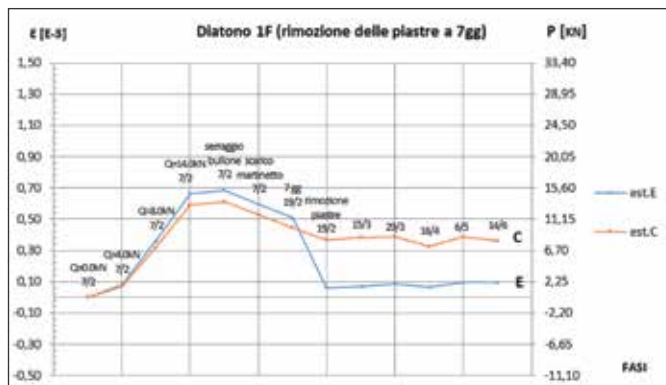


fase di iniezione

monitoraggio dei diatoni e diatonos nelle diverse fasi

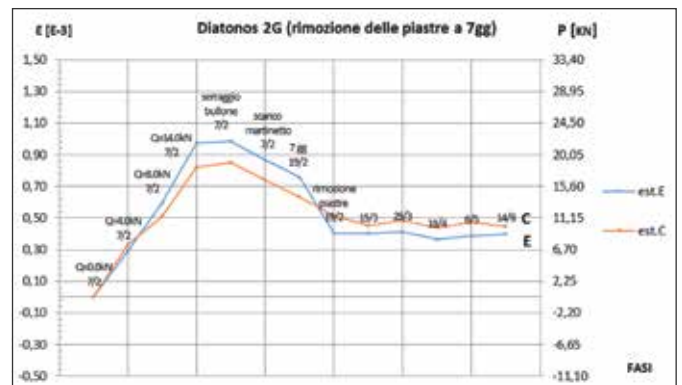
diatoni e diatonos dopo la rimozione elementi di contrasto

I grafici riportati di seguito rappresentano, nelle diverse fasi, la lettura delle deformazioni degli estensimetri nella sezione centrale e nelle sezioni di estremità: dal confronto tra il comportamento dei diatoni e dei diatonos, entrambi con maturazione a 7gg, risulta evidente l'efficacia degli svassi che contribuiscono in modo attivo a contrastare il rilassamento del diatono nelle sezioni di estremità.



**Diatono a 7 gg**

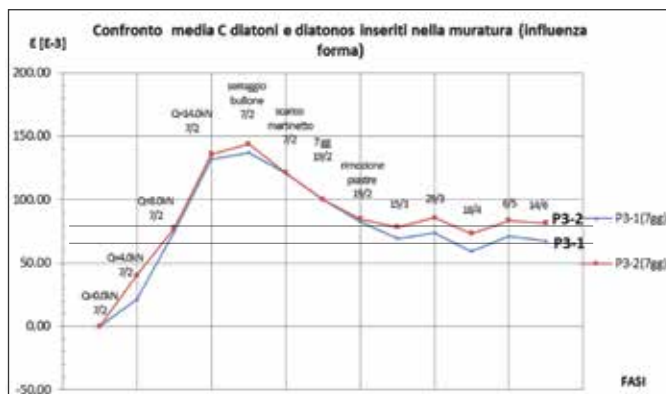
grafico della deformazione nella sezione centrale C e nelle sezioni di estremità E nelle diverse fasi



**Diatonos a 7 gg**

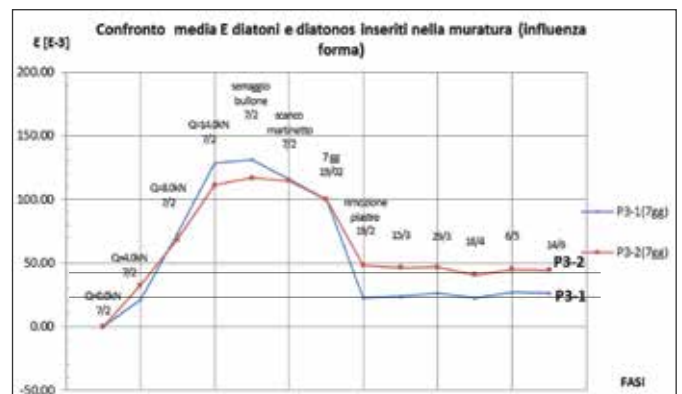
grafico della deformazione nella sezione centrale C e nelle sezioni di estremità E nelle diverse fasi

Considerazioni analoghe emergono dalle valutazioni delle deformazioni residue in termini di percentuale rispetto al valore di deformazione di riferimento (100%), corrispondente a quello registrato prima della rimozione degli elementi di contrasto.



