



EDILMATIC SRL - Uffici e stabilimento: Via Gonzaga, 11 46020 Pegognaga (MN) Italia
Tel. +39-0376-**558225** – fax +39-0376-**558672** – E-mail: info@edilmatic.it – internet: www.edilmatic.it
Capitale sociale € 46.800,00 i.v. - Cod. Fisc. e Part.Iva 00141890202
Reg.Imprese MN 00141890202 – Cod. ID. CEE: IT 00141890202

Sistemi di ancoraggio di appoggio e di sollevamento per elementi prefabbricati. Accessori, fissaggi e minuterie metalliche



**UNIVERSITA' DI BRESCIA
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE,
ARCHITETTURA, TERRITORIO E AMBIENTE**

TECHNICAL REPORT

**"Estratto "
STUDIO SPERIMENTALE DEL COMPORTAMENTO
DI SUPPORTI EDILMATIC MT**

26 aprile 2007

Giovanni Metelli¹, Paolo Riva², Andrea Facchinetti³

¹Ricercatore presso il Dipartimento di Ingegneria Civile, Architettura, Territorio e Ambiente Facoltà di Ingegneria

Università degli Studi di Brescia

²Professore Straordinario presso il Dipartimento di Progettazione e Tecnologie

Facoltà di Ingegneria

Università degli Studi di Bergamo

³Ingegnere, Libero Professionista

INDICE

1. RIFERIMENTI NORMATIVI	4
1.2 Eurocodice 8.....	4
1.3 Ordinanza sismica 3274	8
2. SISTEMA DI SUPPORTO "MENSOLA Mt "	9
2.1 Funzioni di supporto e di ritenuta	9
2.2 Sistema di supporto "Mensola Mt"	10
2.3 Piastra Zancata	11
2.4 Ripartitore di Carico	13
2.5 "Mensola Mt"	14
2.6 Regolazioni del sistema d'appoggio	16
2.7 Sistema di Ritenuta "Scatola ST2"	18
3. BANCO DI PROVA E PROVINI	20
3.1 Descrizione ed esecuzione dei provini	20
3.2 Banco di prova	24
4. CAMPAGNA DI PROVE SPERIMENTALI	27
4.1 Descrizione della prova sulla mensola MT soggetta a carico trasversale	27
4.2 Risultati delle prove sulla mensola MT soggetta a carico trasversale	33
4.2.1 Mensola Mt6-0,5L-60	33
4.2.2 Mensola Mt6-0,5L-40	39
4.2.3 Mensola Mt6-0,5L-20	42
4.2.4 Mensola Mt6-1,0L-60	44
4.2.5 Mensola Mt6-0,0L-60	48
4.2.6 Confronto tra le prove su mensole Mt6	51
4.2.7 Mensola Mt9-0,5L-90	53
4.2.8 Mensola Mt9-0,5L-60	56
4.2.9 Mensola Mt9-0,5L-30	59
4.2.10 Confronto tra le prove su mensola Mt9	62
4.2.11 Mensola Mt4-0,5L-40	64
4.2.12 Mensola Mt4-0,5L-27	66
4.2.13 Mensola Mt4-0,5L-13	69
4.2.14 Confronto tra le prove su mensola Mt4	71
4.2.15 Mensola Mt12-0,5L-120	73
4.2.16 Mensola Mt12-0,5L-80	75
4.2.17 Mensola Mt12-0,5L-40	77
4.2.18 Confronto tra le prove su mensola Mt12	79
4.3 Descrizione della prova sulla mensola MT6 soggetta a carico longitudinale	80
4.4 Risultati delle prove sulla mensola MT6 soggetta a carico longitudinale	83
4.4.1 Mensola Mt6-0,5L-60	83
4.4.2 Mensola Mt6-0,5L-40	88
4.4.3 Mensola Mt6-0,5L-60	90
4.4.4 Confronto dei risultati	93
5. CONCLUSIONI	94
6. BIBLIOGRAFIA	100

INTRODUZIONE

I rivestimenti di edifici industriali e commerciali prefabbricati sono frequentemente realizzati mediante pannelli prefabbricati in calcestruzzo armato. In Italia, è tradizione progettare le strutture prefabbricate in c.a. trascurando l'interazione tra la struttura e i pannelli di rivestimento. Questi elementi, collegati alle colonne o alle travi, sono considerati solo come delle masse appese che contribuiscono alla risposta dinamica della struttura ma che non influenzano la rigidità agli spostamenti laterali dell'edificio. Allo stesso tempo, le connessioni tra tamponamenti e struttura sono progettate per trasmettere alla struttura stessa il peso proprio dei pannelli e i carichi orizzontali dovuti al sisma e al vento. Nella pratica progettuale italiana è inoltre tradizione ritenere che trascurare il contributo irrigidente dei pannelli di facciata sia un'ipotesi conservativa per il progetto delle strutture prefabbricate in c.a.. In tale caso, per le nuove norme sismiche i collegamenti devono essere dimensionati in maniera tale da poter sostenere, a fronte del terremoto di esercizio (evento caratterizzato da una accelerazione di picco del terreno con una probabilità pari al 10% in 50 anni di essere uguagliata o maggiorata), spostamenti relativi compatibili con uno spostamento di interpiano pari a $0.01h$, dove h è l'altezza di interpiano per edifici con tamponamenti progettati in modo da non subire danni a seguito di spostamenti di interpiano calcolati secondo lo stato limite di danno, e pari a $0,005h$ nel caso in cui i tamponamenti siano rigidamente collegati alla struttura. Presso il laboratorio P. Pisa dell'Università degli Studi di Brescia è stato realizzato lo studio del comportamento di un particolare sistema di connessione prodotto dalla ditta Edilmatic s.r.l. e chiamato "mensola Mt".

Le prove hanno l'obiettivo di valutare il comportamento del sistema in termini di rigidità, duttilità, resistenza e capacità dissipative. Le prove sono condotte su prototipi sperimentali che comprendono una porzione di pannello, una porzione di pilastro, e l'apparecchio di ancoraggio. I prototipi sono sottoposti a storie di carico cicliche, procedendo a spostamenti orizzontali impressi. Il programma di prova prevede di testare mensole di diverse dimensioni, al variare della lunghezza del bullone di regolazione e dell'entità del carico verticale gravante sul sistema di appoggio. Le mensole MT4, MT6, MT9 e MT12 sono state testate con carico ciclico in direzione trasversale alla mensola, che risulta soggetta anche ad un'azione torcente, mentre la sola mensola MT6 è stata testata con carico longitudinale monotono. Sebbene le mensole MT siano state originariamente progettate per portare i soli carichi gravitazionali, i risultati della ampia campagna di prove sperimentali evidenziano il buon comportamento delle mensole in termini di resistenza, rigidità, duttilità ed energia dissipata con un danneggiamento limitato negli elementi in calcestruzzo. La trasmissione dell'azione sismica è garantita dall'attrito esercitato dalle superfici zigrinate della testa del bullone di regolazione e della piastra di ripartizione.

1. RIFERIMENTI NORMATIVI

1.1 Premessa

Nel presente capitolo si discutono le prescrizioni che l'**Eurocodice 8** e l'**Ordinanza 3274** impongono per l'impiego di sistemi di connessione / ritenuta per componenti non strutturali.

1.2 Eurocodice 8

Elementi strutturali primari e secondari [EC8 § 4.2.2]

(1) Alcuni elementi strutturali possono essere considerati “secondari “ se non fanno parte del sistema resistente all'azione sismica. La resistenza e la rigidezza con cui questi elementi si oppongono al sisma sono trascurate. Gli elementi secondari non hanno bisogno di essere conformi alle prescrizioni che l'**EC8** dedica agli elementi strutturali (da **EC8 § 5** a **EC8 § 9**). Ciò nonostante questi elementi e le loro connessioni devono essere progettati e realizzati con dettagli tali da garantire la capacità portante ai carichi gravitazionali anche quando soggetti agli spostamenti causati dalla più sfavorevole condizione sismica di progetto. Nel progetto di queste parti bisogna considerare anche gli effetti del secondo ordine (P-).

(2) Le sezioni dell' **EC8** da **§ 5** a **§ 9** danno le prescrizioni da aggiungere a quelle dell' **EN 1992**, **EN 1993**, **EN 1994**, **EN 1995** and **EN 1996**, per il progetto ed il dettaglio degli elementi secondari.

(3) Tutti gli elementi strutturali che non ricadono nella definizione di secondari sono da considerare “primari”. Essi sono considerati parte del sistema resistente alle forze laterali e devono quindi essere modellati nelle analisi sismiche in accordo con **§ 4.3.1** e progettati secondo le indicazioni delle sezioni da **§ 5** a **§ 9**.

(4) Il contributo totale alla rigidezza laterale degli elementi secondari deve essere minore del 15% di quella degli elementi primari.

(5) Non si possono classificare alcuni elementi strutturali come secondari con lo scopo di trasformare una struttura non regolare in una regolare vedi **§ 4.2.3**.

Elementi non strutturali [EC8 § 4.3.5]

Aspetti generali IEC8 § 4.3.5.11

(1) Gli elementi non strutturali (appendici) degli edifici che in caso di rottura potrebbero causare rischi a persone o incidere sul corpo della struttura o su servizi critici, dovrebbero insieme ai loro supporti, essere verificati per resistere alle azioni sismiche di progetto.

(2) Per elementi non strutturali di grande importanza o di natura particolarmente pericolosa l'analisi sismica deve essere basata su un modello realistico della struttura e su un uso appropriato degli spettri di risposta derivati dalla risposta dei supporti strutturali di elementi del corpo resistente.

(3) In ogni altro caso, opportunamente giustificato, può essere seguita una procedura semplificata (vd. capitolo § 4.3.5.2(2)).

Verifica IEC8 § 4.3.5.21

(1) Gli elementi non strutturali come le loro connessioni, collegamenti, e ancoraggi, devono essere verificati per le condizioni sismiche indicate nel capitolo §3.2.4.

(2) Gli effetti dell'azione sismica possono essere determinati applicando agli elementi non strutturali forze orizzontali F_a definite come segue:

$$F_a = (S_a \cdot W_a \cdot \gamma_a) / q_a \quad (eq. 1.1)$$

dove:

F_a è la forza sismica orizzontale da applicare nel centro di massa dell'elemento non strutturale nella direzione più sfavorevole;

W_a è il peso dell'elemento;

S_a è il coefficiente sismico applicabile all'elemento non strutturale (vedi punto (3));

γ_a è il fattore di importanza dell'elemento (vedi § 4.3.5.3);

q_a è il fattore di comportamento dell'elemento (vedi tab.4.4);

(3) Il coefficiente sismico S_a può essere calcolato usando la seguente espressione:

$$S_a = \alpha \cdot S \cdot \left[3 \left(1 + \frac{z}{H} \right) / \left(1 + \left(1 - \frac{T_a}{T_1} \right)^2 \right) - 0,5 \right] \quad (eq. 1.2)$$

dove:

è il rapporto tra l'accelerazione di progetto del terreno tipo A, a_g , e l'accelerazione di gravità g ;

S è il fattore di terreno;

T_a è il periodo del modo fondamentale di vibrare dell'elemento non strutturale;

T_1 è il periodo del modo fondamentale di vibrare dell'edificio nella direzione rilevante;

z è l'altezza dell'elemento non strutturale sopra il livello di applicazione dell'azione sismica;

H è l'altezza dell'edificio misurata dalla fondazione o dalla cima di un basamento rigido.

Il valore del coefficiente sismico S_a non può essere meno di $\alpha \cdot S$.

Fattori di importanza [EC8 § 4.3.5.3]

(1) Il fattore di importanza γ_a per i seguenti elementi non strutturali non può essere minore di 1,5:

- elementi di ancoraggio di macchinari ed attrezzature richieste per sistemi di salvaguardia delle vite;
- serbatoi e vasche contenenti sostanze tossiche o esplosive considerate pericolose per la sicurezza del pubblico .

(2) In ogni altro caso il fattore di importanza γ_a per sistemi non strutturali può essere assunto $\gamma_a=1.0$.

Fattori di comportamento [EC8 §4.3.5.4]

(1) I limiti superiori per i valori del fattore di comportamento degli elementi non strutturali q_a sono dati in tabella 4.4.

tipo di elemento non strutturale	q_a
<ul style="list-style-type: none">▪ parapetti a mensola o ornamenti;▪ segnali e cartelloni;▪ camini, montanti e serbatoi su gambe funzionanti come mensole per almeno metà della loro altezza;	1,0
<ul style="list-style-type: none">▪ murature interne ed esterne;▪ partizioni e facciate;▪ camini, montanti e serbatoi su gambe funzionanti come mensole per meno di metà della loro altezza o collegati o legati alla struttura nel loro centro di massa o sopra di questo;▪ elementi di ancoraggio per armadi permanenti e ammassi di libri sospesi dal pavimento;▪ ancoraggi per controsoffitti e impianti leggeri.	2,0

1.3 Ordinanza sismica 3274

Elementi non strutturali [Ordinanza 3274 § 4.9]

Tutti gli elementi costruttivi senza funzione strutturale, il cui danneggiamento può provocare danni a persone, dovranno in generale essere verificati all'azione sismica, insieme alle loro connessioni alla struttura.

L'effetto dell'azione sismica potrà essere valutato, salvo più accurate determinazioni, considerando un sistema di forze proporzionali alle masse (concentrate o distribuite) dell'elemento non strutturale, la cui forza risultante (F_a) valutata al baricentro dell'elemento non strutturale, è calcolata secondo la seguente:

$$F_a = (S_a \cdot W_a \cdot \gamma_i) / q_a \quad (eq. 1.3)$$

dove:

W_a è il peso dell'elemento;

γ_i è il fattore di importanza della costruzione (punti § 2.5 e § 4.7);

q_a è il fattore di struttura dell'elemento da considerare pari ad 1 per elementi aggettanti a mensola (quali ad esempio camini e parapetti collegati alla struttura solamente alla base) e pari a 2 negli altri casi (ad esempio per pannelli di tamponamento e controsoffitti);

S_a è il coefficiente sismico applicabile all'elemento non strutturale di cui alla

seguinte relazione :
$$S_a = \frac{a_g}{g} \cdot S \cdot \left[3 \left(1 + \frac{z}{H} \right) / \left(1 + \left(1 - \frac{T_a}{T_1} \right)^2 \right) - 0,5 \right] \geq \frac{a_g S}{g} \quad (eq. 1.4)$$

dove:

$a_g S$ è l'accelerazione di progetto al terreno;

z è l'altezza del baricentro dell'elemento rispetto alla fondazione;

H è l'altezza della struttura;

g è l'accelerazione di gravità;

T_a è il primo periodo di vibrazione dell'elemento non strutturale nella direzione considerata, valutato anche in modo approssimato;

T_1 è il primo periodo di vibrazione della struttura nella direzione considerata.

Per strutture con isolamento sismico si assumerà sempre z paria 0.

Gli effetti dei tamponamenti sulla risposta sismica vanno considerati nei modi e nei limiti prescritti per ciascun tipo costruttivo.

2. SISTEMA DI SUPPORTO "MENSOLA Mt "

2.1 Funzioni di supporto e di ritenuta

La ricerca ha l'obiettivo di studiare il comportamento sismico del sistema di supporto per pareti prefabbricate vendute con la denominazione commerciale "Mensola Mt" della ditta Edimatic s.r.l. Si tratta di una connessione posta alla base del pannello per reggerne il peso. E' adottata con il sistema di ritenuta "scatola ST2" posto in corrispondenza della parte superiore del pannello prefabbricato. La funzione del sistema di ritenuta è quella di impedire i movimenti fuori piano del pannello per evitare che ruotando sui supporti di base possa cadere a terra. La Fig.2.1 mostra il posizionamento dei dispositivi. Le azioni orizzontali dovute al sisma e al vento possono essere ripartite equamente tra i quattro dispositivi di connessione.

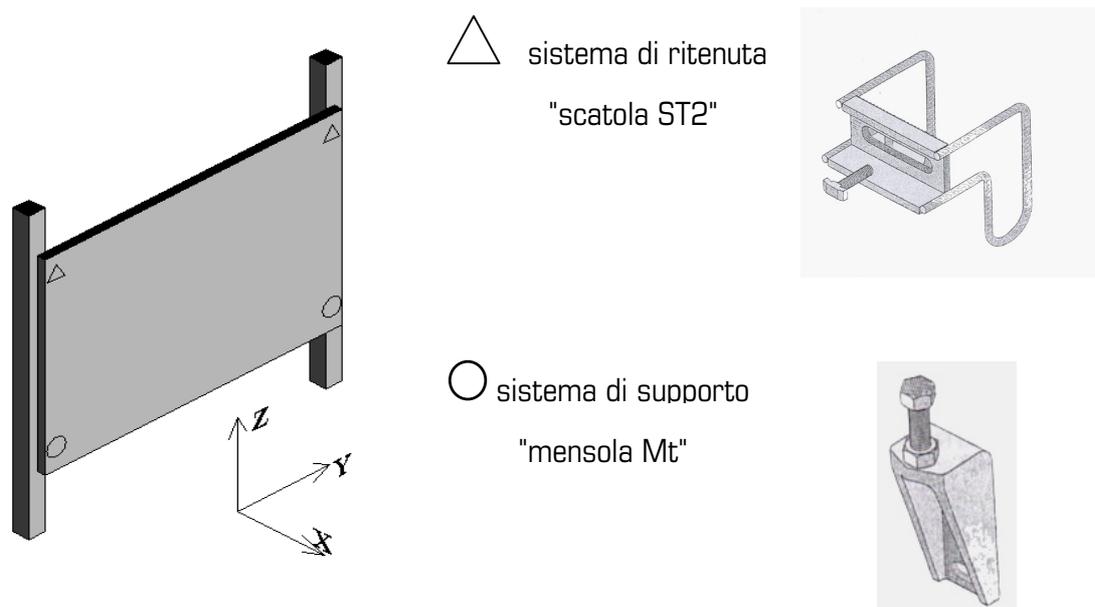


Fig.2.1 Posizionamento dei dispositivi di supporto e di ritenuta.

2.2 Sistema di supporto "Mensola Mt"

Il sistema di appoggio **EDILMATIC** denominato "mensola Mt" viene proposto come soluzione razionale, semplice e sicura per risolvere i problemi di supporto dei pannelli prefabbricati montati esternamente ai pilastri e degli elementi prefabbricati in genere.

Elimina completamente gli ingombri in fase di stoccaggio e trasporto degli elementi da assemblare, ed elimina le problematiche della creazione di vani (antiestetici) in caso di riutilizzo del Pilastro, consentendo ampie regolazioni lungo i tre assi cartesiani.

Il foro asolato nella parte inferiore della mensola consente inoltre una regolazione angolare aggiuntiva per recuperare eventuali errori di posizionamento della piastra zancata.

Il sistema si compone essenzialmente di 3 elementi:

(1)PIASTRA ZANCATA (INSERTO)

da posizionare nell'elemento **Portante** (Pilastro)

(2) RIPARTITORE DI CARICO (INSERTO)

da posizionare nell'elemento **Portato** (PANNELLO)

(3) **MENSOLA** di collegamento tra i due elementi, completa di Bullone e Dado di regolazione (4) e di Bulloni e Rondelle di Serraggio (5).

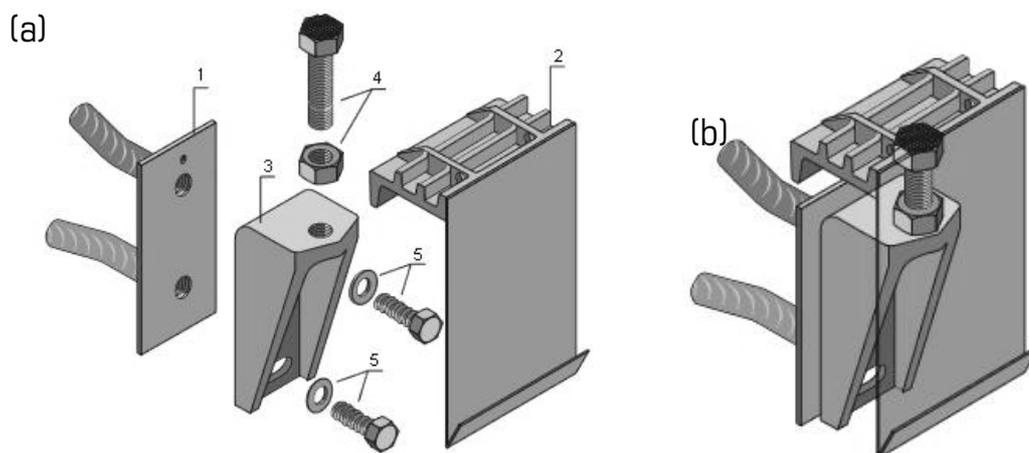


Fig.2.2. Sistema di appoggio mensola Mt, esploso dei componenti (a); vista d'insieme (b).

In base alla portata sono disponibili 4 modelli:

Mensola tipo MT4

portata massima 40 kN

(coeff. sicurezza in esercizio ≥ 3)

Mensola tipo MT6

portata massima 60 kN

(coeff. sicurezza in esercizio ≥ 3)

Mensola tipo MT9

portata massima 90 kN

(coeff. sicurezza in esercizio ≥ 3)

Mensola tipo MT12

portata massima 120 kN

(coeff. sicurezza in esercizio ≥ 3)

Tutti i componenti sono zincati elettroliticamente a freddo con spessore minimo di rivestimento garantito di 12 micron (UNI ISO 2081).

La bulloneria utilizzata è conforme alle varie normative di riferimento (UNI 5588-UNI 6593).

2.3 Piastra Zancata

Per piastra zancata si intende un inserto in acciaio da posizionare nell'elemento portante, senza armatura supplementare nelle zona di posizionamento, formato da un piatto di opportune dimensioni (in base al tipo di mensola), zincato, cui vengono applicati, mediate saldatura due tondi ad aderenza migliorata con filettatura e diametro variabile in funzione della portata.

Il piatto è Fe360B (UNI EN 10025) mentre i tondi sono in acciaio saldabile FeB44k ad aderenza migliorata (UNI ENV 10080).

In fase di finitura nei fori filettati vengono inseriti dei tappi in PVC per impedire l'ingresso del CLS in fase di getto; inoltre nella parte anteriore viene applicata un'etichetta adesiva identificativa del tipo di piastra, utile anch'essa ad impedire l'ingresso della boiaccia.

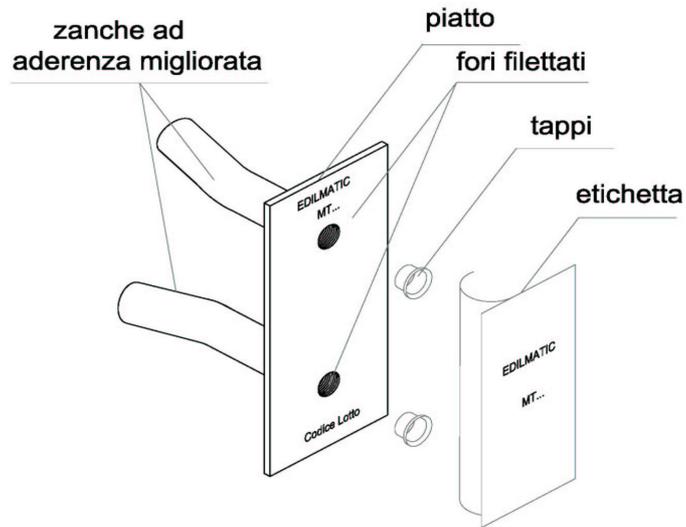
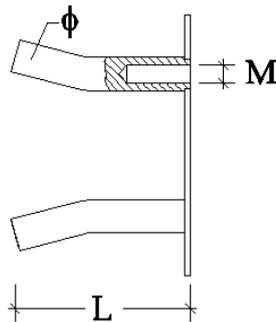
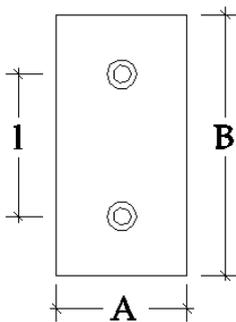


Fig. 2.3. Piastra zancata.



[mm]	Mt4	Mt6	Mt9	Mt12
M	16	18	20	24
L	150	150	200	300
	28	28	32	32
A	80	110	140	140
B	180	220	260	260
L	100	120	140	140

Fig. 2.4. Piastra zancata: dimensioni e ingombri.

2.4 Ripartitore di Carico

Inserto da posizionare nell'elemento portato costituito da un "ripartitore" in acciaio cui viene applicata tramite saldatura una lamiera sagomata in acciaio (Fe360B); viene fornito completo di polistirolo, applicato in fase di finitura, atto a creare il vano d'appoggio per la mensola.

Il ripartitore è ottenuto da stampaggio a caldo con acciaio di qualità ASTM A105; è opportunamente sagomato, con nervature longitudinali di rinforzo, per consentire un'ottimale distribuzione dei carichi in fase di appoggio della mensola sul bullone.

La zona di appoggio è zigrinata (zigrinatura spinata) per impedire lo scorrimento dell'elemento a montaggio avvenuto.

Il componente è zincato elettroliticamente a freddo (UNI ISO 2081).

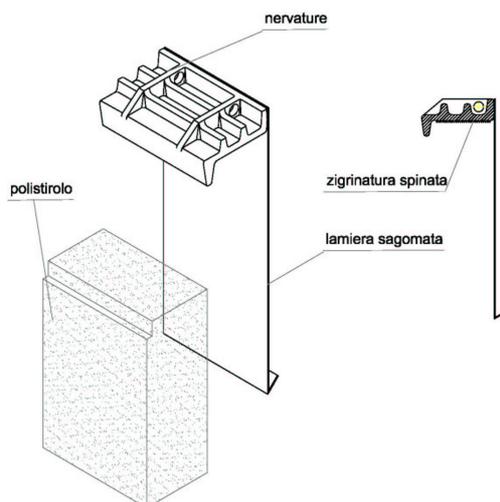
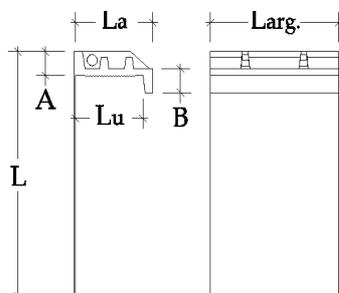


Fig 2.5 Ripartitore di carico.



[mm]	Mt4	Mt6	Mt9	Mt12
L	258	310	360	360
Lu	86	90	100	100
La	95	100	120	120
A	33	33	36	36
B	20	30	34	34
Larg	110	170	190	190

Fig. 2.6. Ripartitore di carico dimensioni ed ingombri.

2.5 "Mensola Mt"

La mensola Mt è l'elemento di unione tra la piastra zancata ed il ripartitore di carico e svolge la funzione di appoggio per l'elemento portato; è ottenuta da stampaggio a caldo di acciaio di qualità ASTM A105 ed è opportunamente sagomata in funzione della portata.

Parti integranti della mensola sono il dado e il bullone posti sul piano d'appoggio, oltre che funzione portante sono indispensabili per l'effettuazione delle regolazioni verticali dell'elemento portato (ovviamente il dado serve per il bloccaggio del bullone a regolazione avvenuta).

Il bullone è zigrinato per evitare lo scorrimento nell'appoggio con il ripartitore di carico.

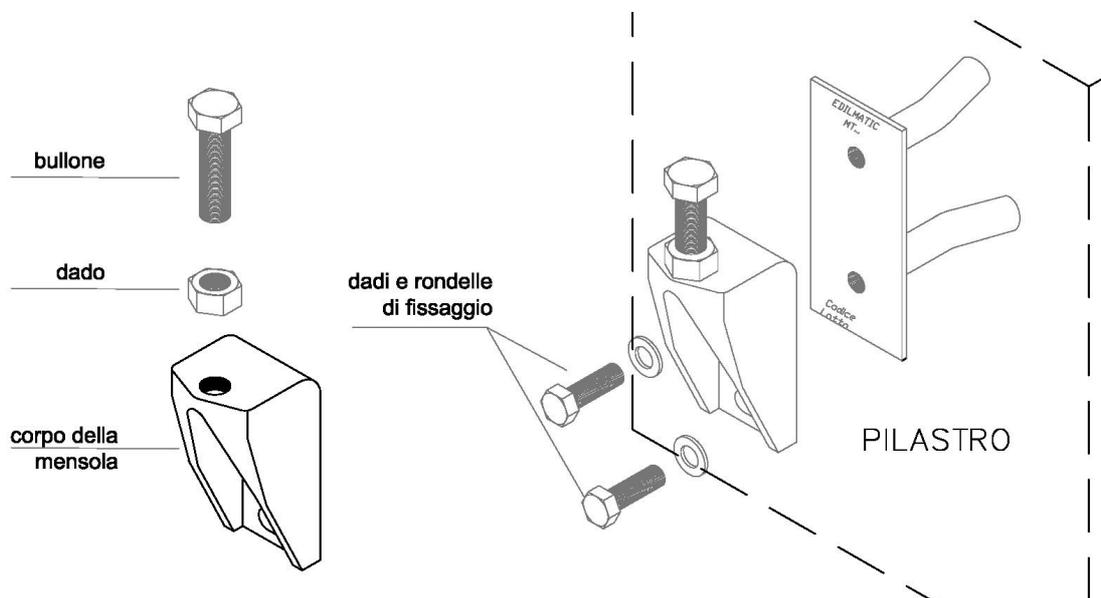


Fig. 2.7. Mensola

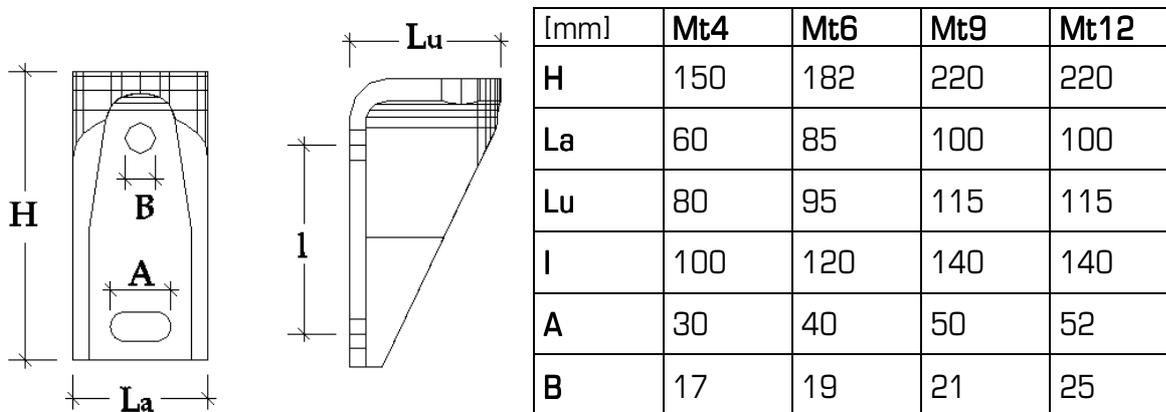
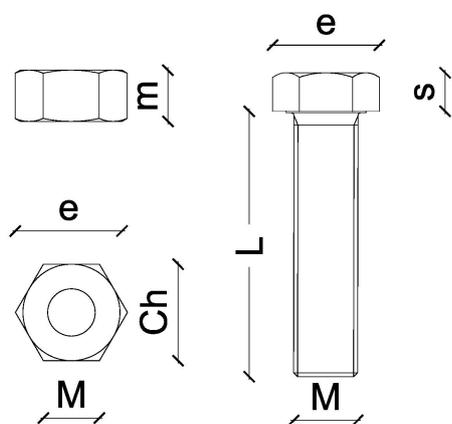
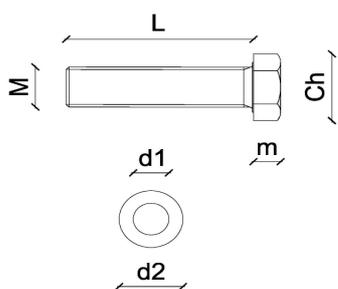


Fig.2.8. Mensola: dimensioni e ingombri.



[mm]	Mt4	Mt6	Mt9	Mt12
M	20	24	27	27
L	80	100	110	110
e	36	40	46	46
s	13	15	17	17
Ch	30	36	41	41
m	16	19	22	22

Fig. 2.9. Bullone portante e dado di regolazione .



[mm]	Mt4	Mt6	Mt9	Mt12
M	16	18	20	24
L	45	50	55	65
Ch	24	27	30	36
m	10	12	13	15
d1	17	19	21	25
d2	30	34	37	44

Fig. 2.10. Bulloni e rondelle per il fissaggio alla piastra zancata.

2.6 Regolazioni del sistema d'appoggio

Il sistema di appoggio Edilmatic MT è stato studiato per permettere ampia possibilità di regolazione lungo le tre direzioni ortogonali, come descritto nello schema seguente. Inoltre l'asola ricavata nella parte inferiore della mensola consente il recupero di eventuali errori di posizionamento della piastra zancata.

Tipo mensola	Posizione Verticale ottimale "V" [cm]	Regolazione Verticale " V" [cm]
Mt4	5,4	2
Mt6	6,4	3
Mt9	6,9	
Mt12	6,9	

Fig. 2.11. Regolazioni verticali.

Tipo mensola	Regolazione Trasversale "T" [cm]
Mt4	0,5
Mt6	
Mt9	
Mt12	

Fig. 2.12. Regolazioni trasversali.

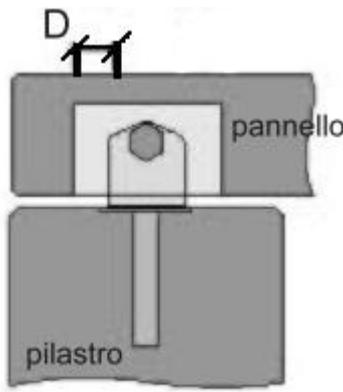
	Tipo mensola	Regolazione Orizzontale " D" [cm]
	Mt4	0 2,5
	Mt6	0 4
	Mt9	
	Mt12	

Fig. 2.13. Regolazioni orizzontali.

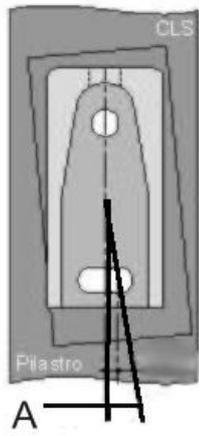
	Tipo mensola	Regolazione Angolare " A" [deg]
	Mt4	5°
	Mt6	
	Mt9	
	Mt12	

Fig. 2.14. Regolazioni angolari.

2.7 Sistema di Ritenuta "Scatola ST2"

Il sistema di ritenuta **EDILMATIC** con **SCATOLA ST2** viene proposto come soluzione semplice ed efficace per vincolare i pannelli di facciata o di tamponamento alle strutture in CLS. Il sistema è composto dalla **SCATOLA ST2** da posizionare nell'elemento da ritenere (solitamente nel bordo superiore dei pannelli), da spezzoni di profilo inseriti nell'elemento ancorante (pilastri, velette, gronde, ecc...) e da bulloni dadi e rondelle da utilizzare nella fase di unione dei 2 elementi.

Il corpo centrale della **SCATOLA ST2** è ottenuto da stampaggio a caldo di acciaio di qualità ASTM A105; successivamente vengono assemblati tramite saldatura i tondi in acciaio FeB44k ad aderenza migliorata.

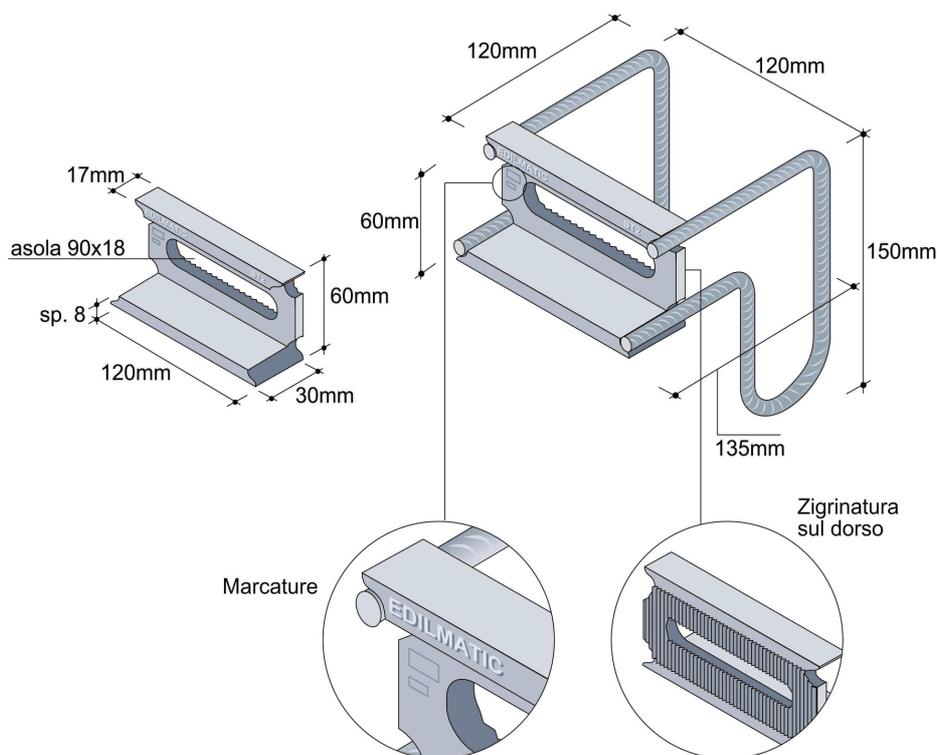


Fig. 2.15. Scatola ST2: dimensioni ed ingombri.

La **SCATOLA ST2** viene fornita completa di polistirolo, inserito nella parte posteriore e anteriore della stessa; a getto terminato togliendo il suddetto si creano dei vani incavi per l'inserimento degli accessori di ancoraggio.

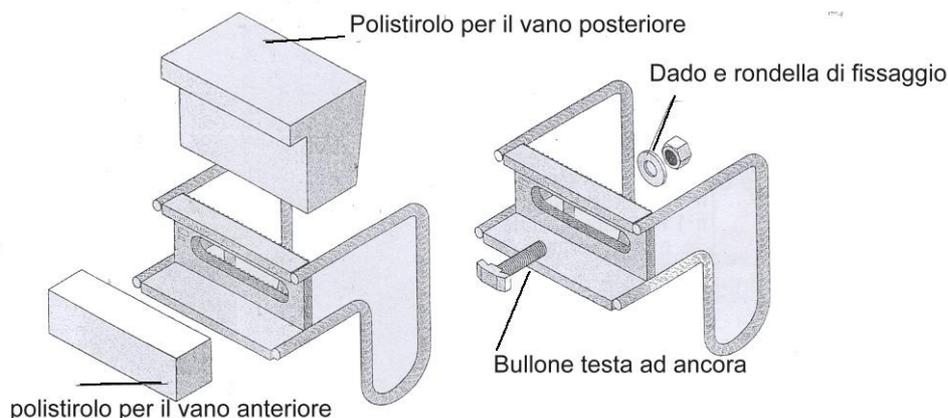


Fig. 2.16. Posizionamento polistirolo.

Questo sistema di ritenuta permette di assicurare il pannello alla struttura portante seguendo le poche e semplici fasi di assemblaggio riassunte di seguito.

Si inserisce il bullone con la testa ad ancora nel vano posteriore della scatola (Fig. 2.17.(A)), lo si fa ruotare nel vano della parte anteriore per introdurlo nel profilo incavo (Fig. 2.17.(B)), serrando il tutto con dado e rondella (Fig. 2.17.(C)).

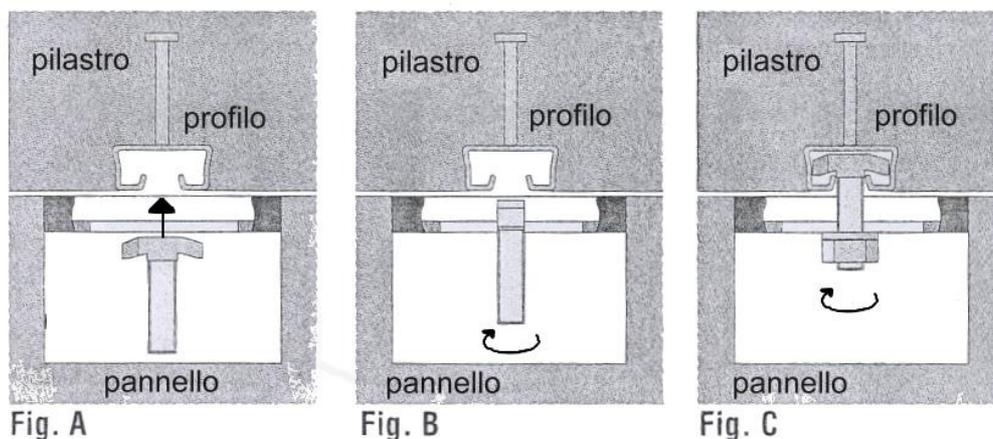


Fig. 2.17. Fasi di montaggio.

3. BANCO DI PROVA E PROVINI

3.1 Descrizione ed esecuzione dei provini

L'obiettivo delle presenti prove sperimentali è quello di calcolare la rigidezza, la resistenza, l'energia dissipata e la duttilità dei quattro sistemi di appoggio MT, al variare del carico verticale e della lunghezza del bullone di regolazione. Le prove sperimentali, eseguite presso il Laboratorio P. Pisa dell'Università degli Studi di Brescia, riguardano 17 prototipi costituiti da una porzione di pannello collegata tramite la mensola MT ad una porzione di pilastro. Le mensole MT4, MT9 e MT12 sono state testate variando il carico verticale, mantenendo il bullone di regolazione nella posizione intermedia e applicando uno spostamento trasversale alla mensola, ovvero nel piano del pannello. La mensola MT6 è stata testata variando, oltre al carico verticale, anche la posizione del bullone di regolazione (posizione intermedia 0,5L, bullone completamente svitato 1,0L e bullone completamente avvitato 0,0L) e applicando un carico o trasversale o longitudinale (vedi tabella 3.1).

Come indicato in Figura 3.1 i conci di pannello e pilastro sono caratterizzati dalle seguenti dimensioni:

- pilastro delle dimensioni 25 X 25 X 125cm per mensola Mt 4, Mt 6, Mt 9 e dimensioni 35 X 35 X 125cm per le mensole Mt12;
- pannello di spessore 20 cm, larghezza 30 cm e altezza di 48 cm per le mensole tipo Mt4, 53 cm per Mt6, 58 cm per le mensole Mt9 e Mt12.

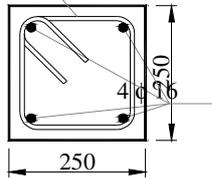
Per il calcolo delle armature dei pilastri si adotta una percentuale di armatura longitudinale pari ad almeno 1% :

4 16 per i pilastri 25cm X 25cm a cui corrisponde una percentuale geometrica $\rho_s=1,2\%$;

4 16 e 8 10 per i pilastri 35 cm X 35cm a cui corrisponde una percentuale geometrica $\rho_s=1,1\%$. La staffatura è stata scelta per riprodurre nel provino lo stesso grado di confinamento di un pilastro prefabbricato progettato secondo le indicazioni dell'**EC.8**.

COLUMN SECTION

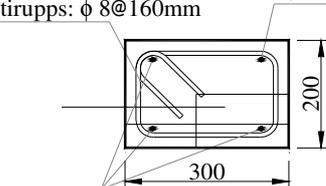
stirrups: $\phi 8@100\text{mm}$



PANEL SECTION

stirrups: $\phi 8@160\text{mm}$

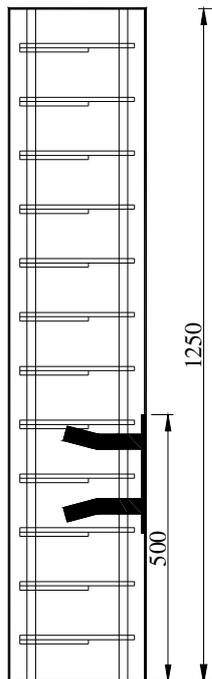
$1\phi 8 - L=210\text{mm}$



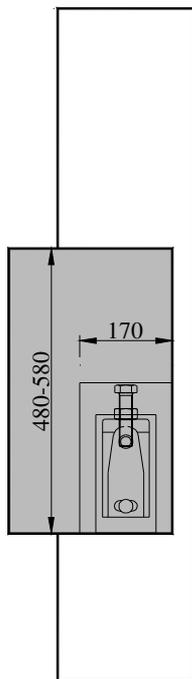
$3\phi 8 - L=520\text{mm}$

CONCRETE C30/37 - $f_{ck}=30\text{ MPa}$
 REINFORCING STEEL B450C - $f_{yk}=430\text{ MPa}$; $f_{uk}=530\text{ MPa}$
 SUPPORT SYSTEM STEEL - S350 $f_{yk}=350\text{ MPa}$; $f_{uk}=510\text{ MPa}$
 BOLT STEEL - 8.8 - $f_{yk}=640\text{ MPa}$; $f_{uk}=800\text{ MPa}$

LATERAL VIEW

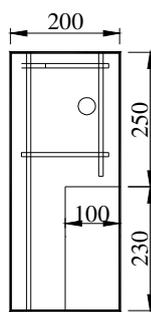


SPECIMEN FRONT VIEW

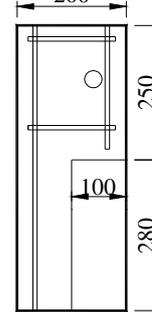


MT4

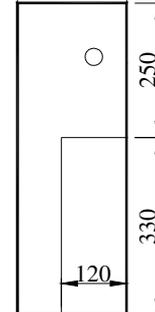
LATERAL VIEW



MT6



MT9



FRONT VIEW

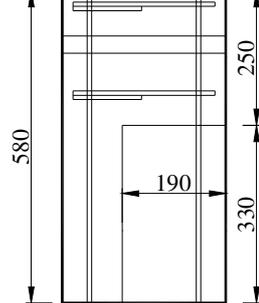
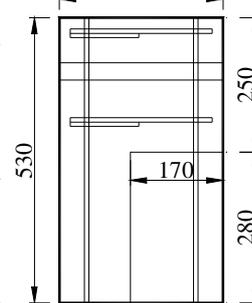
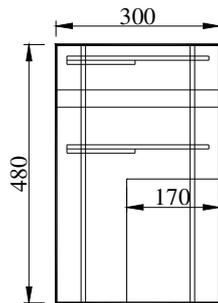


Fig 3.1 Armatura, dimensioni dei campioni di prova e caratteristiche meccaniche dei materiali

I pilastri sono stati gettati in orizzontale, mantenendo cioè il loro asse maggiore parallelo al terreno. Questa scelta ha facilitato il posizionamento degli ancoraggi metallici in essi annegati.

La figura successiva mostra i casseri e armature di tre pilastri. Si possono inoltre notare le barre ausiliarie che sostengono le piastre metalliche nelle fasi di getto, i distanziatori orizzontali e verticali usati a garanzia del copriferro di 2 cm ed i ganci metallici che agevolano le operazioni di spostamento dei provini.

Come per i pilastri anche per i pannelli si rende necessaria la realizzazione dei casseri e la disposizione degli opportuni distanziatori. Il dispositivo di appoggio è venduto con un riempimento in polistirolo che risulta molto comodo durante le fasi di getto, (basta infatti appoggiarlo sul fondo del cassero e la geometria del sistema è automaticamente rispettata).

Il tubo bianco di PVC visibile in Fig 3.3 serve per realizzare uno foro passante nel pannello. In questo alloggiamento si infilerà una barra tramite la quale il pannello sarà movimentato durante la prova (vedi Cap. 5).

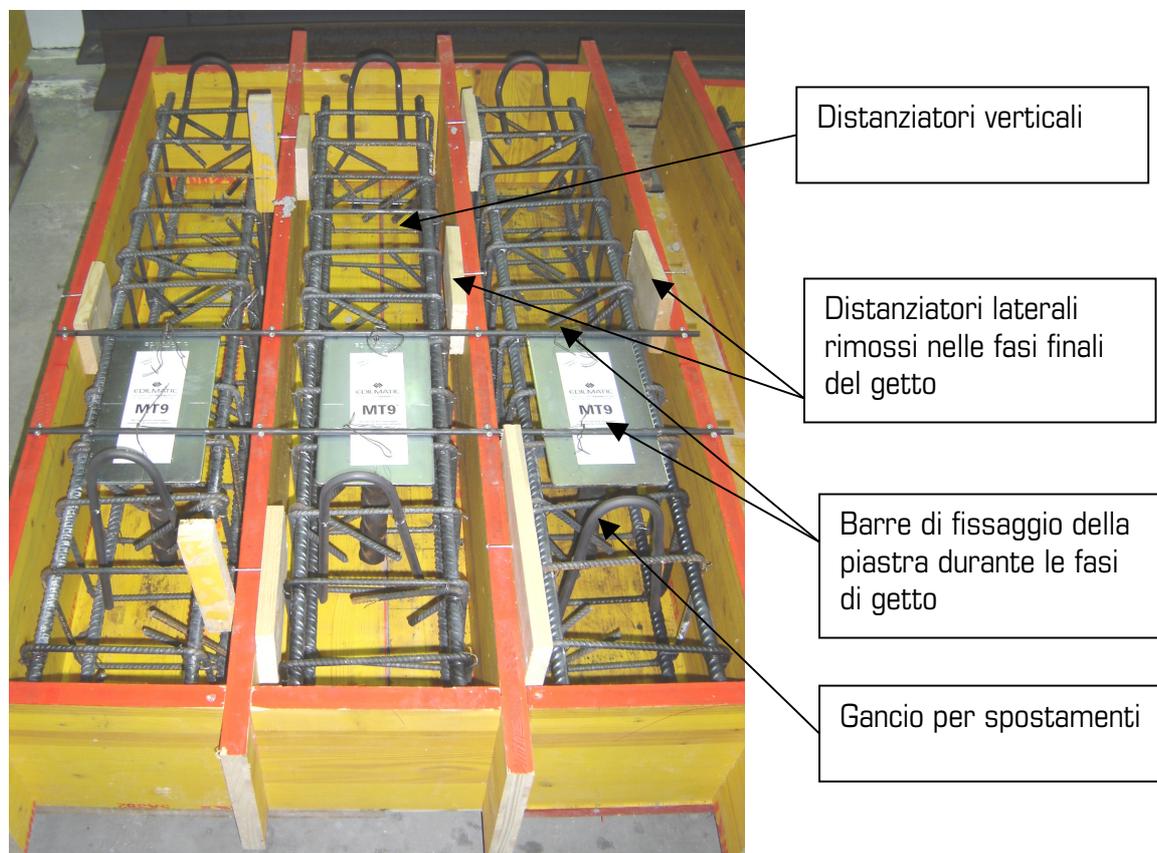


Fig 3.2 Casseratura e armatura dei conchi di pilastro.