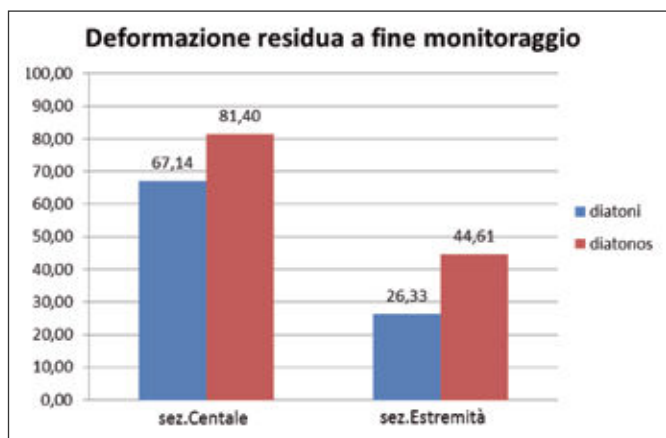
**confronto tra Diatoni e Diatonos a 7 gg**

valori espressi in termini di deformazioni residue e misurati nella sezione centrale (C)



**confronto tra Diatoni e Diatonos a 7 gg**

valori espressi in termini di deformazioni residue e misurati nelle sezioni di estremità (E)



**confronto tra Diatoni e Diatonos a 7 gg**

deformazione residua nelle sezioni investigate degli elementi con maturazione della malta a 7 gg

Nel caso dei diatoni con maturazione a 7 gg, al termine del periodo di monitoraggio (3 mesi) in corrispondenza delle sezioni centrali circa il 60% del carico imposto viene trasferito come compressione trasversale al pannello, nelle sezioni di estremità il valore si riduce al 26%; per i diatonos, sempre con maturazione a 7 gg, si ottengono valori intorno all'80% nella sezione centrale e al 45% in corrispondenza delle estremità a testimonianza che i diatonos bloccano attivamente il paramento nelle zone più esterne. Dai risultati ottenuti per diatoni e diatonos con maturazione della malta





Domus Tiberiana | Roma



Basilica Cattedrale di Santa Maria Assunta | Melfi



Cattedrale di San Giorgio Martire | Ferrara

# CASE HISTORIES

# CASE HISTORIES





Acquedotto Monumentale di Guamo | Lucca



Palazzo del Quirinale | Roma



Castel Sant'Elmo | Napoli

# CASE HISTORIES

# CONSOLIDAMENTO CON RESINA

Se da un lato vi sono motivazioni tecniche, teoriche, che permettono di distinguere quando l'ancoraggio debba essere realizzato con resina o con malta cementizia, non sempre, nelle applicazioni pratiche tale limite è ben definito, entrando in gioco molti altri fattori, quale la compatibilità con i materiali originari, che possono vincolare la scelta dei materiali o più semplicemente problemi di fattibilità esecutiva. Parametri significativi per la scelta del tipo di ancoraggio sono:

- tipologia di substrato
- lunghezza di ancoraggio
- diametro del perforo
- tempi e modalità di posa
- tempi di attesa per la messa in carico dell'ancoraggio

La tixotropia della resina, utile per evitare eccessive dispersioni nei vuoti che caratterizzano le murature storiche, limita le lunghezze di ancoraggio rispetto alle applicazioni in cui l'inghisaggio è realizzato con malte. L'utilizzo di resine epossidiche pure, caratterizzate da lunghi tempi di indurimento e manipolazione, offre in questo senso le migliori prestazioni e consente di raggiungere profondità di ancoraggio di poco superiori al metro.

La scelta di realizzare un inghisaggio con resina può essere ottimale nel caso in cui si renda necessario limitare il diametro della perforazione: nelle applicazioni con resina deve essere realizzato un foro con un diametro di poco superiore al diametro della barra mentre nel caso di ancoraggi iniettati con malta il diametro del perforo è anche tre volte superiore a quello della barra.





Altro parametro determinante per la scelta del tipo di inghisaggio è il tempo di attesa necessario prima della messa in carico che, in alcune applicazioni, deve necessariamente essere breve: inghisaggi realizzati con resina epossidica hanno un curing time di alcune ore mentre per gli inghisaggi con malta a base cementizia sono necessari 28 giorni prima del raggiungimento della resistenza caratteristica. Fondamentale per la buona esecuzione dell'ancoraggio è l'utilizzo di adeguata attrezzatura che permetta di garantire, nell'arco del tempo di indurimento, l'estrusione della resina e l'inghisaggio della barra:

- pompa pneumatica per l'estrusione della resina
- tubicini per prolungare il mixer utilizzato per gli inghisaggi tradizionali
- eventuali gabbiette metalliche per evitare una eccessiva dispersione della resina in caso di presenza di alte percentuali di vuoti.

L'ancoraggio con resina si affida esclusivamente alla capacità di adesione con il substrato: per questo motivo è fondamentale effettuare, in fase di applicazione, la pulizia dei perfori, in modo da rimuovere polveri e detriti che potrebbero impedire l'adesione diretta con il substrato.

Le resine epossidiche Bossong, sia in cartuccia che colabili, trovano anche impiego per la realizzazione di connessioni su legno, per strutture di nuova formazione e per consolidamento di strutture esistenti.



**HEADQUARTER**

Via E. Fermi, 49/51 (Z.I.2)  
24050 GRASSOBBIO (BG) - Italy  
Tel +39 035 3846 011  
consolidamento@bossong.com

**LOGISTIC CENTER**

Via G. Falcone 1  
24050 ZANICA (BG) - Italy  
Tel +39 035 0075712

[www.bossong.com](http://www.bossong.com)