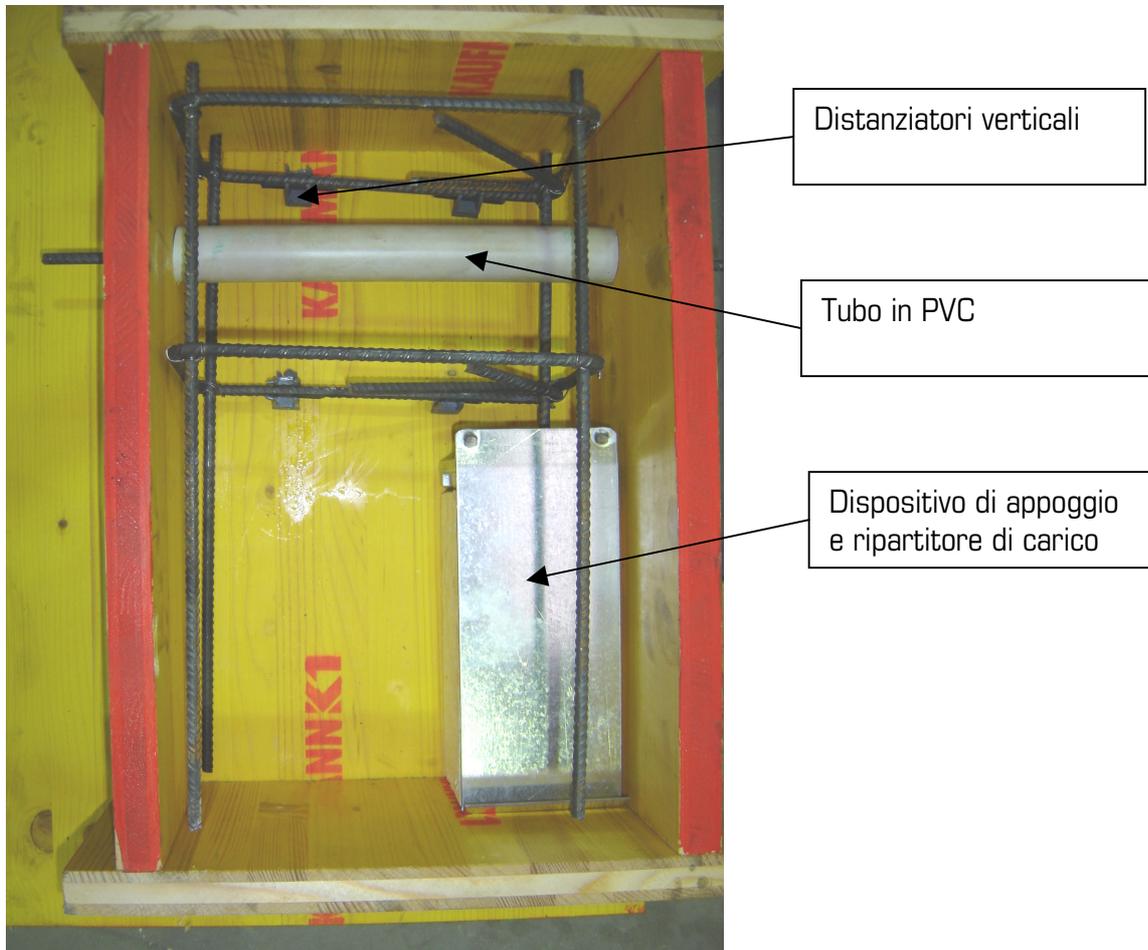


Fig 3.3 Casseratura ed armatura del concio di pannello.

3.2 Banco di prova

Il banco progettato per testare i campioni è costituito dal un anello esterno in acciaio (a) (1800x2150 mm) che permette di applicare lo spostamento al pannello mantenendo fisso il pilastro. Il carico verticale del pannello, mantenuto costante durante la prova, viene applicato mediante due barre filettate di 22 mm di diametro (b). Lo spostamento viene impresso al pannello mediante una barra filettata di 16 mm di diametro (c) che è stata strumentata con strain gauges per la misurazione del carico. Quattro barre verticali di 24mm di diametro(d) permettono di applicare una pressione al pilastro di 8 MPa in modo da simulare la sollecitazione indotta dai carichi della copertura di un tipico capannone industriale monopiano. In Figura 3.1 e 3.2 È illustrato il banco. Il banco è dotato di un telaio trasversale in modo da poter ruotare il pannello e applicare un carico longitudinale alla mensola Mt.

I campioni sono stati soggetti a 8 cicli di spostamento crescente δ con una velocità di carico di 0.1 mm/min

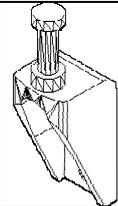
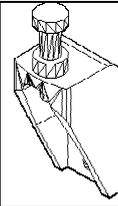
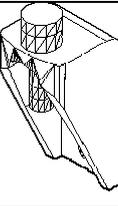
MENSOLA				Percentuale del carico nominale N		
				100%	66%	33%
Carico trasversale						
MT4, MT6, MT9, MT12		X		X	X	X
MT6	X			X		
MT6			X	X		
Carico longitudinale						
MT6		X		X	X	X

Tabella 3.1: configurazione dei campioni testati

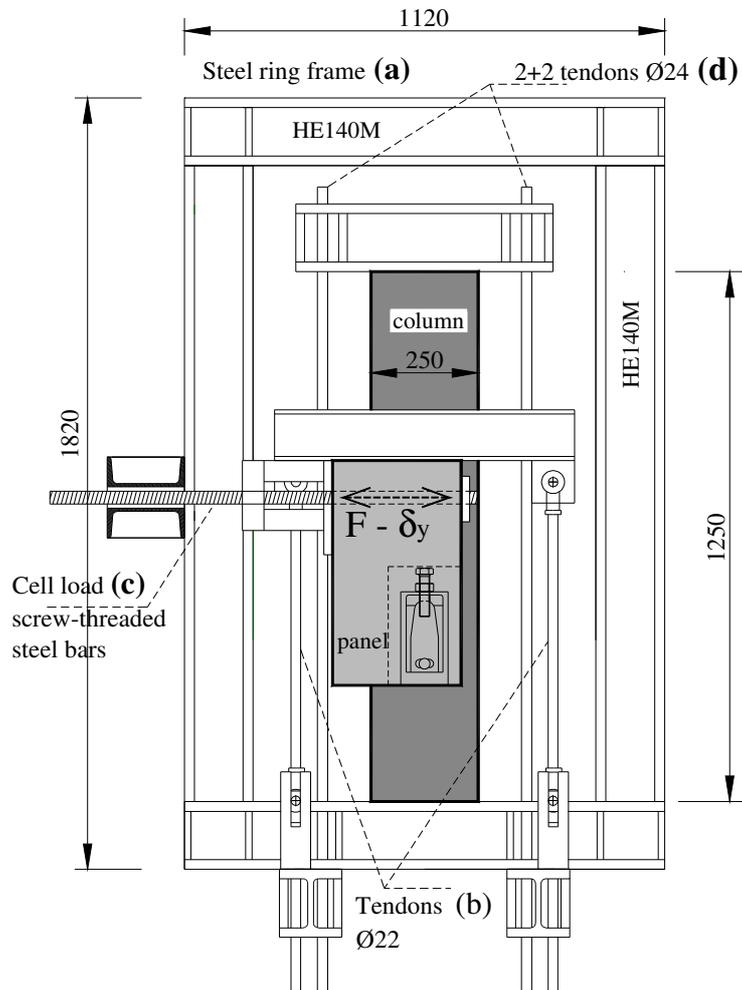


Fig 3.8: Schema del Banco di prova

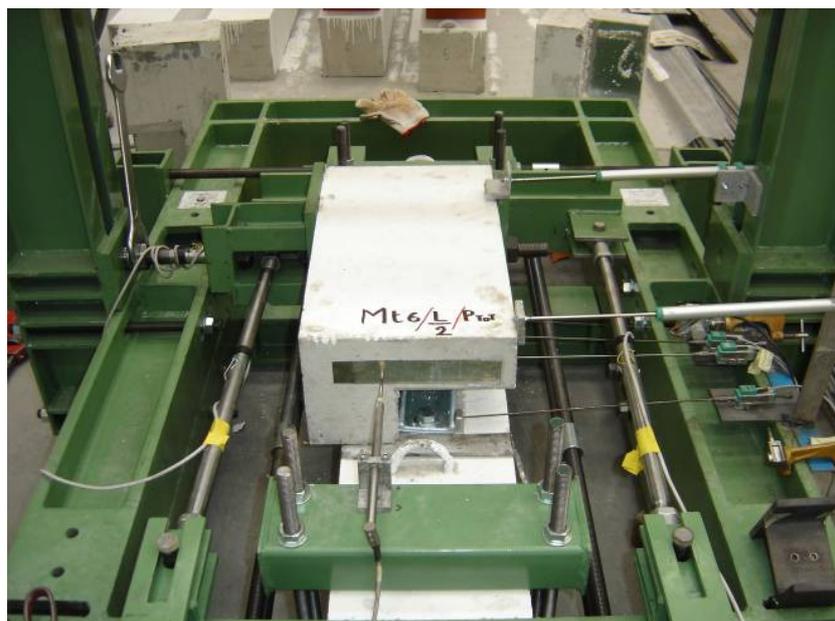


Figure 1. Banco di prova

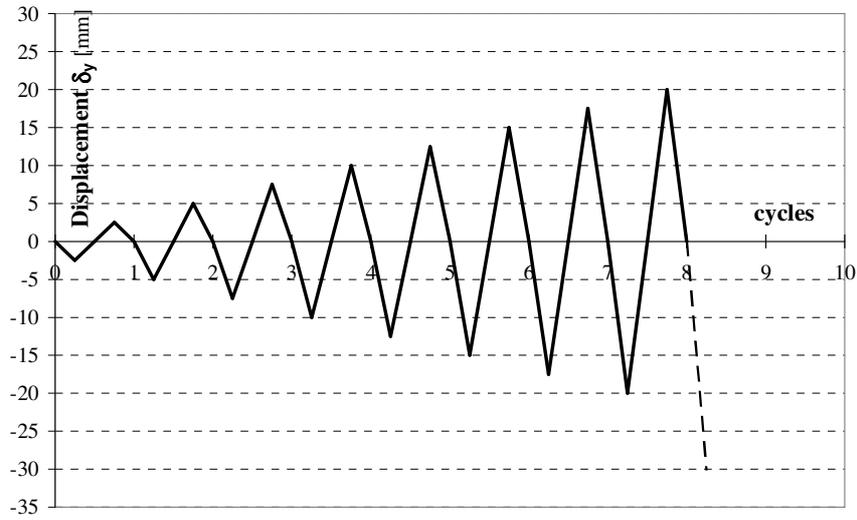


Figure 2. Storia di carico

4. CAMPAGNA DI PROVE SPERIMENTALI

4.1 Descrizione della prova sulla mensola MT soggetta a carico trasversale

Dopo aver alloggiato il pilastro all'interno del banco, viene applicato il precarico con quattro barre longitudinali 24.

Sono state seguite le fasi di montaggio della mensola così come mostrate dal catalogo generale dell'Edilmatic. E' stata posta una particolare attenzione al rispetto dei prescritti valori della coppia di serraggio delle viti che fissano la mensola alla piastra annegata nel pilastro: 10kgm per Mt4; 15kgm per Mt6; 20kgm per Mt9 e Mt12.

Montata la mensola si avvita il bullone di regolazione per simulare la voluta condizione di impiego; quindi sul bullone si appoggia il concio di pannello. La testa del bullone di regolazione è posta a metà della lunghezza del ripartitore di carico e questo, come si vedrà, influenza in maniera determinante il comportamento del nodo perchè limita, in un verso, il valore massimo dello spostamento relativo tra pannello e mensola.

Infine si applica il carico verticale (in direzione Z) al concio di pannello per simularne il peso, per tale scopo si utilizzano le due bielle del quadrilatero articolato (Fig. 4.2).

La prova consiste nell'imporre al concio di pannello una storia di spostamenti orizzontali (in direzione X) ciclici di ampiezza crescente fino al collasso del sistema di connessione. Come già discusso lo spostamento orizzontale è impresso mediante una barra filettata (diametro 30mm, passo fine 1,5mm) solidale al pannello e vincolata al banco (Fig. 4.1). La barra è stata strumentata con *strain gauges* per conoscere in ogni istante il valore del carico applicato (cella di carico in Fig. 4.2).

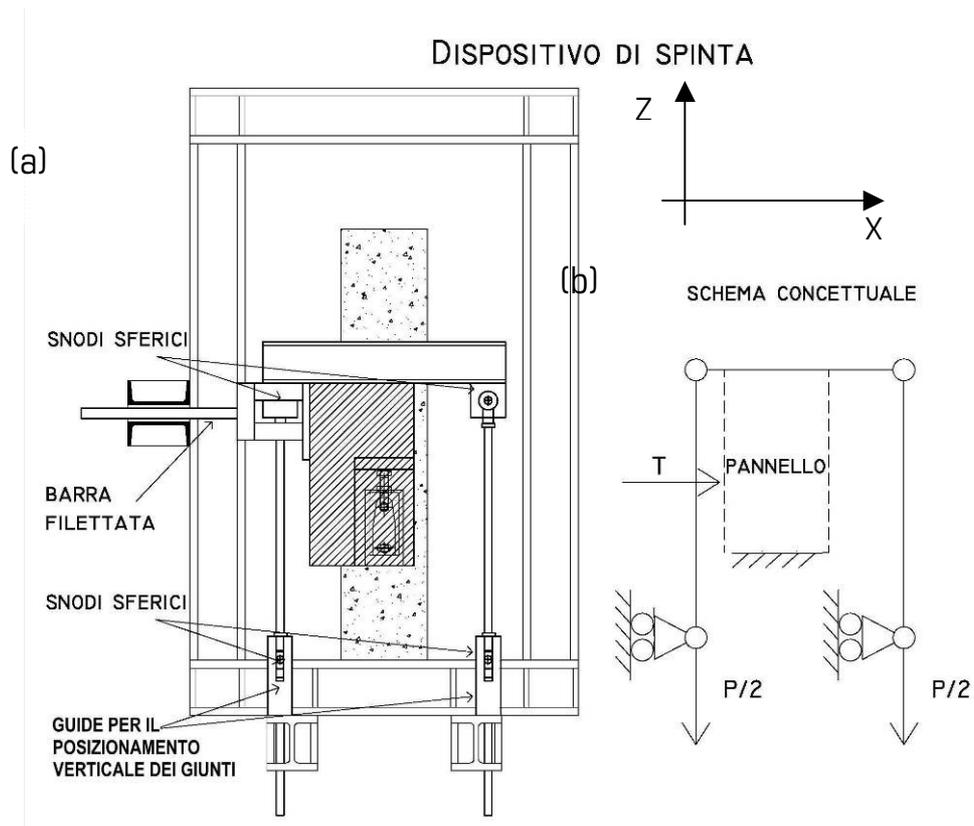


Fig. 4.1 Banco: sistema di applicazione del carico al concio di pannello.

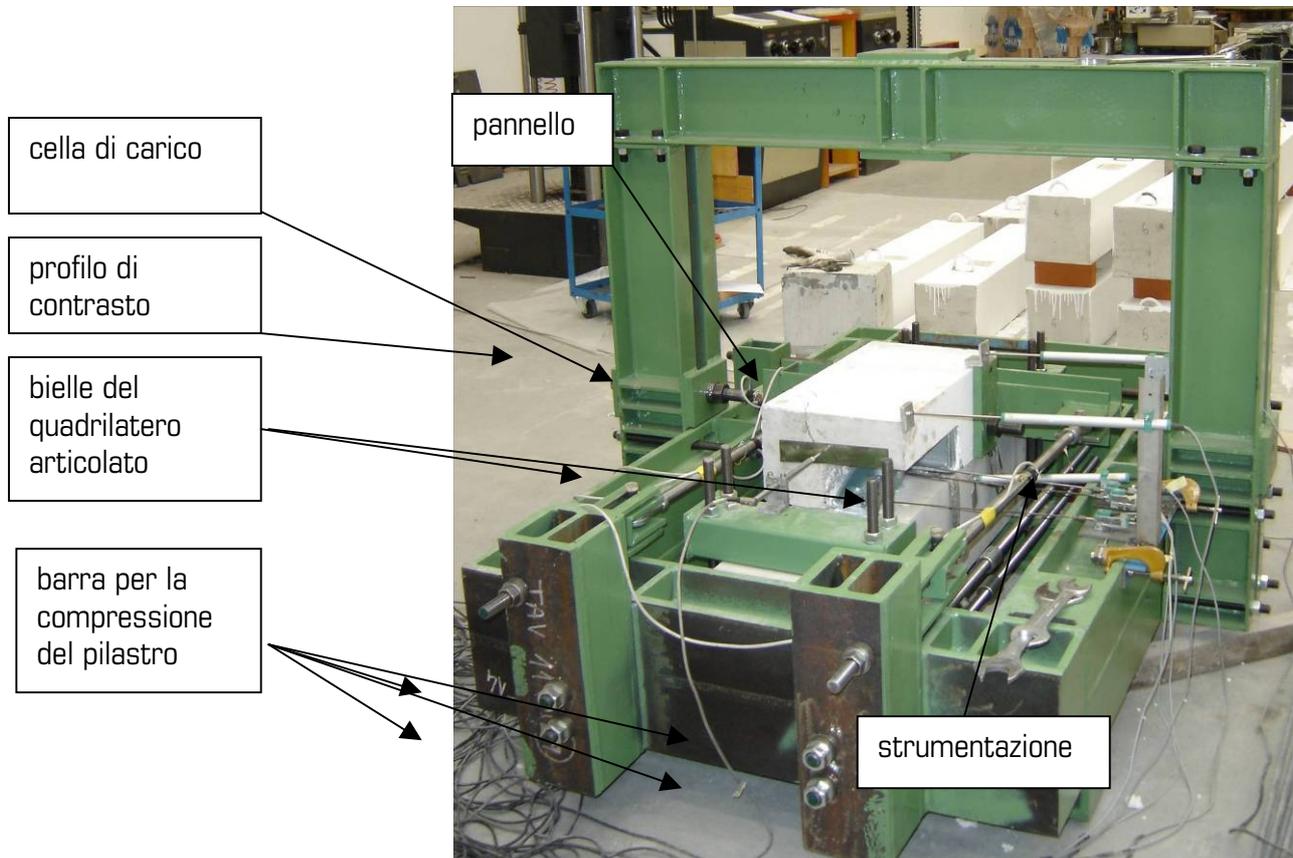


Fig. .4.2 Banco di prova.

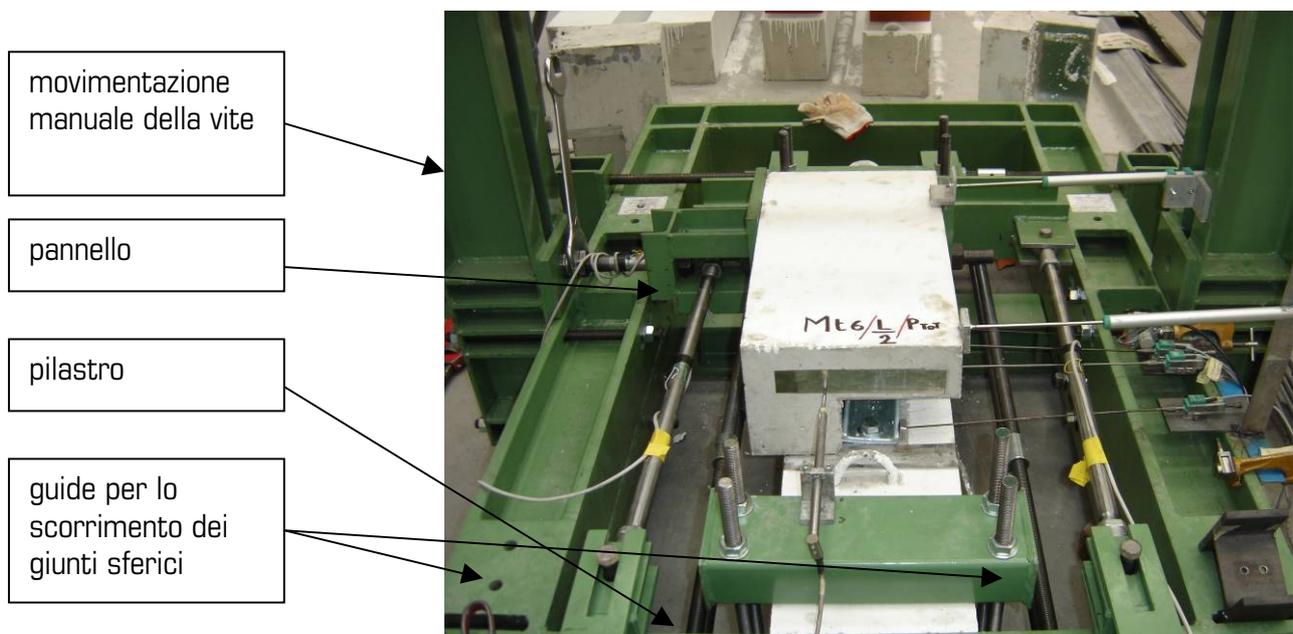


Fig. .4.3 Banco di prova: particolare del sistema di applicazione del carico.

Lo scopo della prova è ottenere un legame del tipo forza-spostamento in cui la forza applicata F_x impressa dalla barra filettata simula la forza sismica, e lo spostamento δ è la traslazione del pannello in direzione orizzontale (X). Si prevede di testare i quattro tipi di mensola Mt4, MT6, Mt9, e Mt12 e per ciascun tipo di mensola, con il bullone di regolazione nella posizione intermedia, si prevedono tre possibilità di carico verticale applicato : 33% del carico verticale nominale, 66% e 100% del carico. Per approfondire il ruolo della lunghezza del bullone di regolazione le mensole Mt6 sono inoltre state testate nelle seguenti configurazioni:

- Bullone di supporto in completa estensione e con carico verticale pari al 100% del carico nominale (Mt6-1,0L-60);
- Bullone di supporto completamente avvitato e con carico verticale pari al 100% del carico nominale (Mt6-0,0L-60).

Per il controllo dei carichi agenti durante la prova sono stati applicati degli *strain gauges* alla barra filettata che movimentata il pannello e alle bielle del quadrilatero articolato. In questo modo tramite il programma di controllo CatMan è possibile conoscere in tempo reale le forze che agiscono sul provino.

Gli spostamenti sono stati misurati con l'utilizzo di 6 potenziometri per le traslazioni orizzontali ed un induttivo per l'abbassamento del pannello. Nella Fig. 4.4 sono indicati i punti di lettura degli spostamenti dei componenti del sistema di appoggio.

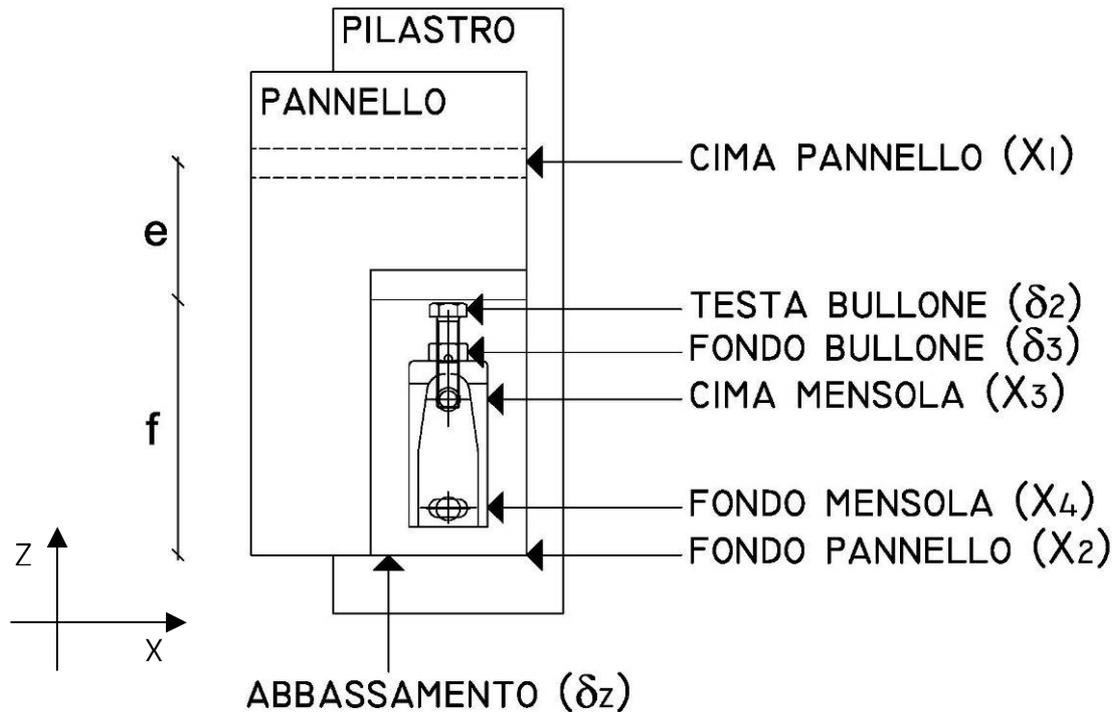


Fig. .4.4 Punti di lettura degli spostamenti.

Le misure cima pannello (X_1) e fondo pannello (X_2) servono per controllare che il pannello subisca una rotazione trascurabile durante le fasi di carico. Il valore δ_1 della traslazione orizzontale del pannello in corrispondenza della testa del bullone si ottiene depurando i valori X_1 e X_2 dalla componente rotatoria:

$$\delta_1 = X_1 - e \frac{(X_1 - X_2)}{e + f}.$$

dove :

- e è la distanza tra la lettura X_1 e la testa del bullone;
- f è la distanza tra la lettura X_2 e la testa del bullone.

Per indicare lo spostamento orizzontale medio della mensola si introduce il valore δ_4 ottenuto dalle misure X_3 cima della mensola e X_4 fondo della mensola secondo la:

$$\delta_4 = \frac{(X_3 + X_4)}{2}.$$

Le grandezze su cui faremo le nostre considerazioni sono quindi:

Grandezza	Significato
δ_1	traslazione orizzontale del pannello in corrispondenza della testa del bullone
$\delta_1 - \delta_2$	scorrimento relativo tra ripartitore di carico e testa del bullone
$\delta_2 - \delta_3$	differenza tra lo spostamento orizzontale della testa e lo spostamento della base del bullone
$\delta_3 - \delta_4$	differenza tra lo spostamento orizzontale della base del bullone e lo spostamento medio della mensola
δ_4	traslazione orizzontale media della mensola
δ_5	abbassamento pannello

Tab. 4.1 Grandezze utilizzate per cogliere la deformazione dei singoli elementi del sistema d'appoggio.

Utilizzando le grandezze misurate della Tab. 4.1 è possibile stimare il contributo di ogni componente del sistema alla rigidezza e alla duttilità del sistema mensola Mt, analogamente a quanto fatto nel lavoro di Metelli e Riva [2006].

4.2 Risultati delle prove sulla mensola MT soggetta a carico trasversale

4.2.1 Mensola Mt6-0,5L-60

Le prove consistono nell'applicare spostamenti orizzontali ciclici di ampiezza crescente al pannello. Ad ogni ciclo lo spostamento massimo è incrementato di circa 2,5 mm. La rigidezza iniziale del nodo è valutata sul primo ciclo; la Figura successiva mostra il legame forza (F_x) - spostamento (δ_1) e la rigidezza iniziale K che nel caso in esame è pari a 11 kN/mm.

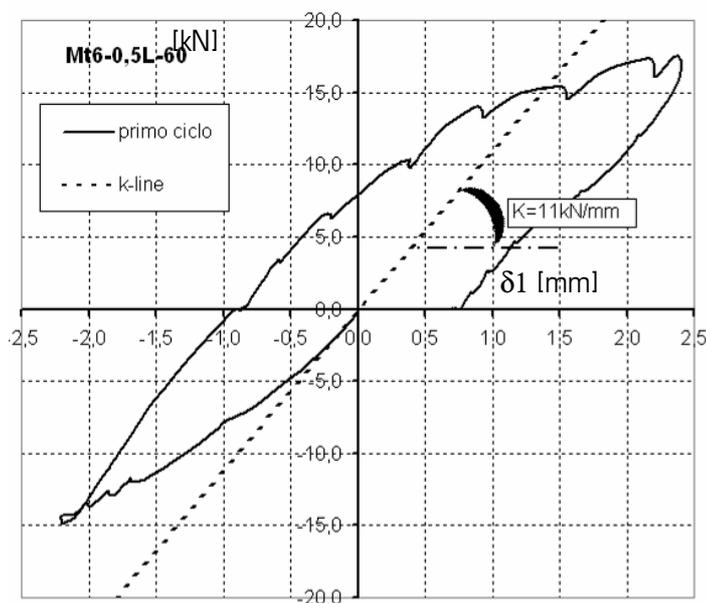


Fig. .4.5 Mensola Mt6-0,5L-60: Primo ciclo, valutazione della rigidezza iniziale.

E' di seguito riportato il grafico complessivo della prova: 8 cicli completi consentono di verificare il comportamento ciclico del sistema fino allo spostamento di 2 cm; poi il provino è caricato in modo unidirezionale fino allo spostamento massimo. La prova è interrotta quando il corpo della mensola tange il bordo interno dell'incavo realizzato nel pannello.

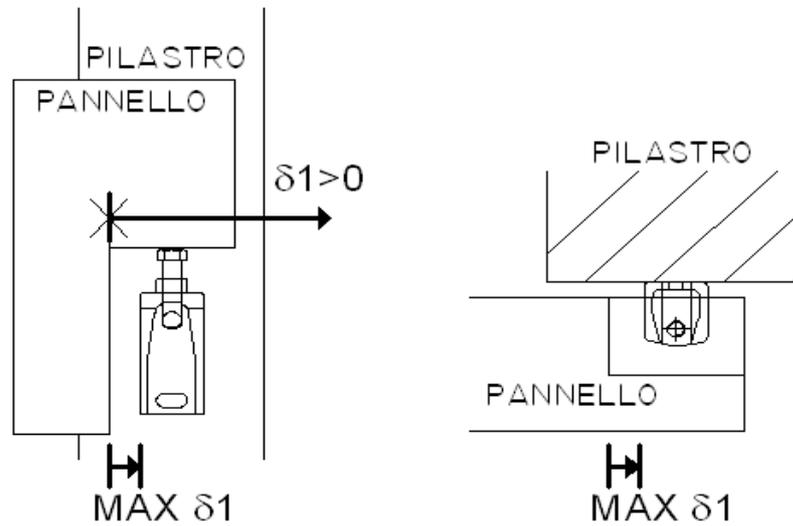


Fig. .4.6 Spostamenti massimi consentiti dal sistema.

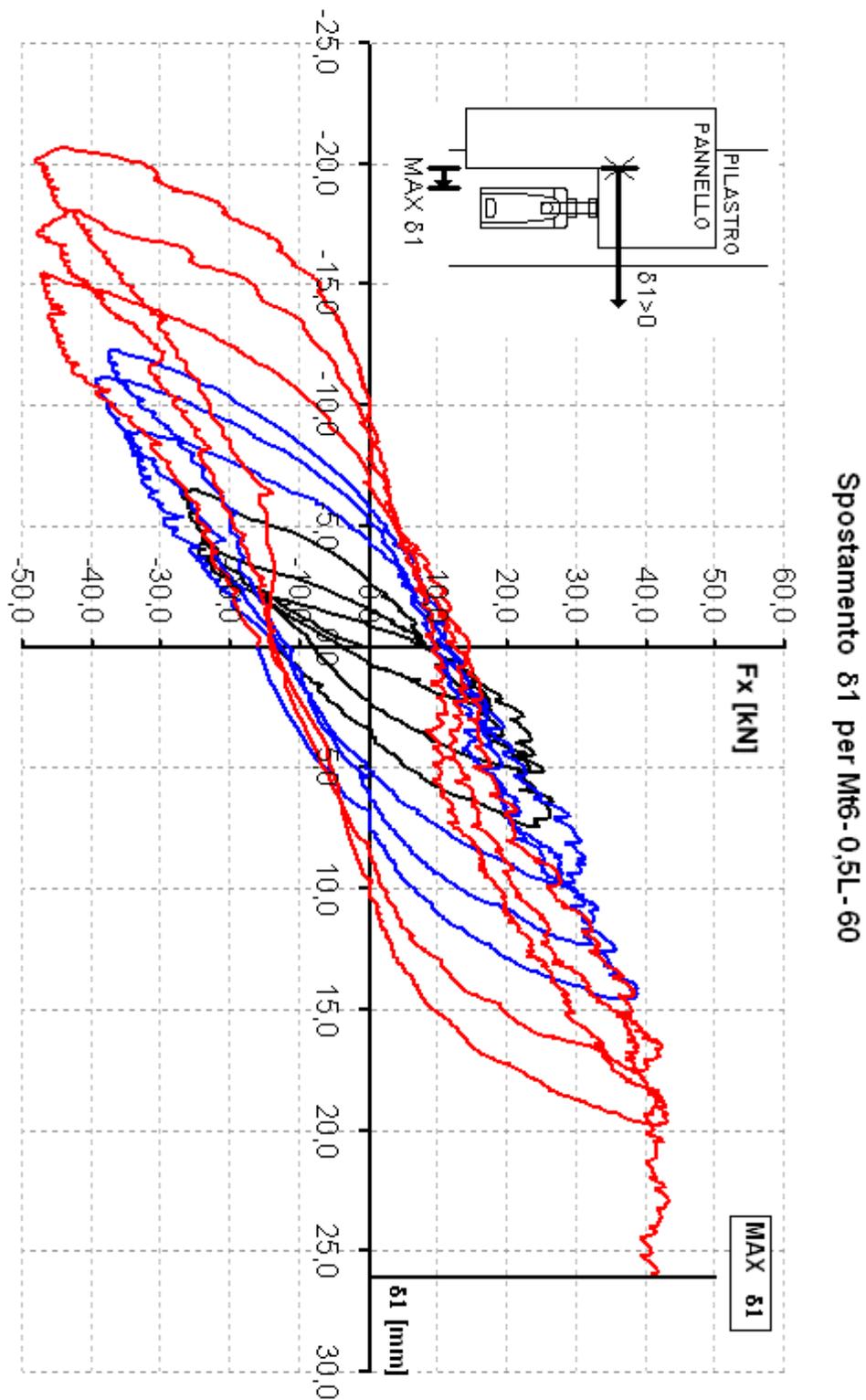


Fig. 4.7 Mt6-0,5L-60: Grafico forza F_x - spostamento δ_1 . In nero sono indicati i primi tre cicli, in blu i cicli dal n°4 al n°6 mentre in rosso i cicli dal n°7 al n° 9.

Come è normale attendersi, i primi tre cicli (in colore nero) hanno rigidezza maggiore di quelli blu e rossi; anche la forma è diversa: inizialmente il grafico è raccolto intorno all'origine poi, col cresce dei cicli si manifesta più evidente il fenomeno del "*pinching*".

Il grafico è quasi simmetrico rispetto all'origine, anche se possiamo notare che per spostamenti negativi si raggiunge un carico massimo più alto: 48,2 kN al nono ciclo, contro i 43,3 kN ottenuti anch'essi al nono ciclo per spostamenti positivi. Dal settimo al nono ciclo gli spostamenti massimi sono incrementati senza un sensibile aumento della forza massima applicata. Il nodo ha raggiunto, per detti cicli, il carico massimo infatti, anche nella parte terminale del nono ciclo, con δ_1 che si spinge fino a raggiungere il massimo valore ammissibile (26mm), il carico continua ad oscillare attorno ai 41kN senza subire ulteriori incrementi. Nel diagramma sottostante è riportata l'energia dissipata ad ogni ciclo (fino all'ottavo ciclo perchè il nono non è completo). La dissipazione cresce con regolarità fino al settimo ciclo mentre possiamo notare che tra il settimo e l'ottavo ciclo resta sostanzialmente costante per l'accentuarsi del "*pinching*".

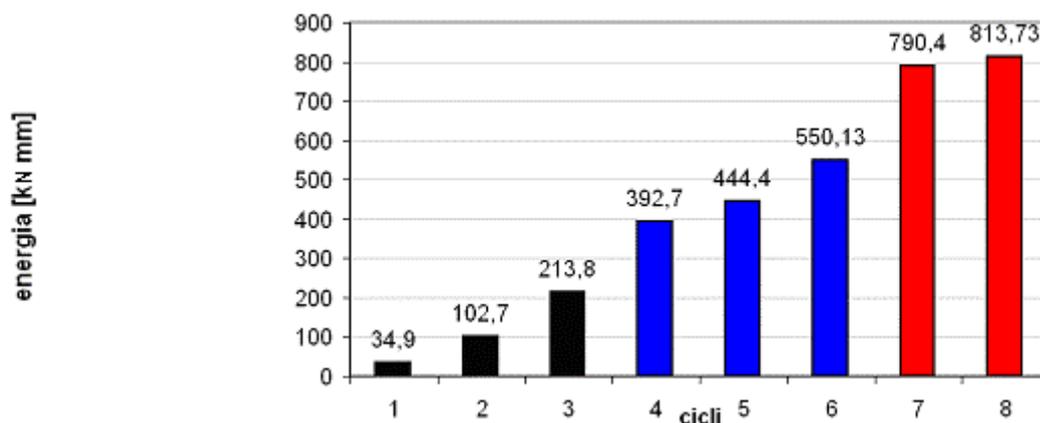


Fig. 4.8 Mt6-0,5L-60: Istogramma dell'energia dissipata durante i cicli.

Il sistema termina la sua corsa a 26mm: il nodo non si rompe, ma raggiunge lo spostamento massimo consentito dagli ingombri (vedi Fig. 4.7).

In corrispondenza dello spostamento limite abbiamo:

Prova	δ_1 max [mm]	Forza [kN]	$\delta_1 - \delta_2$ [mm]	$\delta_2 - \delta_3$ [mm]	$\delta_3 - \delta_4$ [mm]	δ_4 [mm]
Mt6-0,5L-60	26	41,0	11,6 45%	5,8 22%	8,6 33%	0,0 0%

Tab. 4.2 Mt6-0,5L-60: Risultati della prova.

Il contributo preponderante è dovuto allo scorrimento tra il ripartitore del carico e la testa del bullone pari al 45% dello spostamento totale. Poi, in ordine di importanza decrescente troviamo la rotazione della mensola ($\delta_3 - \delta_4$) pari al 33%, la deformazione del bullone di regolazione ($\delta_2 - \delta_3$) pari al 22%, mentre non da contributo lo spostamento orizzontale medio della mensola ($\delta_4 = 0\%$).

Quando lo spostamento δ_1 raggiunge il valore di 20 mm sul grafico si registra l'inizio di una "linea" orizzontale che porta allo spostamento massimo. Analizziamo tre punti della linea:

Prova	δ_1 max [mm]	Forza [kN]	$\delta_1 - \delta_2$ [mm]	$\delta_2 - \delta_3$ [mm]	$\delta_3 - \delta_4$ [mm]	δ_4 [mm]
Mt6-0,5L-60	20,1	40,7	7,6 38%	4,6 23%	7,9 39%	0,0 0%
	22,0	41,0	8,9 41%	4,9 22%	8,2 37%	0,0 0%
	24,0	40,7	10,1 42%	5,4 23%	8,4 35%	0,0 0%

Tab. 4.3 Mt6-0,5L-60: Analisi degli spostamenti di fine prova.

Il comportamento del nodo per spostamenti superiori ai 20 mm è governato dall'attrito tra bullone di regolazione e ripartitore del carico: δ_4 resta nullo, $\delta_3 - \delta_4$ è praticamente costante mentre cresce limitatamente $\delta_2 - \delta_3$ solo (1,2mm in tutto). L'immagine di Fig. 4.9 mostra come il collasso del sistema sia avvenuto per la plasticizzazione del bullone di regolazione con un limitato danneggiamento del concio di pilastro.



Fig. 4.9 Mt6-0,5I-60: Fotografia di fine prova .

4.2.2 Mensola Mt6-0,5L-40

In questa prova il dispositivo mensola Mt6 è testato con un carico verticale ridotto e con bullone di regolazione a metà della sua lunghezza. Questo ci consente di simulare il comportamento sismico della connessione quando l'azione sussultoria del sisma produce un'accelerazione verticale opposta all'accelerazione di gravità. Il carico verticale imposto sulla mensola durante la prova è di 40 kN.

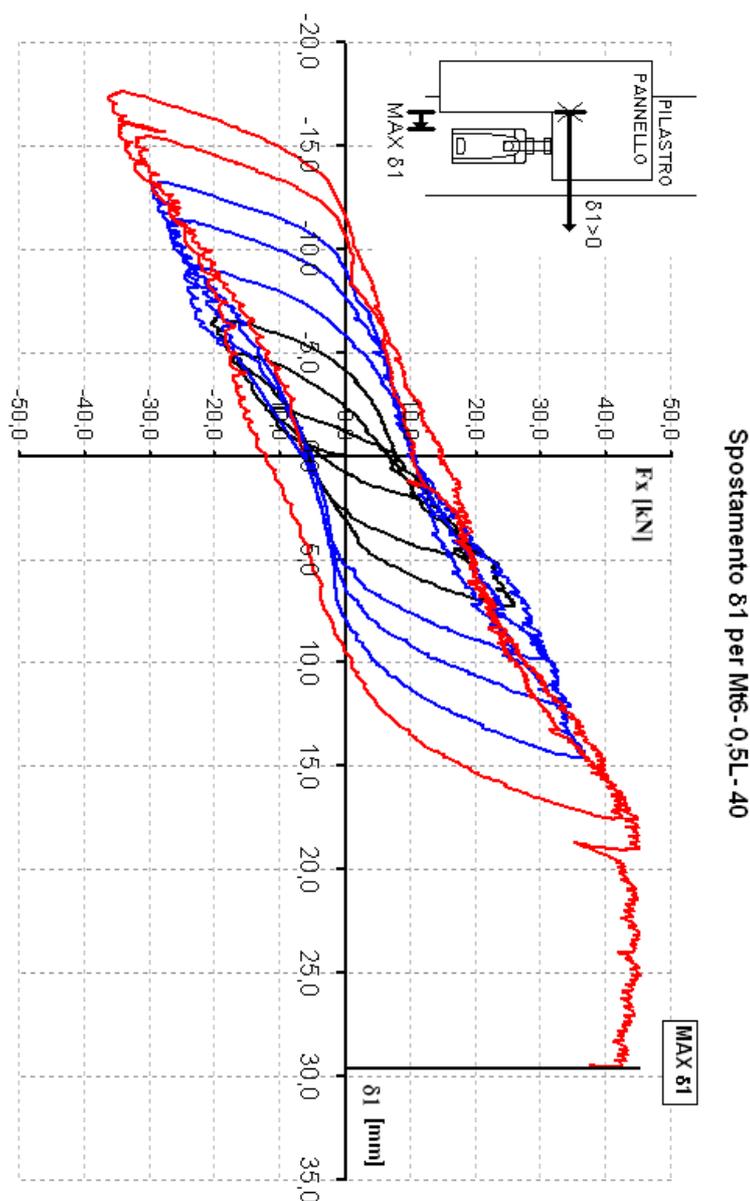


Fig. 4.10 Mt6-0,5L-40: Grafico forza F_x - spostamento δ_1 . In nero sono indicati i primi tre cicli, in blu i cicli dal n°4 al n°6 mentre in rosso i cicli n°7 e n°8.

La rigidezza K del sistema nel primo ciclo della prova è pari a 15 kN/mm.

La forma e la mutazione del legame forza-spostamento ricalca la descrizione fatta per il caso Mt6-0,5L-60; rispetto a tale prova bisogna però evidenziare come ora il grafico sia più appiattito sull'asse delle ascisse e i cicli siano più snelli. Questa nuova situazione penalizza ovviamente la dissipazione di energia:

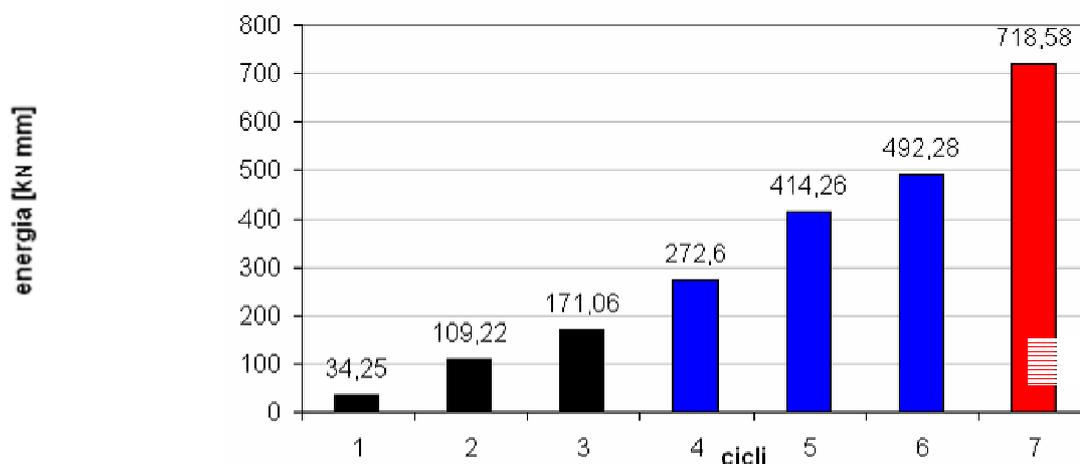


Fig. 4.11 Mt6-0,5L-40: Istogramma dell'energia dissipata durante i cicli.

Durante la prova lo spostamento δ_1 massimo negativo vale 17,6 mm all'ottavo ciclo e la forza massima applicata è di 34,6 kN. Lo spostamento massimo positivo è pari a 29 mm in corrispondenza del quale si raggiunge un carico orizzontale di 43,3kN.

Prova	δ_1 max [mm]	Forza [kN]	$\delta_1 - \delta_2$ [mm]	$\delta_2 - \delta_3$ [mm]	$\delta_3 - \delta_4$ [mm]	δ_4 [mm]
Mt6-0,5L-40	29	43,3	16,2 56%	5,7 20%	7,1 24%	0 0%

Tab. 4.4 Mt6-0,5L-40: Risultati della prova.

L'immagine di Fig. 4.12 mostra come il collasso del sistema sia avvenuto per la plasticizzazione del bullone di regolazione.

Non si rileva la presenza di fessurazione del cls.



Fig. 4.12 Mt6-0,5l-40: Fotografia di fine prova .

4.2.3 Mensola Mt6-0,5L-20

La rigidezza iniziale elastica K al primo ciclo è pari al valore 3,0 kN/mm.

La dissipazione del nodo varia al variare dei cicli secondo la Tabella successiva:

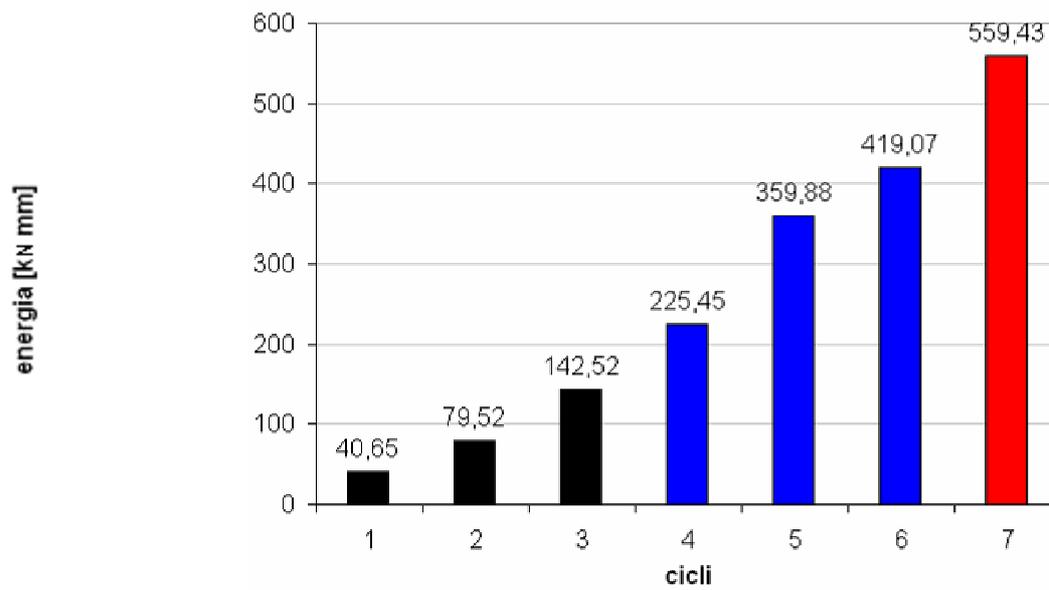


Fig. 4.13 Mt6-0,5L-20: Istogramma dell'energia dissipata durante i cicli.

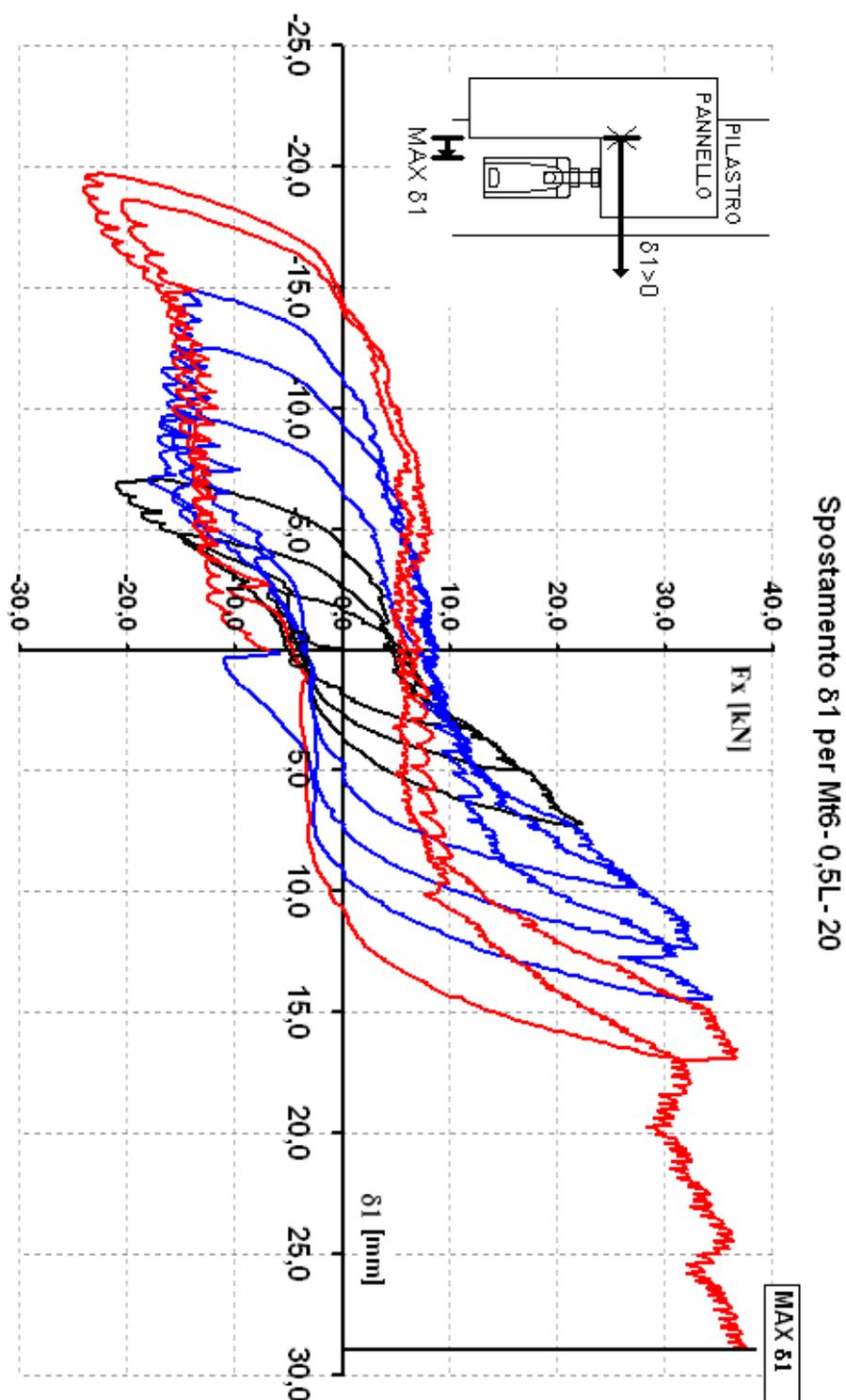


Fig. 4.14 Mt6-0,5L-20: Grafico forza F_x - spostamento $\delta 1$ In nero sono indicati i primi tre cicli, in blu i cicli dal n°4 al n°6 mentre in rosso i cicli n°7 e n°8.



Fig. 4.15 Mt6-0,5L-20: Fotografia di fine prova .

L'immagine di Fig. 4.15 mostra come il collasso del sistema sia avvenuto per scorrimento con una limitata deformazione plastica del bullone di regolazione.

Non si rileva danneggiamento degli elementi strutturali collegati.

4.2.4 Mensola Mt6-1,0L-60

Come descritto nel terzo capitolo, è possibile, agendo sul bullone di regolazione, recuperare gli errori di verticalità legati al mal posizionamento della piastra zancata e del pannello. Ci saranno quindi casi in cui il bullone di regolazione è utilizzato con una estensione maggiore di quella nominale e casi in cui l'estensione sia ridotta.

Ci occupiamo ora del caso in cui il bullone si trovi nella configurazione di massima estensione cioè con estensione V pari all' intera lunghezza L del bullone ($V=1,0L$).

Osservando il grafico forza F_x - spostamento δ_1 relativo a questa possibile geometria di impiego, possiamo notare come si raggiungano spostamenti elevati (superiori ai 3 cm) con forze limitate (meno di 25 kN). Il sistema è meno rigido dei precedenti ($K=10\text{kN/mm}$) perchè risulta ovviamente penalizzato dall'aumento della lunghezza del bullone

Anche la dissipazione di energia è ridotta rispetto ai casi precedenti. In particolare cresce la quota parte dello spostamento δ_2 - δ_3 mentre decresce l'importanza dello spostamento δ_1 - δ_2 .

La dissipazione è quindi più legata all'isteresi elastica dell'acciaio e meno all'attrito tra testa del bullone e ripartitore di carico.

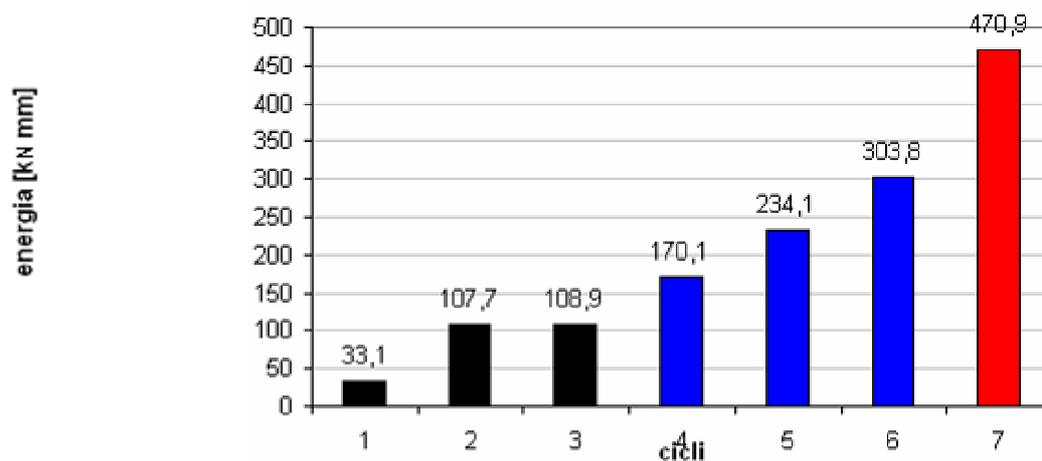


Fig. 4.16 Mt6-1,OL-60: Istogramma dell'energia dissipata durante i cicli.

Anche dalla parte finale del grafico (dai 20mm in poi nel nono ciclo) trapela il diverso comportamento della connessione. La curva segue una parabola discendente tipica dello snervamento metallico mentre nelle altre prove la parte terminale è piatta perché prevale il fenomeno dell'attrito.

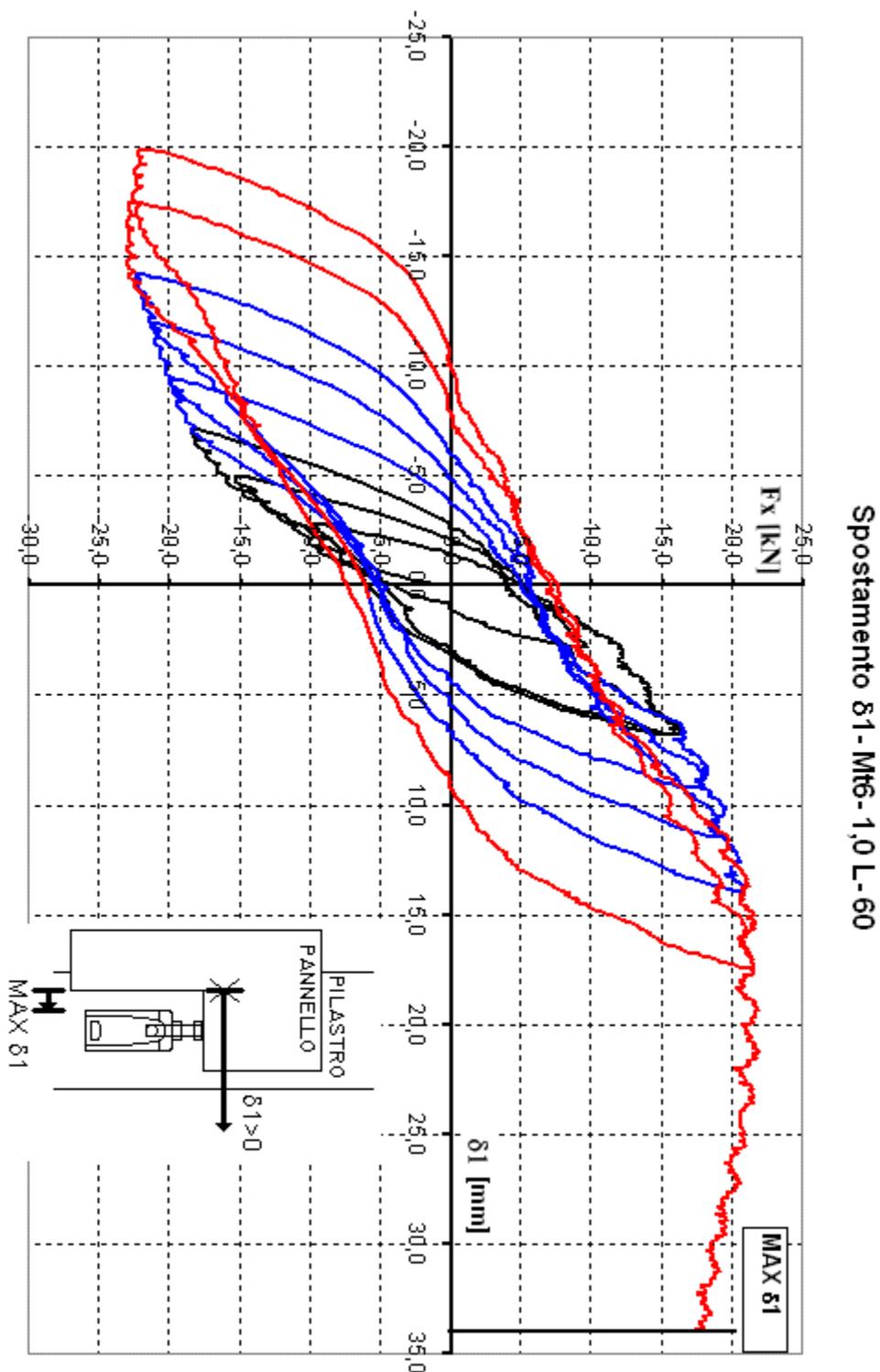


Fig. 4.17 Mt6-1,0L-60: Grafico forza F_x - spostamento δ_1 In nero sono indicati i primi tre cicli, in blu i cicli dal n°4 al n°6 mentre in rosso i cicli n°7 e n° 8.

L'immagine di Fig. 4.18(a) mostra l'accentuata deformazione del bullone di regolazione, e la ridotta usura del ripartitore del carico Fig. 4.18(b) e Fig. 4.18(c).

Non sono presenti danneggiamenti della zigrinatura del bullone, nè fessurazioni nel calcestruzzo.

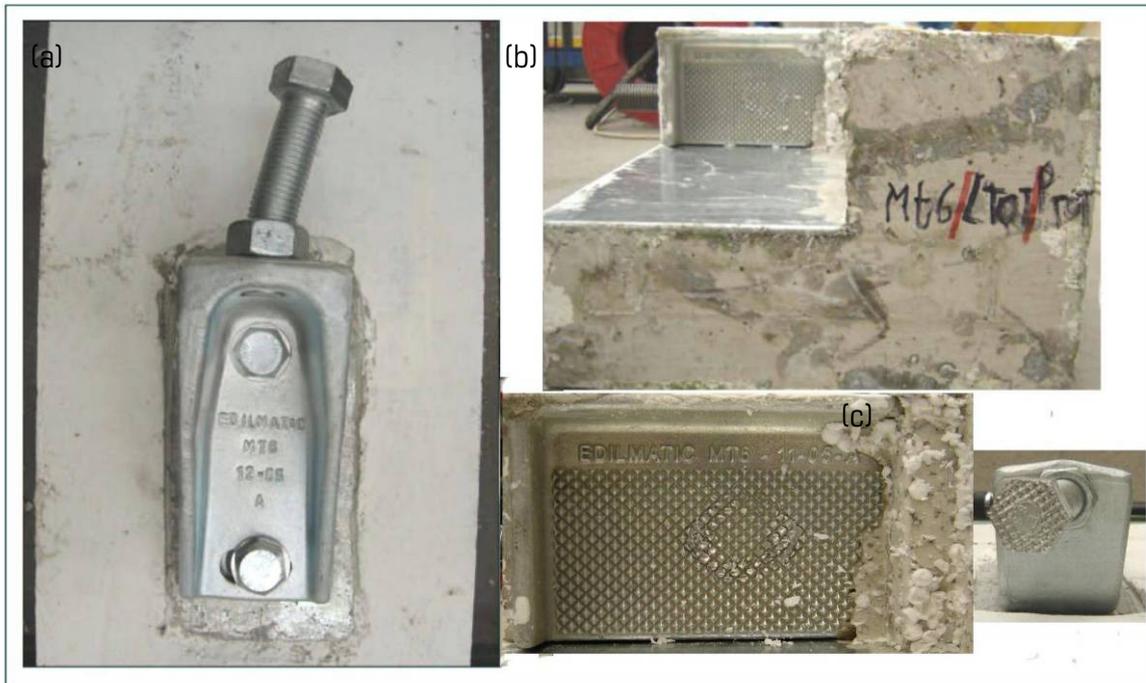


Fig. 4.18 Mt6-1,OL-60: Fotografia di fine prova .

4.2.5 Mensola Mt6-0,0L-60

Questo caso è il duale al precedente, la vite di regolazione è cioè completamente avvitata ($V=0,0L$). La rigidità iniziale K della connessione è la più elevata tra i casi testati essendo pari a 23kN/mm . La riduzione dell'estensione del bullone ha pesanti ripercussioni sul comportamento complessivo del nodo (Fig. 4.21): si noti come i cicli n° 7 e n° 8 abbiano dei tratti centrali a pendenza nulla. La perdita di rigidità è determinata dall'usura della superficie zigrinata del ripartitore di carico, questo si riflette nel legame Forza -spostamento producendo il grafico tipico delle connessioni ad attrito: forza costante per spostamenti incrementati. Nella parti finali dei cicli si assiste ad una brusca ripresa di resistenza perchè il bullone di regolazione incappa nelle parti non ancora danneggiate del ripartitore di carico.

La dissipazione energetica fino al sesto ciclo è superiore agli altri casi testati, solo al settimo ciclo nelle prove Mt6-0,5L-60 e Mt6-0,5L-40 si verifica una dissipazione migliore.

Il successivo diagramma ad organo mostra che dal quinto al settimo ciclo la dissipazione è praticamente costante.

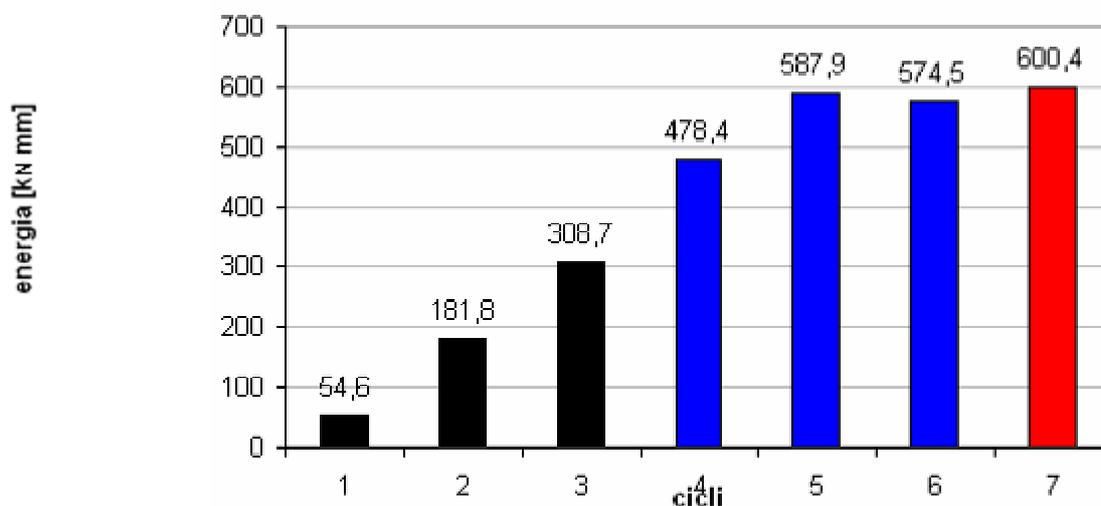


Fig. 4.19 Mt6-0,0L-60: Istogramma dell'energia dissipata durante i cicli.

Il grafico forza F_x - spostamento, δ testimonia l'elevato scorrimento tra pannello e testa del bullone che raggiunge i 18mm ; inoltre i cicli, come già detto per il grafico forza F_x -spostamento δ_1 , sono caratterizzati da una parte centrale piatta che termina con repentine riprese di resistenza in corrispondenza dello spostamento massimo raggiunto nel ciclo precedente.

Questo fenomeno è imputabile al degrado della zigrinatura del ripartitore di carico, infatti appena il bullone supera le posizioni già raggiunte i cicli salgono con ascese di uguale pendenza. L'energia è quindi dissipata principalmente per attrito.

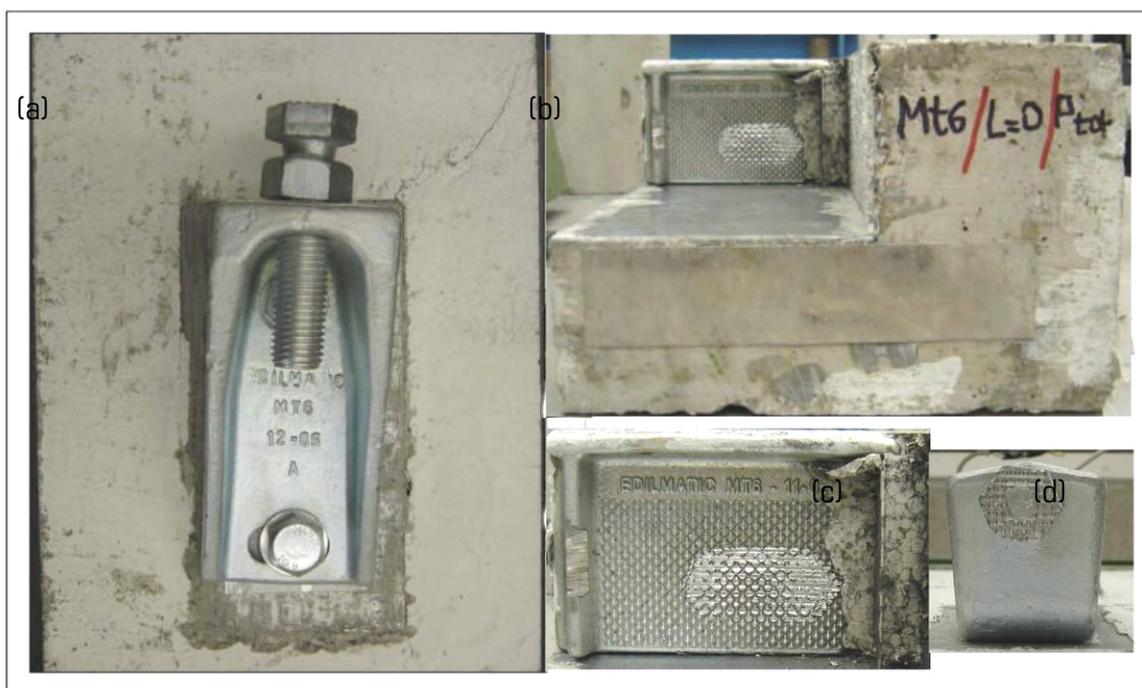
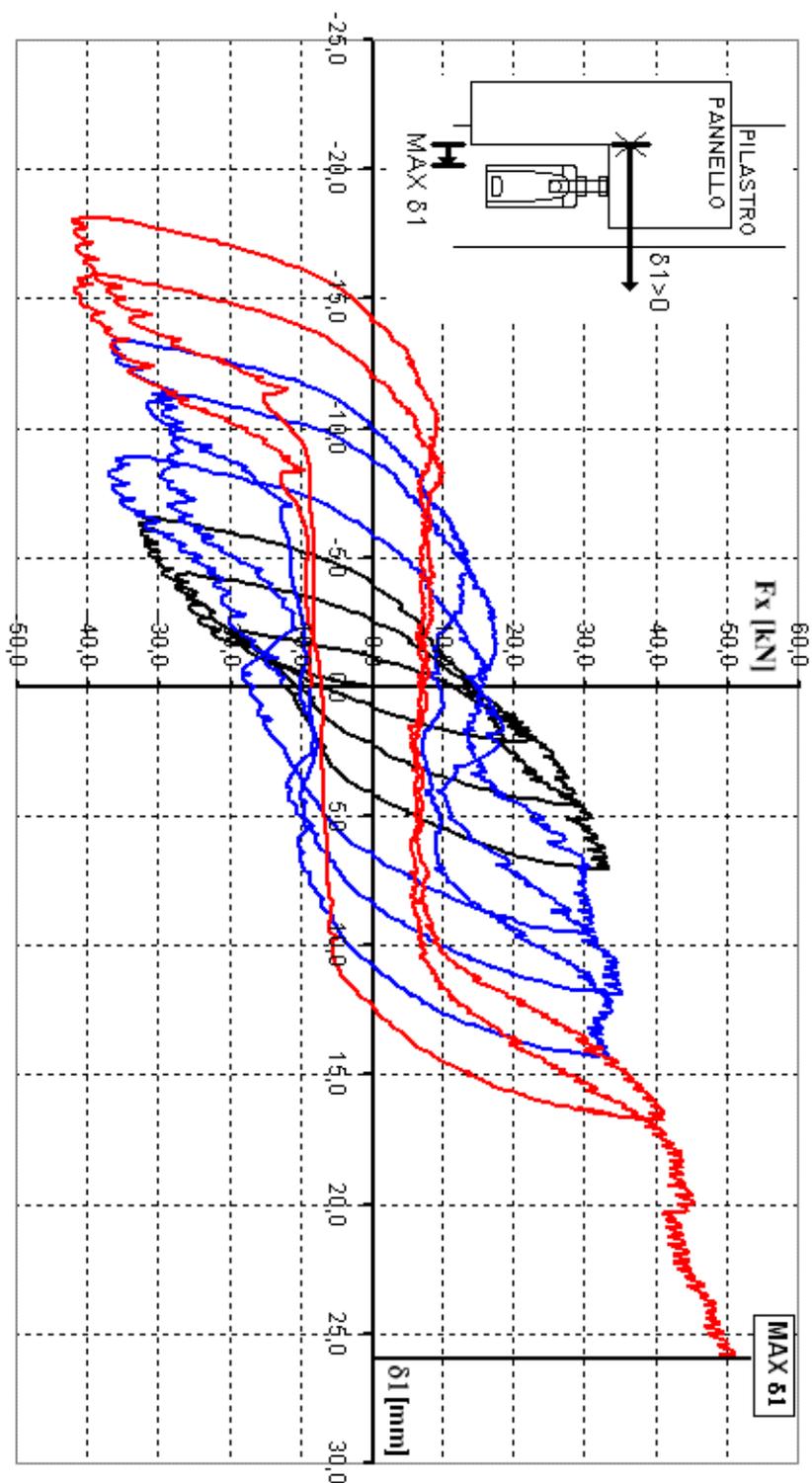


Fig. 4.20 Mt6-0,0L-60: Fotografia di fine prova .

L'immagine di Fig. 4.20(a) evidenzia la rotazione raggiunta dalla mensola nelle fasi finali della prova, Fig. 4.20 (b) e Fig. 4.20 (c) mostrano il consumo del ripartitore. Il danneggiamento degli elementi in cls è molto limitato: si noti una sola fessura a 45° dal vertice superiore della piastra zancata.



Spostamento δ_1 - Mt6 - 0,0L - 60

Fig. 4.21 Mt6-0,DL-60: Grafico forza F_x - spostamento δ_1 . In nero sono indicati i primi tre cicli, in blu i cicli dal n°4 al n°6 mentre in rosso i cicli n°7 e n°8.

4.2.6 Confronto tra le prove su mensole Mt6

Sono di seguito riassunti i principali risultati dei sistemi testati: la Tab. 4.6 è relativa alle forze, agli spostamenti massimi, e alle rigidità. La Tab. 4.7 riporta i valori della dissipazione energetica.

Prova	δ_1 max [mm]	Forza [kN]	K [kN/mm]	δ_1 - δ_2 [mm]	δ_2 - δ_3 [mm]	δ_3 - δ_4 [mm]	δ_4 [mm]	Modalità Collasso
Mt6-0,5L-60	26	41,0	11	11,6 45%	5,8 22%	8,6 33%	0,0 0%	raggiungimento δ_1 max
Mt6-0,5L-40	29	43,3	15	16,2 56%	5,7 20%	7,1 24%	0 0%	raggiungimento δ_1 max
Mt6-0,5L-20	29	37,5	15	21,4 74%	2,2 8%	err. strumentale 18% in tot.		raggiungimento δ_1 max
Mt6-1,0L-60	34	18,8	10	12,5 37%	18,0 53%	2,9 8%	0,6 2%	raggiungimento δ_1 max
Mt6-0,0L-60	26	51,0	23	17,5 68%	4,4 17%	4,8 18%	-0,7 -3%	raggiungimento δ_1 max

Tab..4.5 Riassunto delle prove sui dispositivi Mt6.

Prova	Energia dissipata [kn*mm]=[J]							
	primo ciclo	secondo ciclo	terzo ciclo	quarto ciclo	quinto ciclo	sesto ciclo	settimo ciclo	totale
Mt6-0,5L-60	34,9	102,7	213,8	392,7	444,4	550,13	790,4	2529,0
Mt6-0,5L-40	34,3	109,2	171,1	272,6	414,3	492,3	718,6	2212,4
Mt6-0,5L-20	40,2	79,52	142,52	225,45	359,9	419,1	559,4	1826,1
Mt6-1,0L-60	33,1	107,7	108,9	170,1	234,1	303,8	470,9	1428,6
Mt6-0,0L-60	54,6	181,8	308,7	478,4	587,9	574,5	606,4	2792,3

Tab..4.6 Energia dissipata durante le prove.

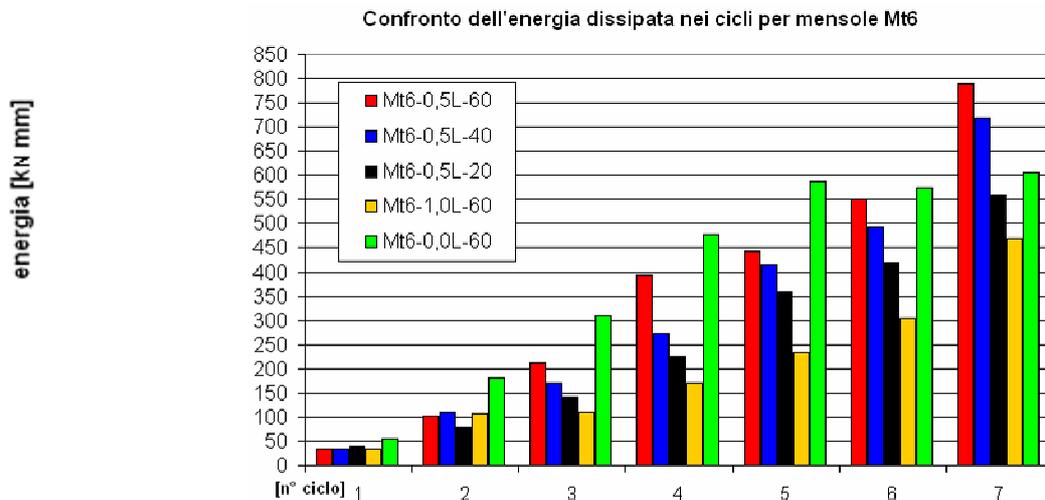


Fig. 4.22 Risultati: Confronto ciclo per ciclo dell'energia dissipata dalle mensole Mt6.

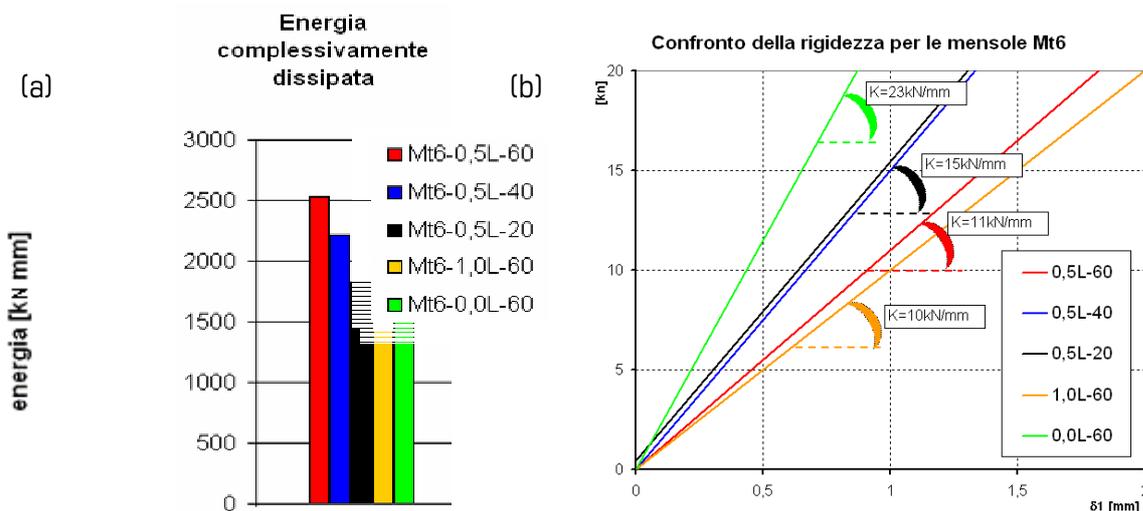


Fig. 4.23 Risultati: (a) Confronto dell'energia complessivamente dissipata dalle mensole Mt6; (b) confronto della rigidezza.

Le forze massime che il sistema può incassare risultano sempre alte: con il bullone di regolazione a metà estensione (0,5L) le forze orizzontali massime sono il 68%, il 72%, il 62% del carico nominale verticale pari a 60kN, rispettivamente con 60kN, 40kN, 20kN di carico verticale applicato. Aumentando l'estensione del bullone (1,0L) la resistenza scende al 31% del carico nominale verticale (60kN), mentre con il bullone completamente accorciato (0,0L) si raggiunge l'85%.

La rigidezza (K) risulta anch'essa molto condizionata dalla configurazione del sistema: varia da 10kN/mm a 23kN/mm.. A parità di estensione del bullone (0,5L) l'energia dissipata è maggiore per i carichi verticali elevati, mentre a parità di carico (60kN) aumenta al diminuite dell'estensione del bullone: 2792,5 kN*mm con 0,0L , solo 1428,1 kN*mm con 1,0L.

Lo scorrimento tra pannello e testa del bullone ($\delta_1 - \delta_2$) aumenta per i carichi verticali ridotti (fino a 21,4mm per il sistema Mt6-0,5L-20), e così pure cresce quando diminuisce l'estensione del bullone (oltre 17mm per Mt6-0,0L-60) per il danneggiamento della superficie zigrinata. Lo spostamento $\delta_2 - \delta_3$ presenta invece il valore maggiore nella prova con bullone in completa estensione (1,0L) perchè in questa che si verifica la più evidente deformazione del bullone, seguono i casi con 0,5L e con 0,0L.

4.2.7 Mensola Mt9-0,5L-90

Le modalità di prova delle mensole Mt9 sono analoghe a quelle già viste per le Mt6: cicli a spostamenti impressi di ampiezza crescente (2,5mm ad ogni ciclo). Il numero dei provini testati è ridotto perchè rispetto al sistema Mt6 non si considerano i due casi con bullone di regolazione in completa estensione (1,0L) e in completo accorciamento (0,0L). Abbiamo quindi tre sole prove con bullone di regolazione a metà estensione (0,5L) e carico verticale pari a 90kN, 60kN e 30kN.

Utilizzando la parte iniziale del primo ciclo si determina la rigidezza K del sistema Mt9-0,5L-90: otteniamo un valore di K pari a 30 kN/mm.

In Fig. 4.24 si riporta il grafico relativo alla dissipazione energetica del sistema.

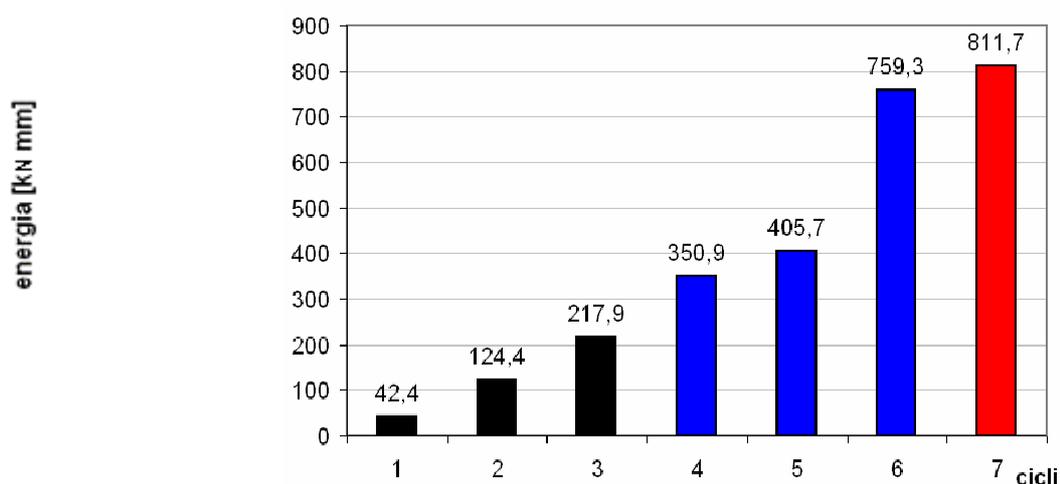


Fig. 4.24 Mt9-0,5L-90: Istogramma dell'energia dissipata durante i cicli.

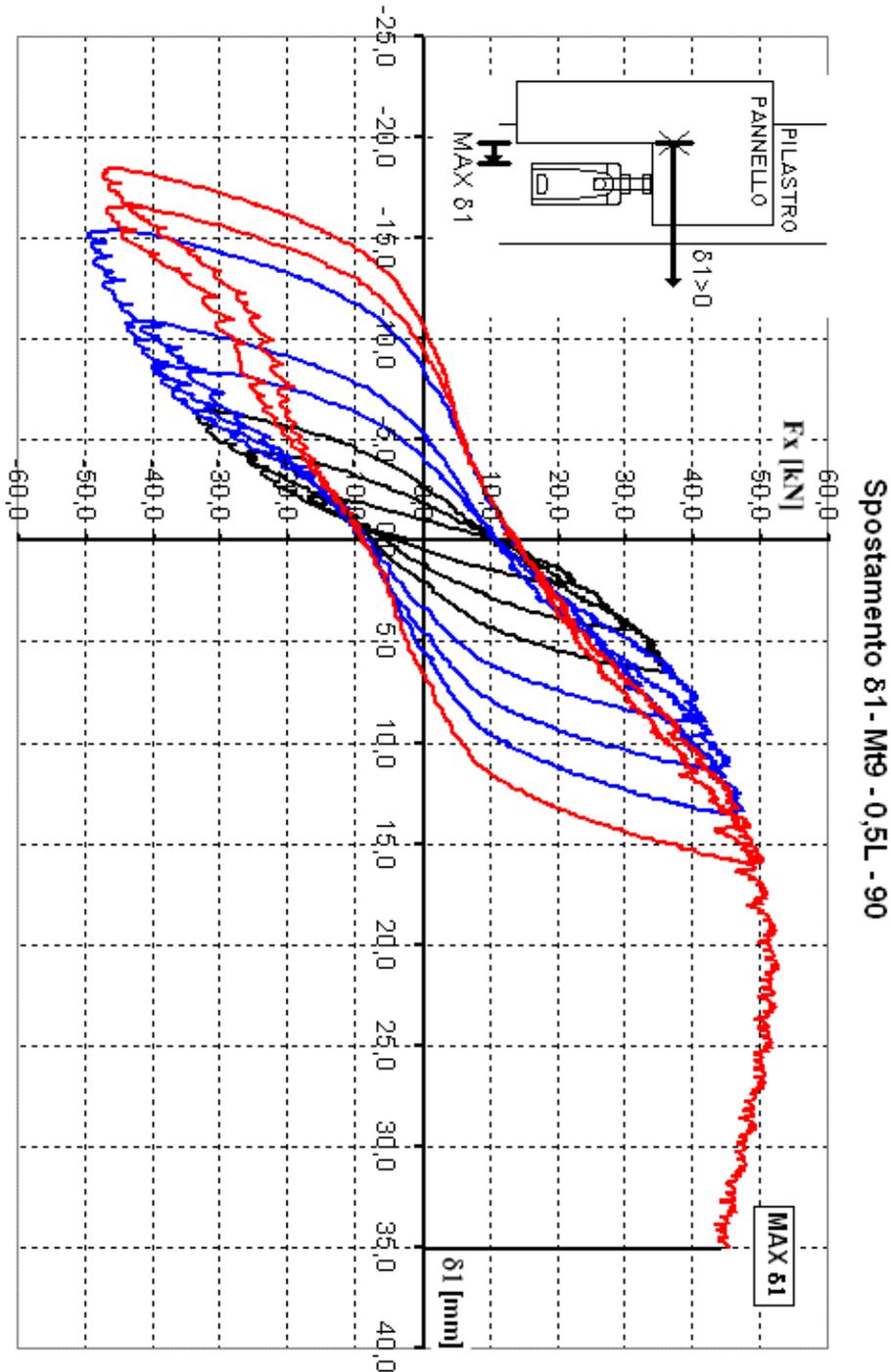


Fig. 4.25 Mt9-0,5L-90: Grafico forza F_x - spostamento δ_1 . In nero sono indicati i primi tre cicli, in blu i cicli dal n°4 al n°6 mentre in rosso i cicli n°7 e n°8.

La prova termina quando lo spostamento del pannello δ_1 raggiunge il valore massimo di 35mm con la rottura per plasticizzazione del bullone (vd. ig. 4.26). la Tabella successiva mostra i valori delle grandezze caratteristiche alla fine della prova.

Prova	δ_1 max [mm]	Forza [kN]	δ_1 - δ_2 [mm]	δ_2 - δ_3 [mm]	δ_3 - δ_4 [mm]	δ_4 [mm]
Mt9-0,5L-90	35	43,8	11,2 32%	15,5 44%	8,0 23%	0,4 1%

Tab. 4.7 Mt9-0,5L-90: Risultati della prova.

Entrambi i grafici risultano antisimmetrici e manifestano una evoluzione regolare.



Fig. 4.26 Mt9-0,5L-00: Fotografia di fine prova .

4.2.8 Mensola Mt9-0,5L-60

La rigidezza K del sistema mensola Mt9 con bullone di regolazione a metà estensione, nel caso in cui su di esso agisca una forza verticale di 60kN, è pari a 25kN/mm.

La dissipazione energetica è rappresentata nel grafico successivo.

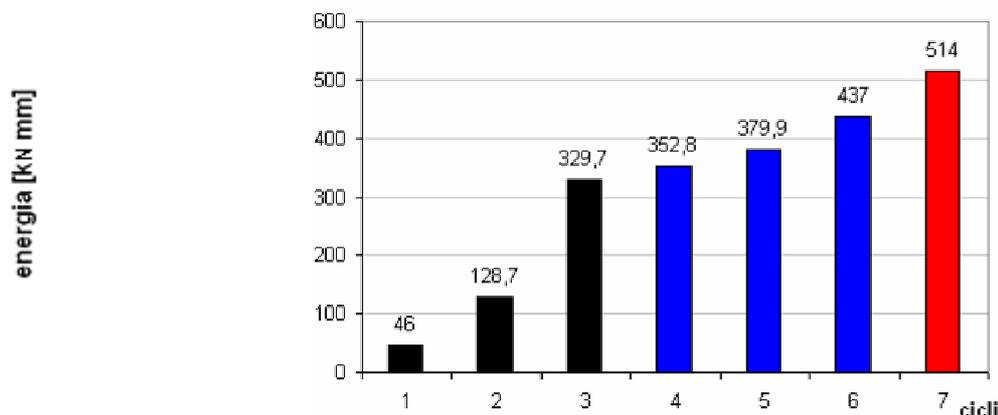


Fig. 4.27 Mt9-0,5L-60: Istogramma dell'energia dissipata durante i cicli.

Anche in questo caso lo spostamento massimo risulta limitato a 35mm. In corrispondenza di tale valore abbiamo:

Prova	δ_1 max [mm]	Forza [kN]	$\delta_1 - \delta_2$ [mm]	$\delta_2 - \delta_3$ [mm]	$\delta_3 - \delta_4$ [mm]	δ_4 [mm]
Mt9-0,5L-60	35	46,8	8,7 25%	14,1 40%	15,1 43%	-3 -8%

Tab. 4.8 Mt9-0,5L-60: Risultati della prova.

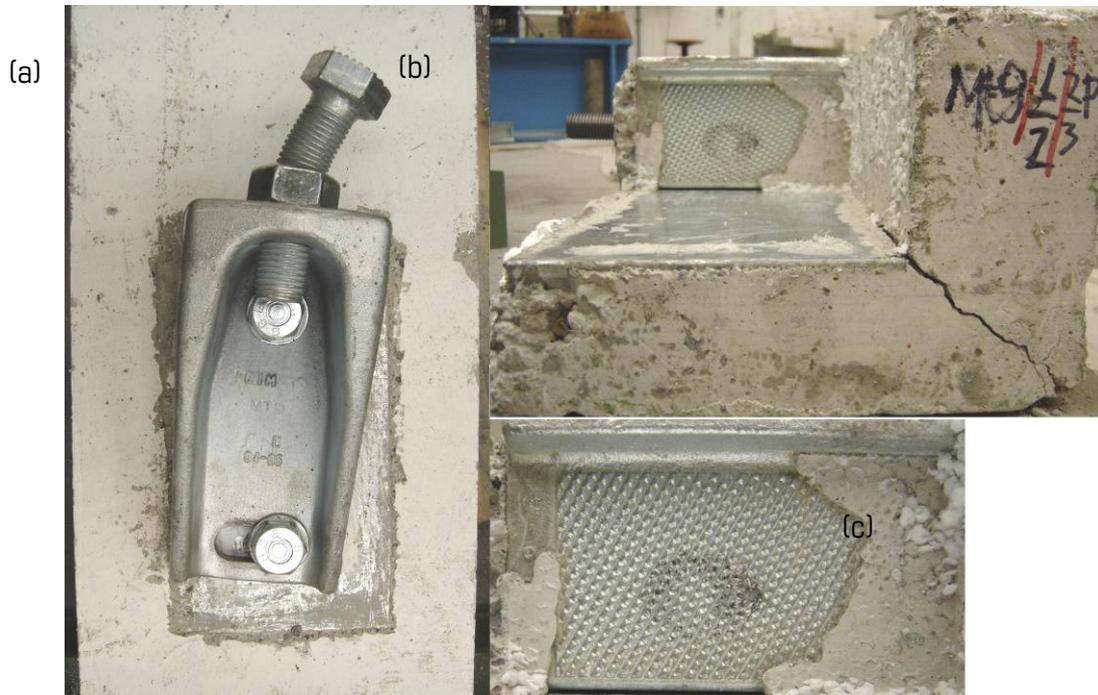


Fig. 4.28 Mt9-0,5L-60: Fotografia di fine prova .

In Fig. 4.28 (b) possiamo notare la rottura del concio di pannello che è avvenuta nelle fasi finali della prova quando il pannello stesso è andato a spingere contro il corpo della mensola in seguito alla rotazione della mensola. Il collasso del sistema è comunque governato dalla plasticizzazione del bullone.

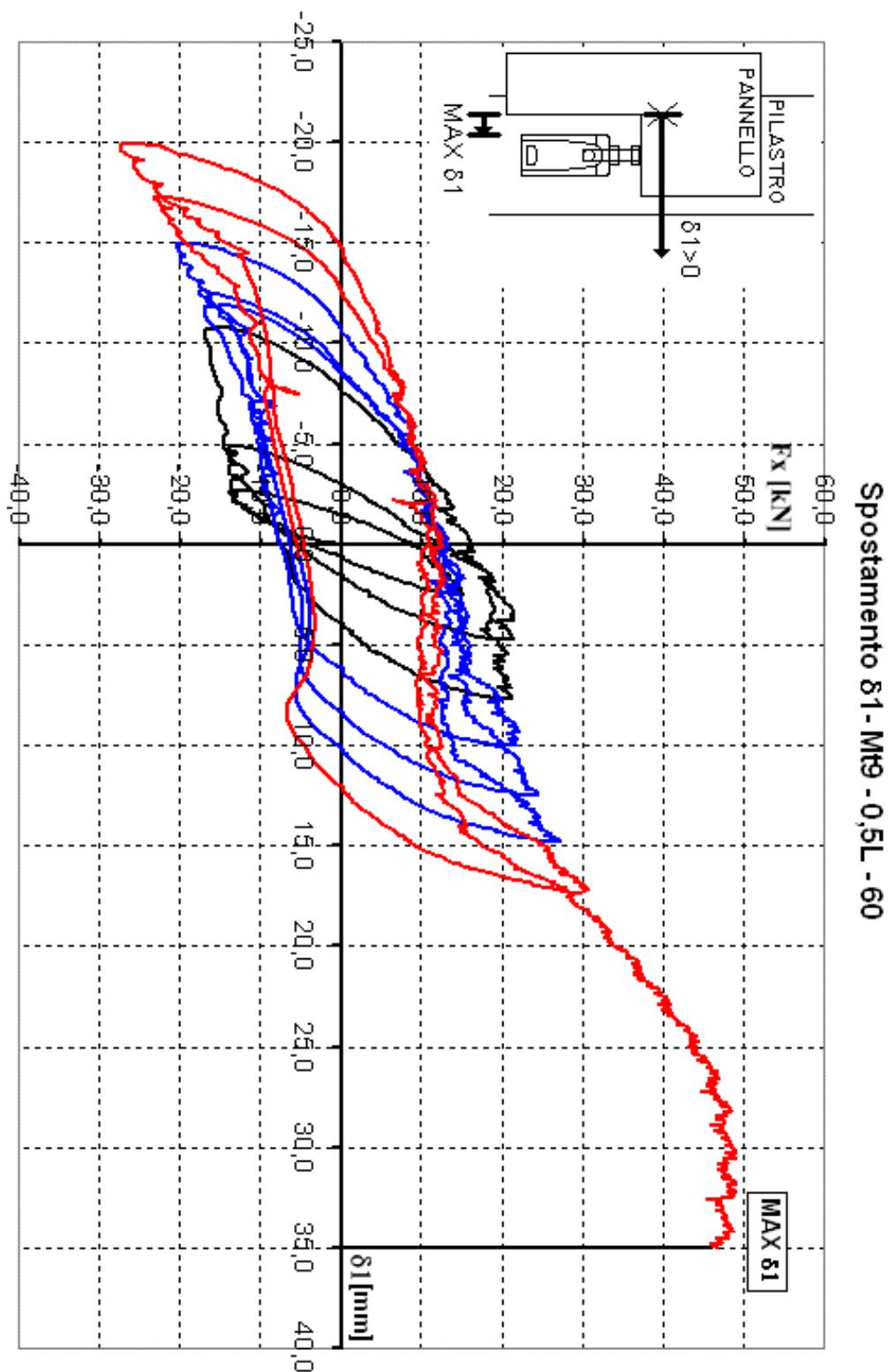


Fig. 4.29 Mt9-0,5L-60: Grafico forza F_x - spostamento δ_1 . In nero sono indicati i primi tre cicli, in blu i cicli dal n°4 al n°6 mentre in rosso i cicli n°7 e n°8.

4.2.9 Mensola Mt9-0,5L-30

Nella prova con carico verticale ridotto a 30 kN il valore della rigidezza K è pari a 20kN/mm.

Il nodo dissipa energia secondo il grafico di Fig. . 4.73.

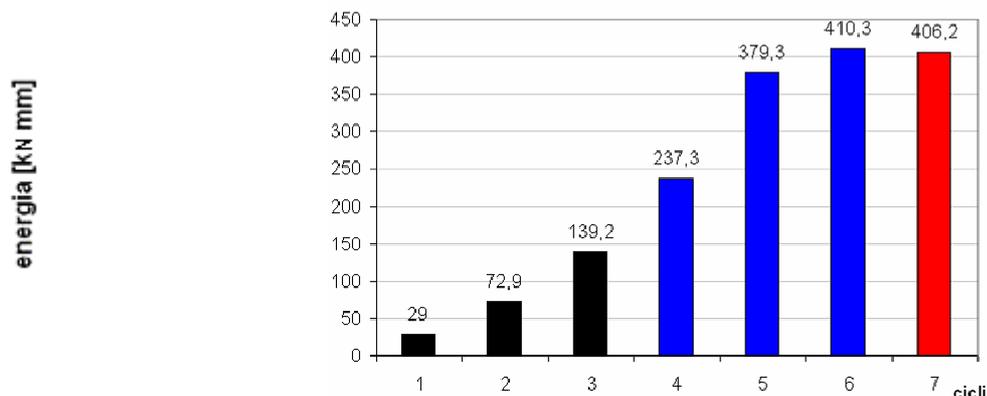


Fig. 4.30 Mt9-0,5L-30: Istogramma dell'energia dissipata durante i cicli.

In corrispondenza dello spostamento massimo δ_1 si verifica la condizione riassunta nella Tabella sottostante.

Prova	δ_1 max [mm]	Forza [kN]	$\delta_1 - \delta_2$ [mm]	$\delta_2 - \delta_3$ [mm]	$\delta_3 - \delta_4$ [mm]	δ_4 [mm]
Mt9-0,5L-30	30	31,4	13,7 45%	8,0 26%	14,1 47%	-5,8 -18%

Tab. 4.9 Mt9-0,5L-30: Risultati della prova.

Il grafico di Figura 4.31 evidenzia come la dissipazione del sistema sia di tipo attritivo.

Si può notare che la riduzione del carico verticale a soli 30kN comporta uno scorrimento maggiore tra la testa del bullone e il pannello. Il collasso è avvenuto per lo scorrimento del pannello con il bullone ancora in fase elastica (Fig. 4.31).

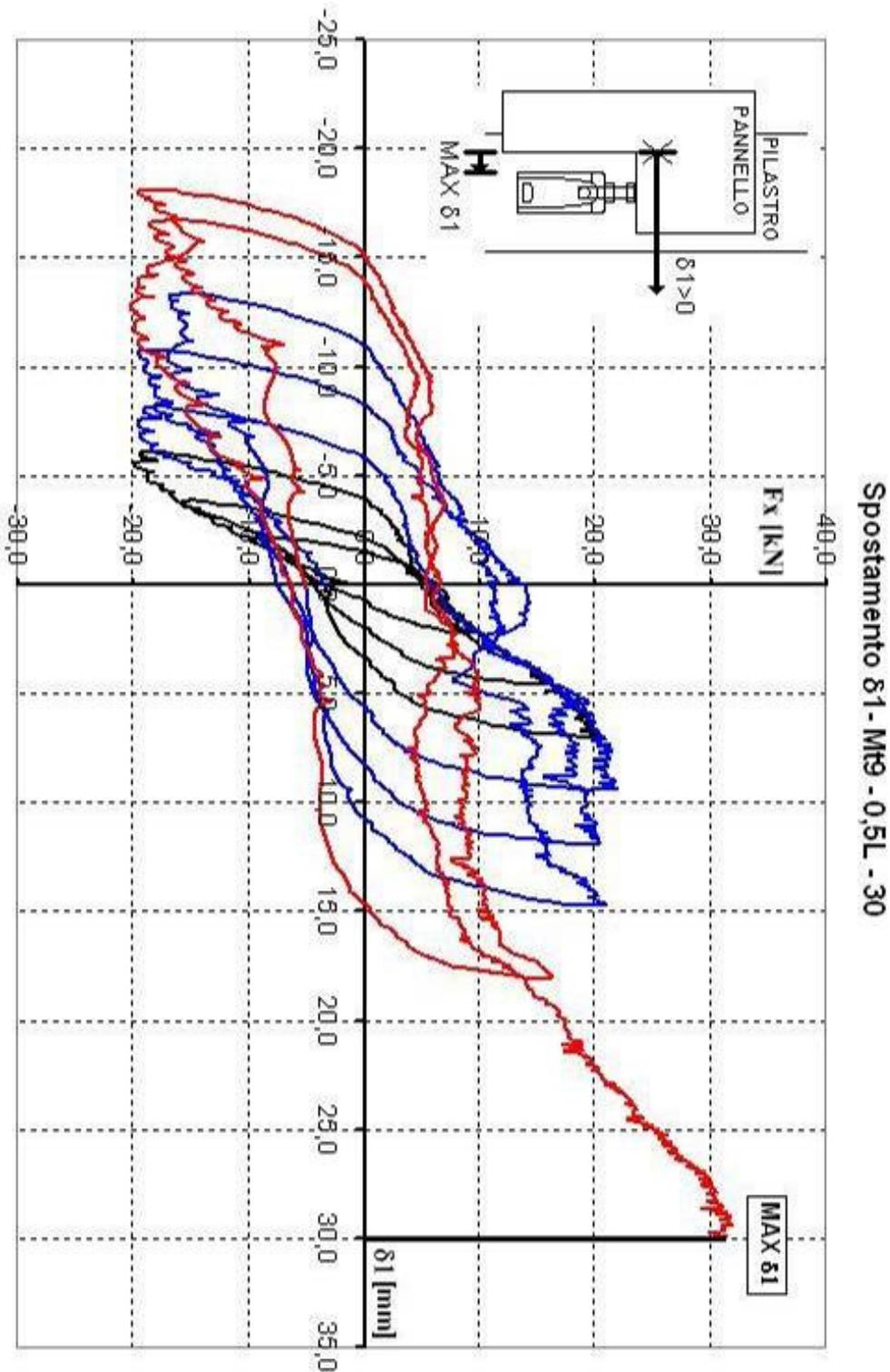


Fig. 4.30 Mt9-0,5L-30: Grafico forza F_x - spostamento $\delta 1$. In nero sono indicati i primi tre cicli, in blu i cicli dal n°4 al n°6 mentre in rosso i cicli n°7 e n° 8.



Fig. 4.31 Mt9-0,5L-30: Fotografia di fine prova .

Come potevamo già leggere nella Tabella precedente il valore dello δ_1 è sensibilmente ridotto rispetto al caso precedente (è passato dal 40% al 26%) ma l'immagine ci fornisce anche un'altra informazione: la variazione è dovuta più alla rotazione della mensola (modifica) che alla deformazione del bullone.

4.2.10 Confronto tra le prove su mensole Mt9

Sono di seguito riassunte le principali caratteristiche dei provini testati, la Tab. 4.11 è relativa alle forze, agli spostamenti massimi, e alle rigidzze.

La Tab. 4.12 riporta i valori della dissipazione energetica.

Prova	δ_1 max [mm]	Forza [kN]	[kN/mm]	$\delta_1 - \delta_2$ [mm]	$\delta_2 - \delta_3$ [mm]	$\delta_3 - \delta_4$ [mm]	δ_4 [mm]	Modalità Collasso
Mt9- 0,5L-90	35	43,8	30	11,2 32%	15,5 44%	8,0 23%	0,4 1%	raggiungimento δ_1 max
Mt9- 0,5L-60	35	46,8	25	8,7 25%	14,1 40%	15,1 43%	-3 -8%	raggiungimento δ_1 max
Mt9- 0,5L-30	30	31,4	20	13,7 45%	8,0 26%	14,1 47%	-5,8 -18%	raggiungimento δ_1 max

Tab..4.10 Riassunto delle prove sui dispositivi Mt9.

Prova	Energia dissipata [kn*mm]=[J]							
	primo ciclo	secondo ciclo	terzo ciclo	quarto ciclo	quinto ciclo	sesto ciclo	settimo ciclo	totale
Mt9-0,5L-90	42,4	124,4	217,9	350,9	405,7	759,3	811,7	2712,3
Mt9-0,5L-60	46,0	128,7	329,7	352,8	379,9	437,0	514,0	2188,1
Mt9-0,5L-30	29,0	72,9	139,2	237,3	379,3	410,3	406,2	1674,1

Tab..4.11 Energia dissipata durante le prove.

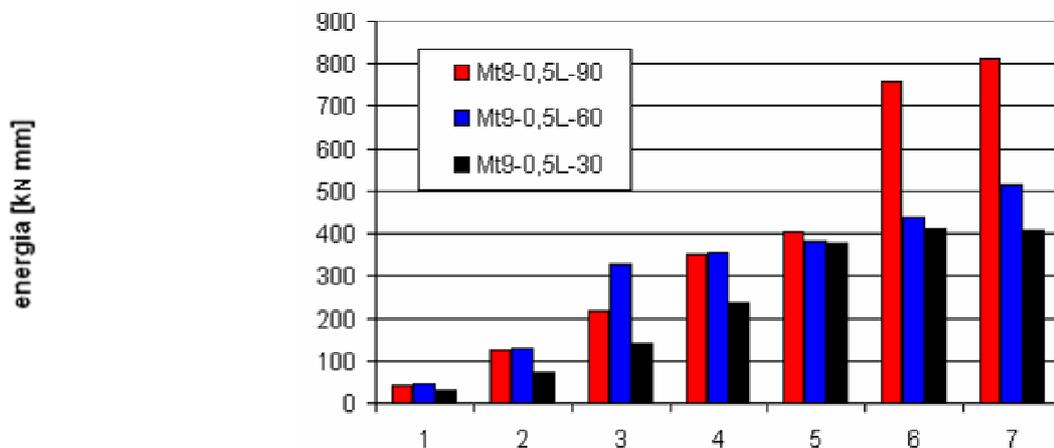


Fig. 4.32 (a) Confronto curva forza F_x - spostamento δ_1 all'ultimo ciclo; (b) energia dissipata durante i cicli per mensole Mt9

Lo spostamento massimo che il sistema è capace di incassare (δ_1 max) è molto elevato in tutte e tre le prove (oltre 3cm) . Le forze orizzontali a cui il sistema è capace di opporsi risultano molto elevate (nell'ordine dei 50 kN) nelle prove con carico verticale di 90kN e 60kN, mentre subiscono una brusca riduzione (solo 31 kN) quando il carico verticale è pari a 30kN.

La rigidezza iniziale dei tre sistemi è condizionata dal carico verticale agente, in particolare si osserva che diminuisce al diminuire del carico applicato passa dai 30 kN/mm della prova con 90 kN ai 20kN/mm della prova con 30kN.

Anche l'energia dissipata segue la stessa tendenza: si riduce al ridursi del carico verticale agente.

4.2.11 Mensola Mt4-0,5L-40

Le prove sulle mensole Mt4 sono uguali a quelle fatte per le Mt9: sono testati tre sistemi di supporto con tre diversi valori di carico verticale (40kN, 27kN e 13kN) mentre il bullone di regolazione è sempre a metà della sua estensione (0,5L).

Si utilizza la parte iniziale del primo ciclo per determinare la rigidezza K del sistema Mt4-0,5L-40, otteniamo un valore di K pari a 12 kN/mm.

Riportiamo il grafico relativo alla dissipazione di energia avvenuta durante la prova.

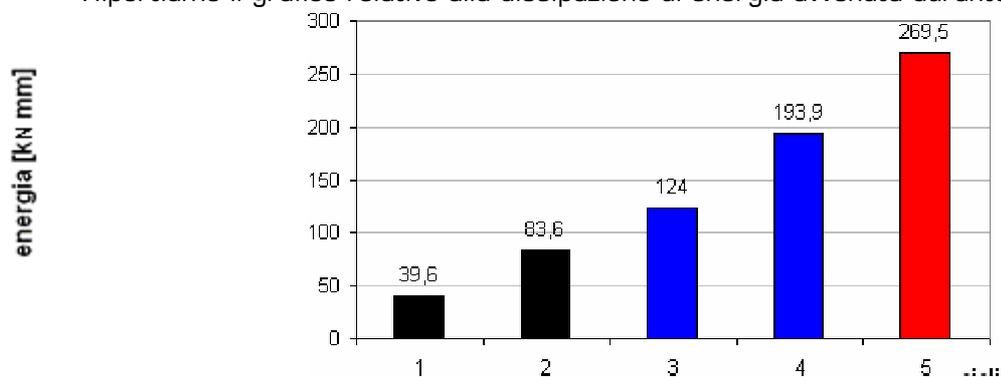


Fig. 4.33 Mt4-0,5L-40: Istogramma dell'energia dissipata durante i cicli.

In corrispondenza dello spostamento massimo δ_1 abbiamo:

Prova	δ_1 max [mm]	Forza [kN]	$\delta_1 - \delta_2$ [mm]	$\delta_2 - \delta_3$ [mm]	$\delta_3 - \delta_4$ [mm]	δ_4 [mm]
Mt4-0,5L-40	11,9	30,5	3,1 26%	4,3 36%	4,7 40%	-0,2 -2%

Tab. 4.11 Mt4-0,5L-40: Risultati della prova

La Fig. 4.34 mostra che il grafico forza F_x -spostamento δ_1 è perfettamente antisimmetrico; questo è sicuramente un buon indice di comportamento per il nodo perché significa che il degrado del sistema avviene con regolarità e senza perdite improvvise di resistenza.

Il collasso è avvenuto per lo scorrimento del pannello con il bullone in campo elastico.

Al termine della prova il bullone di regolazione non riporta delle evidenti deformazioni. Sul ripartitore di carico è invece presente l'impronta della testa del bullone i cui contorni mossi testimoniano il consumo della zigrinatura (Fig. 4.35(b e c)).

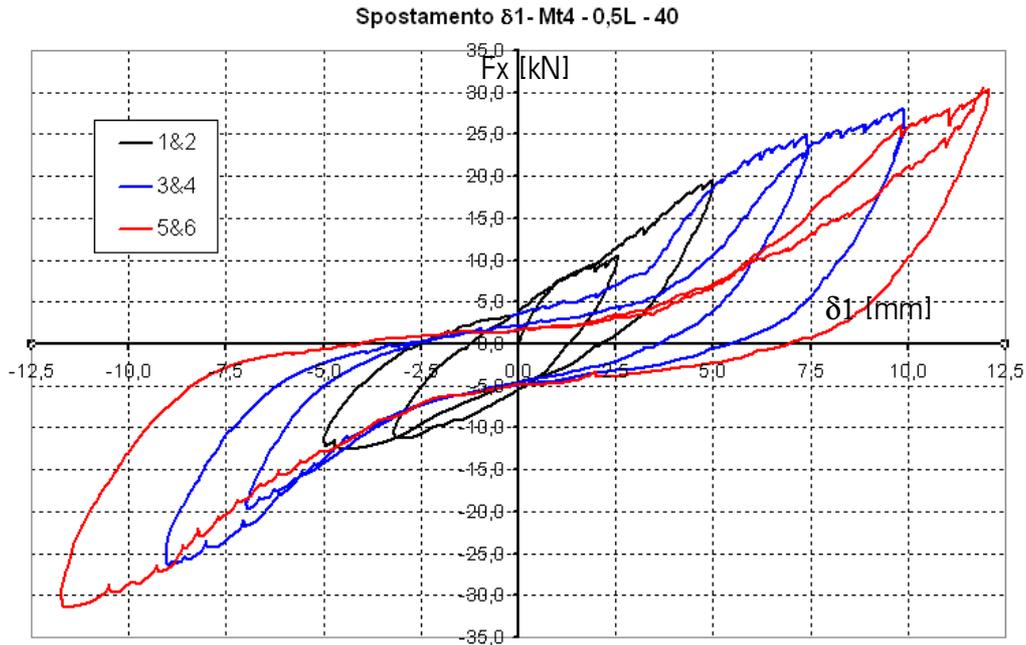


Fig. 4.34 Mt4-0,5L-40: Grafico forza F_x - spostamento δ_1 . In nero sono indicati i primi due cicli, in blu i cicli dal n°3 e n°4, in rosso i cicli n°5 e n°6.

Lo scorrimento relativo tra pannello e bullone ($\delta_1 - \delta_2$) avviene in modo simmetrico rispetto alla posizione iniziale.

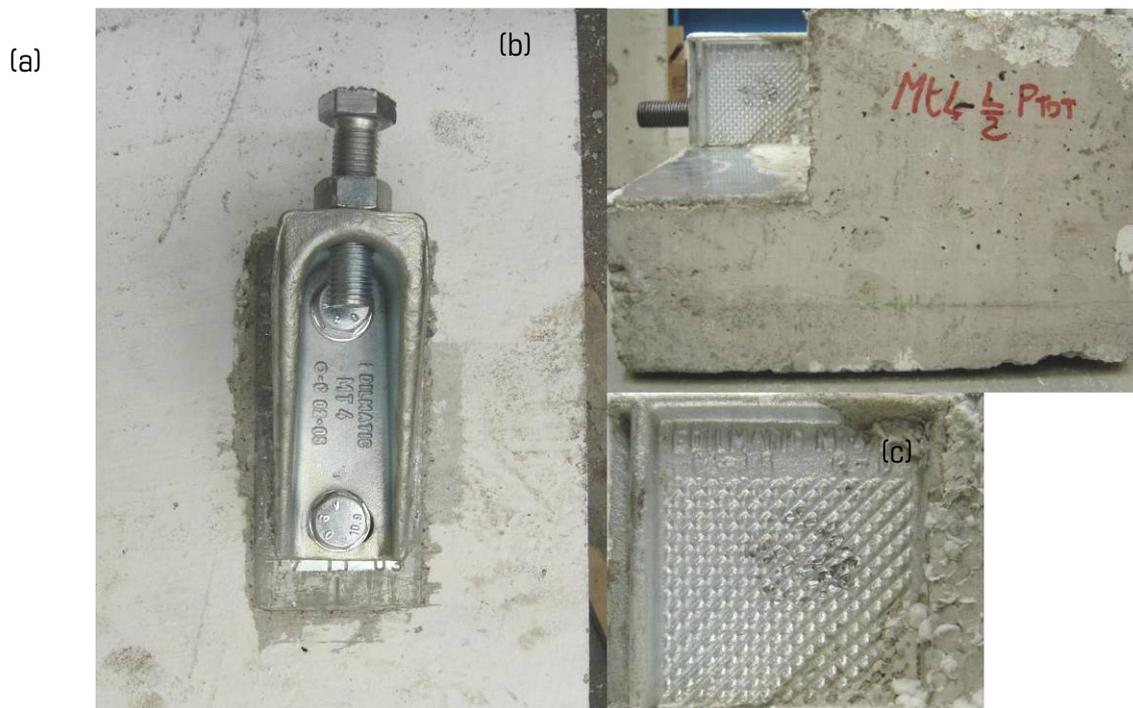


Fig. 4.35 Fotografia di fine prova.

4.2.12 Mensola Mt4-0,5L-27

La prova consiste in sei cicli di ampiezza crescente (2,5mm a ciclo) che portano il pannello allo spostamento massimo di 12,5mm. Vengono poi eseguiti altri tre cicli alla massima ampiezza. I carichi verticali agenti durante la prova sono ridotti a 27kN.

La rigidità iniziale elastica del sistema è pari a 13kN/mm.

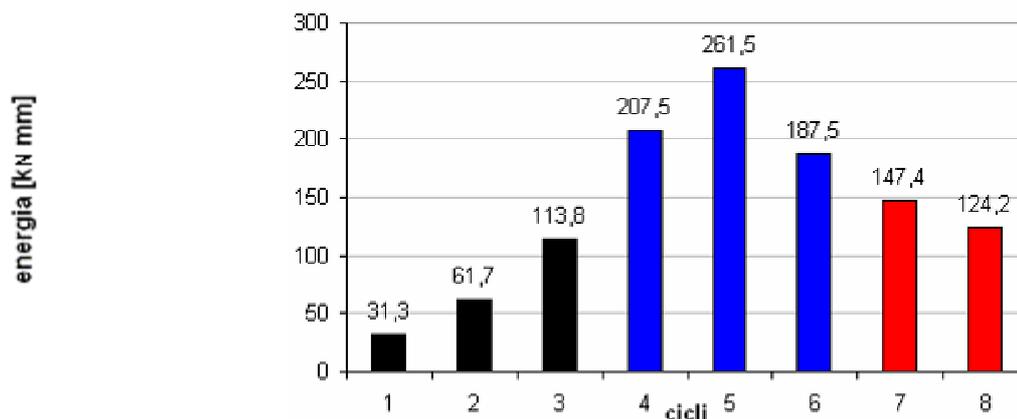


Fig. 4.36 Mt4-0,5L-27: Istogramma dell'energia dissipata durante i cicli.

Come ci si poteva attendere, la riduzione della forza normale e quindi dell'attrito genera l'incremento dello scorrimento relativo tra $\delta_1 - \delta_2$ (oltre 9 mm di scorrimento massimo). Questo fenomeno che si esalta nei cicli di numero più alto (quelli rossi) ne produce l'appiattimento (Fig. 4.37).

Il pannello raggiunge lo spostamento massimo al nono ciclo quando δ_1 raggiunge il valore di 12,5mm; la Tabella 4.12 riassume la situazione in corrispondenza di tale spostamento.

Il collasso è avvenuto per lo scorrimento del pannello con il bullone in campo elastico.

Al termine della prova il bullone di regolazione non riporta delle evidenti deformazioni. Sul ripartitore di carico è invece presente l'impronta della testa del bullone i cui contorni mossi testimoniano il consumo della zigrinatura (Fig. 4.38(b e c)).

Prova	δ_1 max [mm]	Forza [kN]	$\delta_1 - \delta_2$ [mm]	$\delta_2 - \delta_3$ [mm]	$\delta_3 - \delta_4$ [mm]	δ_4 [mm]
Mt4-0,5L-27	12,5	20,3	6,2 50%	3,8 30%	1,6 13%	0,9 7%

Tab 4.12 Mt4-0,5L-27: Risultati della prova.

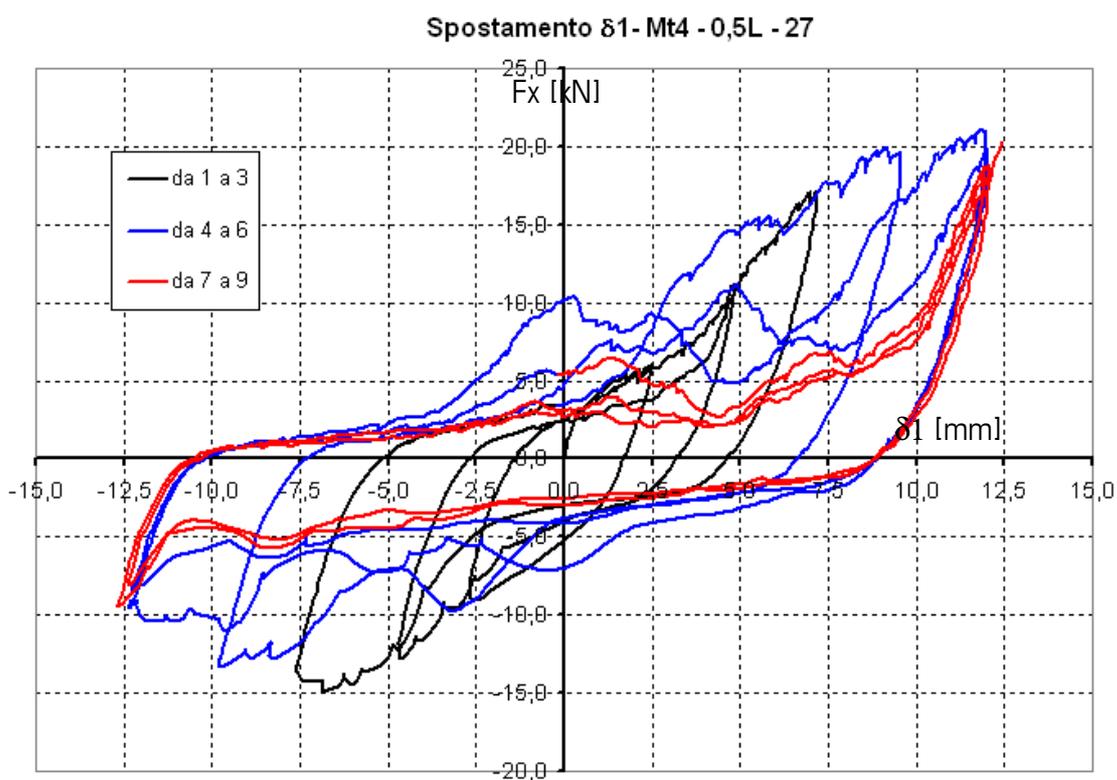


Fig. 4.37 Mt4-0,5L-27: Grafico forza F_x - spostamento δ_1 . In nero sono indicati i primi tre cicli, in blu i cicli dal n°4 e n°6, in rosso i cicli dal n°7 e n°9.



Fig. 4.38 Mt4-0,5L-27: Fotografia di fine prova.

4.2.13 Mensola Mt4-0,5L-13

Con riferimento al primo ciclo di prova del sistema Mt4-0,5L-13 possiamo stimare la rigidezza in 11kN/mm. Il sistema dissipa energia interamente per attrito.

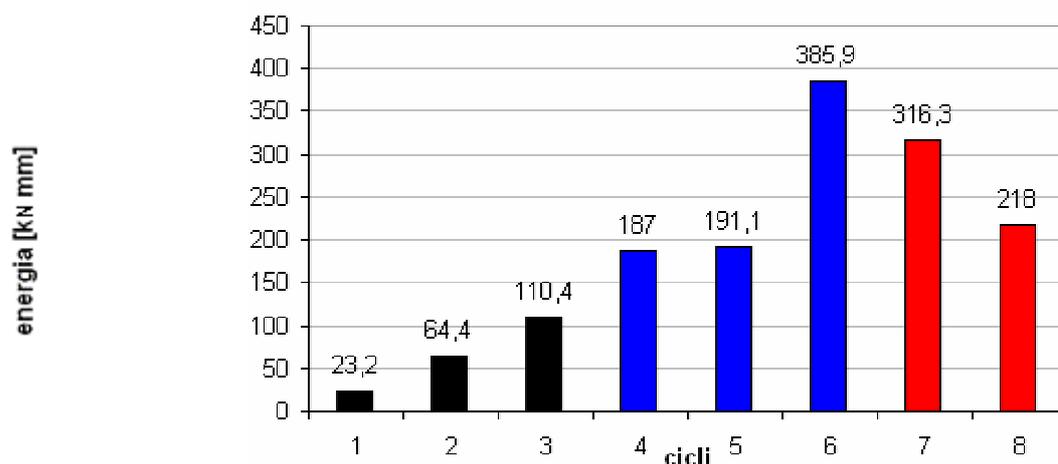


Fig. 4.39 Mt4-0,5L-13: Istogramma dell'energia dissipata durante i cicli.

Anche per questa prova si prevedono sei cicli di ampiezza crescente e tre cicli finali alla massima ampiezza raggiunta (quelli rossi in Fig. 4.39).

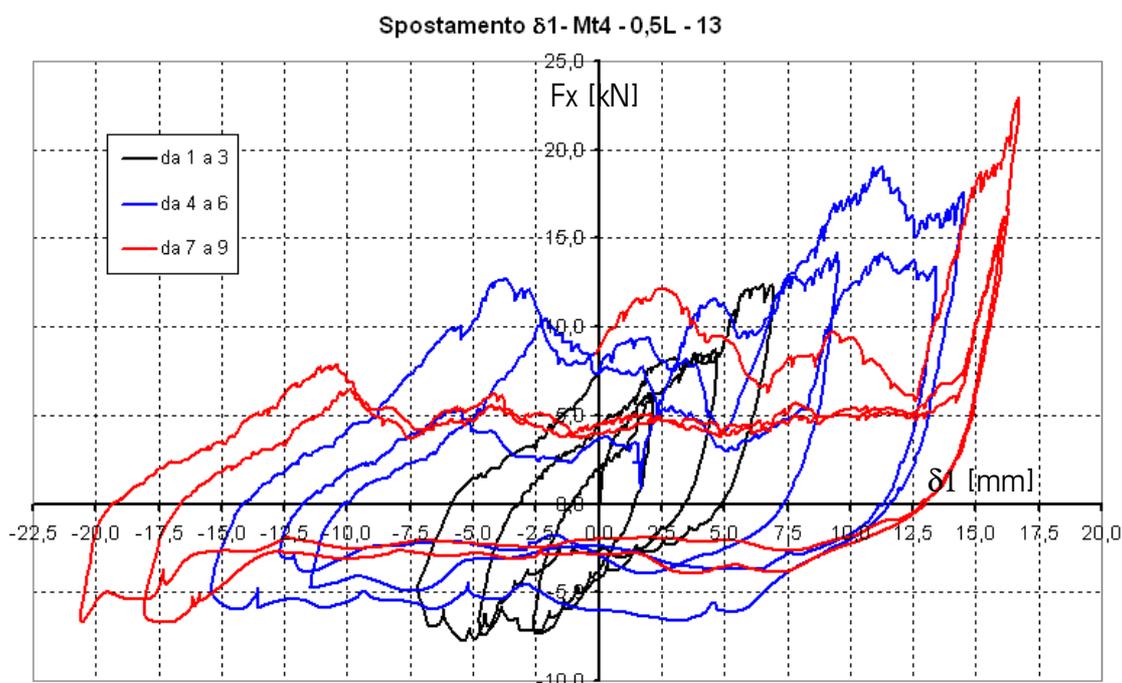


Fig. 4.40 Mt4-0,5L-13: Grafico forza F_x – spostamento δ_1 . In nero sono indicati i primi tre cicli, in blu i cicli dal n°4 e n°6, in rosso i cicli dal n°7 e n°9.

I cicli rossi in prossimità del massimo spostamento positivo (15mm) mostrano dei picchi di resistenza. Questi sono però dovuti al contatto tra il pannello e la mensola, si considera quindi come spostamento massimo del sistema il valore di 16mm in corrispondenza del quale al settimo ciclo abbiamo la seguente situazione:

Prova	δ_1 max [mm]	Forza [kN]	$\delta_1 - \delta_2$ [mm]	$\delta_2 - \delta_3$ [mm]	$\delta_3 - \delta_4$ [mm]	δ_4 [mm]
Mt4-0,5L-13	16 *	19,3 *	9,4 59%	3,0 19%	2,9 18%	0,7 4%

Tab. 4.13 Mt4-0,5L-13: Risultati della prova.

Il collasso è avvenuto per lo scorrimento del pannello con il bullone in campo elastico.

Al termine della prova il bullone di regolazione non riporta delle evidenti deformazioni. Sul ripartitore di carico è invece presente l'impronta della testa del bullone i cui contorni mossi testimoniano il consumo della zigrinatura (Fig. 4.41(b e c)).



Fig. 4.41 Mt4-0,5L-13: Fotografia di fine prova.

4.2.14 Confronto tra le prove su mensole Mt4

Sono di seguito riassunte le principali caratteristiche dei sistemi testati, la Tab. 4.14 è relativa alle forze, agli spostamenti massimi, e alle rigidità.

La Tab. 4.15 riporta i valori della dissipazione energetica.

Prova	δ_1 max [mm]	Forza [kN]	K [kN/mm]	$\delta_1 - \delta_2$ [mm]	$\delta_2 - \delta_3$ [mm]	$\delta_3 - \delta_4$ [mm]	δ_4 [mm]	Modalità Collasso
Mt4- 0,5L- 40	11,9	30,5	12	3,1 26%	4,3 36%	4,7 40%	-0,2 -2%	raggiungimento δ_1 max
Mt4- 0,5L- 27	12,5	20,3	13	6,2 50%	3,8 30%	1,6 13%	0,9 7%	raggiungimento δ_1 max
Mt4- 0,5L- 13	16	19,3	11	9,4 59%	3,0 19%	2,9 18%	0,7 4%	raggiungimento δ_1 max

Tab..4.14 Riassunto delle prove sui dispositivi Mt4.

Prova	Energia dissipata [kn*mm]=[J]					
	primo ciclo	secondo ciclo	terzo ciclo	quarto ciclo	quinto ciclo	totale
Mt4-0,5L-40	39,6	83,6	124	193,9	269,5	710,6
Mt4-0,5L-27	31,3	61,7	113,8	207,5	261,5	675,8
Mt4-0,5L-13	23,2	64,4	110,4	187	191,1	576,1

Tab..4.15 Energia dissipata durante le prove.

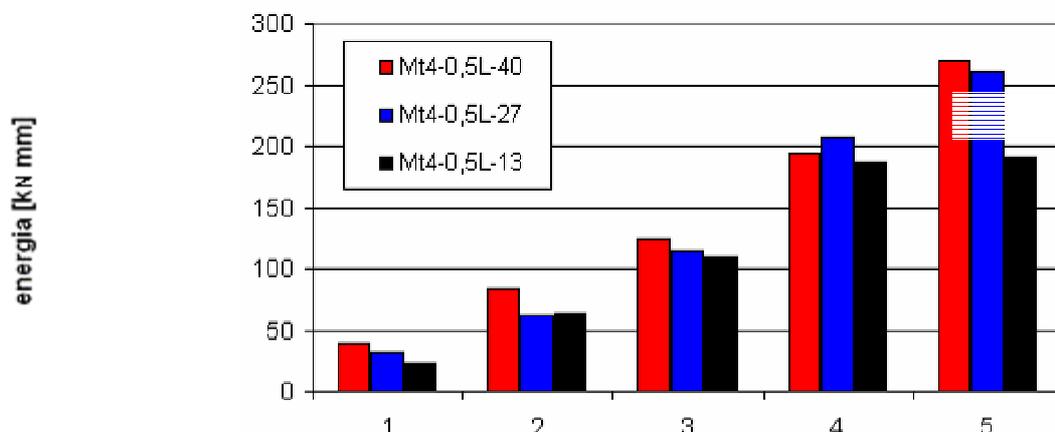


Fig. 4.42 Risultati: (a) Confronto della curva forza F_x - spostamento δ_1 per l'ultimo ciclo delle prove; (b) confronto dell'energia dissipata ciclo per ciclo dalle mensole Mt4.

Le forze orizzontali massime sono soggette a notevoli variazioni, si passa dai 30,5kN del sistema provato con 40kN di carico verticale ai 19,3kN del sistema con carico verticale ridotto a 13kN.

La rigidezza iniziale elastica non subisce grosse variazioni nei tre casi passando da un massimo di 13kN/mm ad un minimo di 11kN/mm.

Lo scorrimento δ_1 - δ_2 aumenta al diminuire del carico verticale (dal 26% per Mt4-0,5L-40, al 59% del sistema Mt4-0,5L-13). Segue la tendenza inversa lo spostamento δ_2 - δ_3 : possiamo infatti notare come valga il 36 %, il 30 % e il 19% rispettivamente con carico verticale pari a 40, 27 e 13 kN.

La dissipazione di energia è maggiore per i casi con i carichi verticali più elevati.

4.2.15 Mensola Mt12-0,5L-120

Si riportano i risultati della prova sulla mensola MT12, con portata nominale 120kN, con bullone di regolazione a metà estensione (0,5L), e carico verticale applicato pari a 120kN. I risultati ottenuti sono illustrati nei seguenti grafici. Il pannello raggiunge lo spostamento massimo al nono ciclo quando δ_1 raggiunge il valore di 32,5mm; Il carico massimo è pari a 67.3 kN.

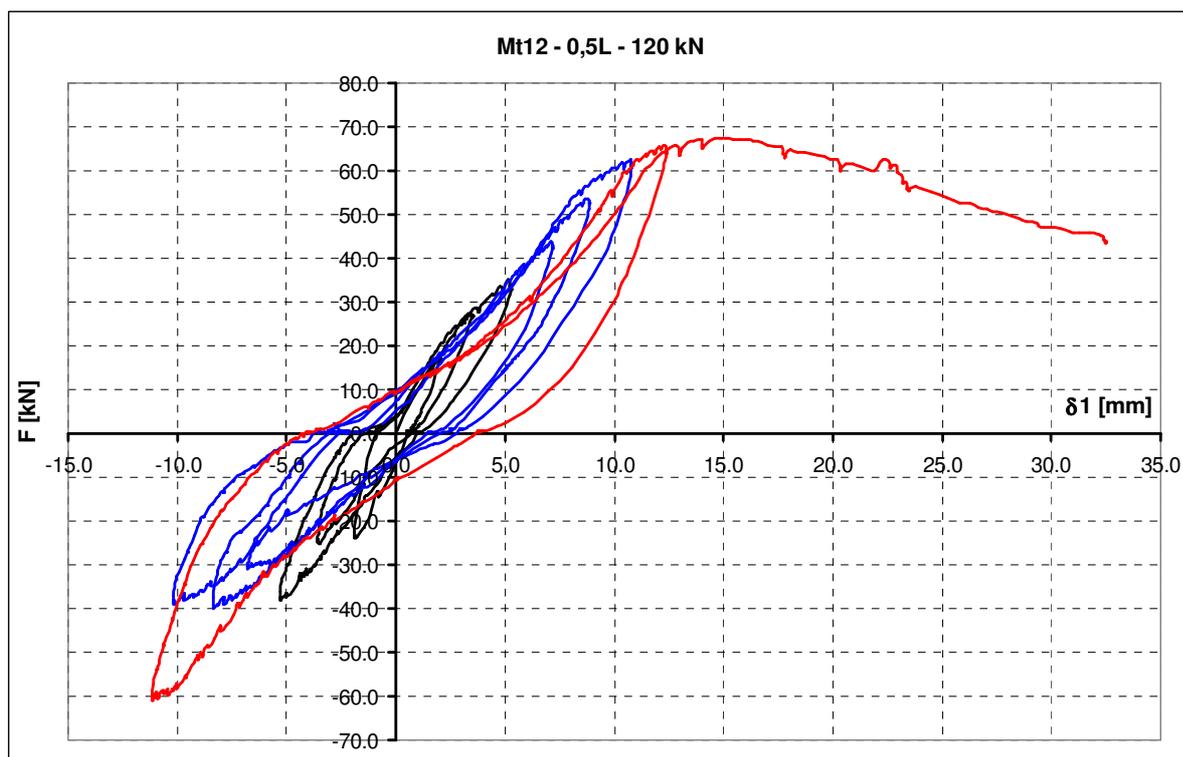


Fig. 4.43. Mt12-0,5L-120: Grafico forza F_x - spostamento δ_1 . In nero sono indicati i primi tre cicli, in blu i cicli dal n°4 e n°6, in rosso i cicli dal n°7 e n°9.

Energia dissipata Mt12- 0,5L-120kN

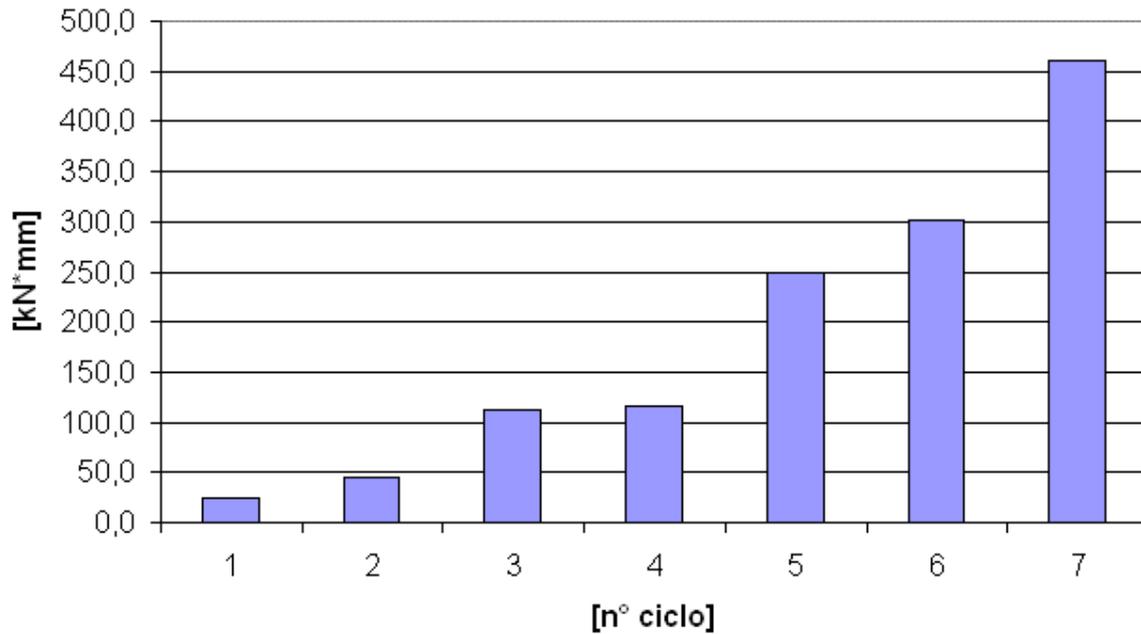


Fig. 4.44. Mt12-0,5L-120: Energia dissipata in sette cicli di carico.



Fig. 4.45. Mt12-0,5L-120: Fotografia di fine prova.

Le fotografie scattate al termine della prova consentono di rilevare la deformazione anelastica del bullone di regolazione, ed il limitato consumo del ripartitore di carico. Non sono rilevabili danneggiamenti al concio di pilastro e al concio di pannello.

4.2.16 Mensola Mt12-0,5L-80

Si riportano i risultati della prova sulla mensola MT12, con bullone di regolazione a metà estensione (0,5L), e carico verticale applicato pari a 80kN. I risultati ottenuti sono illustrati nei seguenti grafici. Il pannello raggiunge lo spostamento massimo al nono ciclo quando δ_1 raggiunge il valore di 27.6mm. Il carico massimo è pari a 53.8 kN.

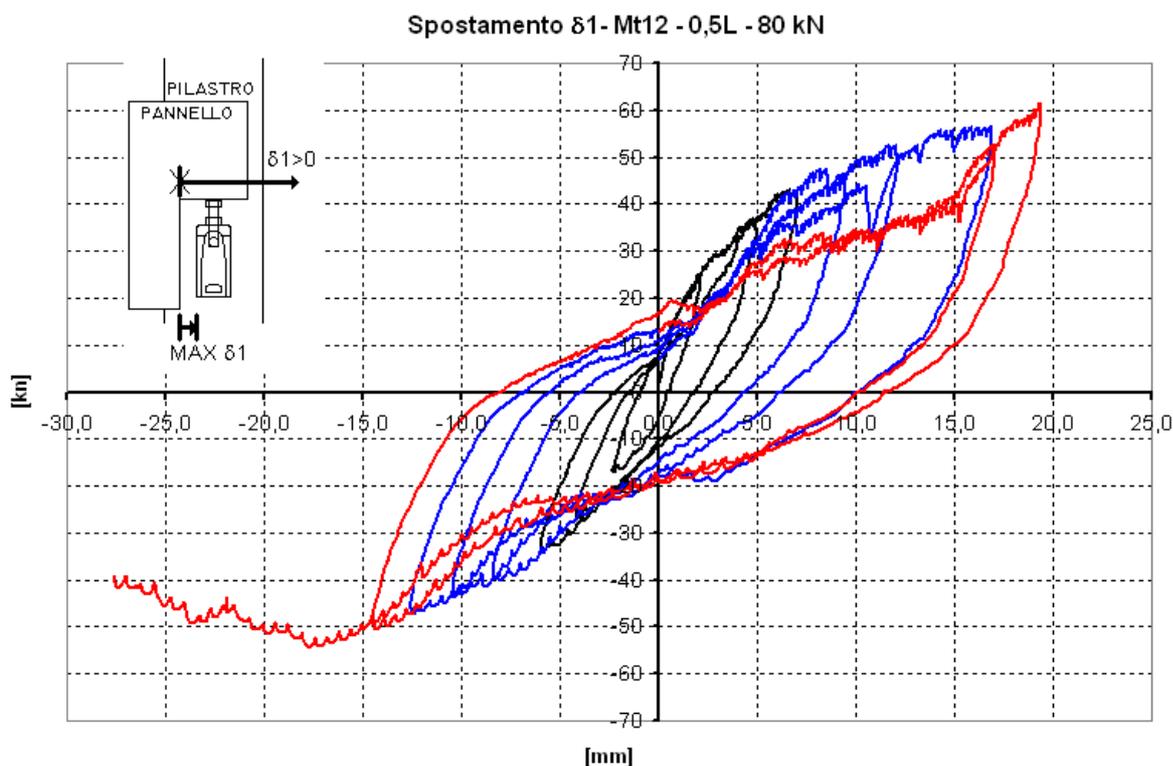


Fig. 4.46. Mt12-0,5L-80: Grafico forza F_x - spostamento δ_1 . In nero sono indicati i primi tre cicli, in blu i cicli dal n°4 e n°6, in rosso i cicli dal n°7 e n°9.

Le fotografie successive ci mostrano come la mensola abbia subito durante la prova una rotazione più accentuata rispetto al caso precedente (si osservi che è maggiore rispetto al caso precedente Fig 4.120). Questa rotazione asseconda la traslazione orizzontale del pannello che induce quindi minore deformazione nel bullone di regolazione. E' comunque presente un limitato degrado del ripartitore di carico e degli elementi in calcestruzzo. (vd. Fig 4.48).

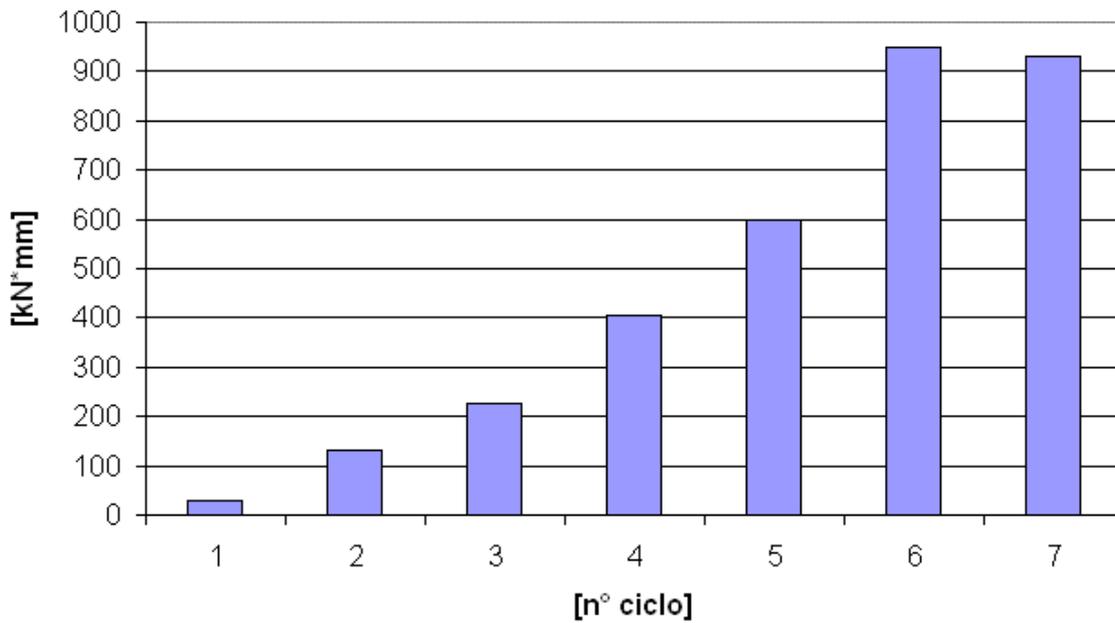


Fig. 4.47. Mt12-0,5L-80: Energia dissipata in sette cicli di carico.



Fig. 4.48. Mt12-0,5L-80: Fotografia di fine prova.

4.2.17 Mensola Mt12-0,5L-40

Si riportano i risultati della prova sulla mensola MT12, con bullone di regolazione a metà estensione (0,5L), e carico verticale applicato pari a 40kN. I risultati ottenuti sono illustrati nei seguenti grafici. Il pannello raggiunge lo spostamento massimo al nono ciclo quando δ_1 raggiunge il valore di 13.7mm. Il carico massimo è pari a 49.0 kN.

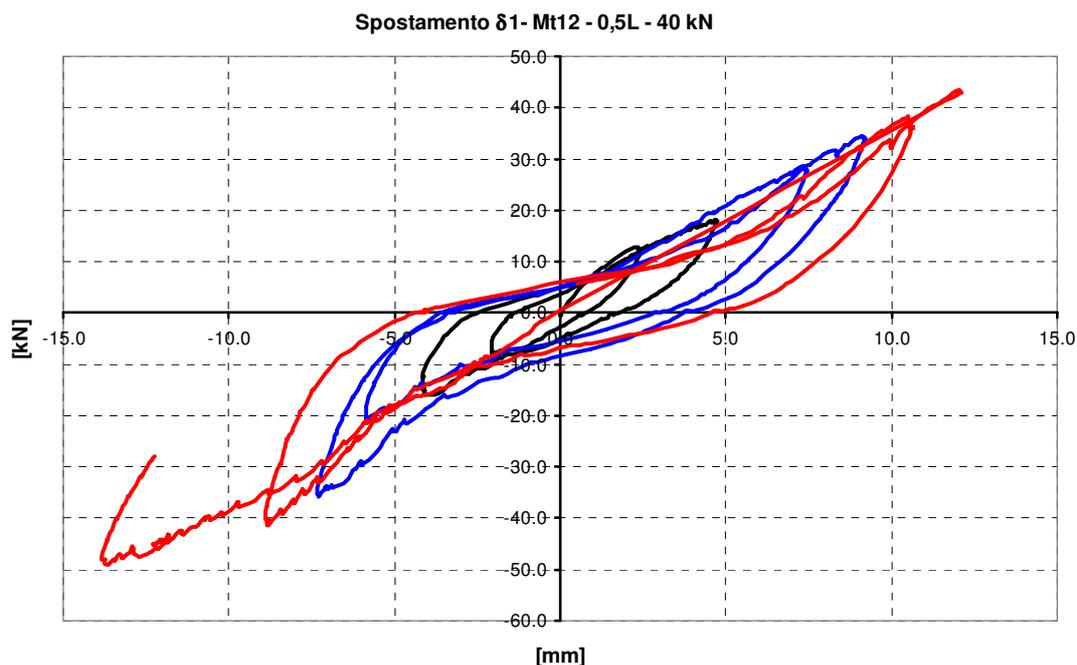


Fig. 4.49. Mt12-0,5L-80: Grafico forza F_x - spostamento δ_1 . In nero sono indicati i primi tre cicli, in blu i cicli dal n°4 e n°6, in rosso i cicli dal n°7 e n°9.

Energia dissipata Mt12- 0,5L-40kN

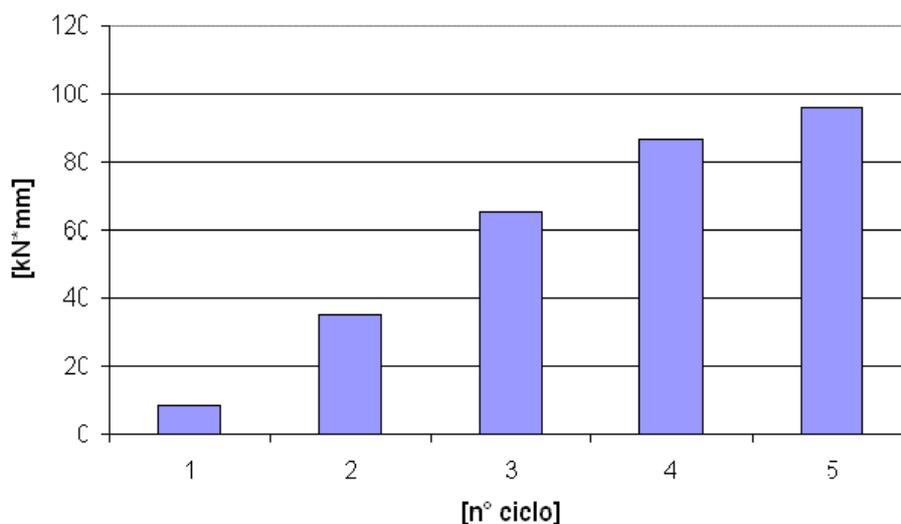


Fig. 4.50. Mt12-0,5L-40: Grafico forza Energia dissipata nei primi cinque cicli.

Le fotografie successive ci mostrano come la mensola abbia subito durante la prova una rotazione più accentuata rispetto al caso precedente (si osservi che δ_3 δ_4 è maggiore rispetto al caso precedente con carico verticale paria 80 kN). Questa rotazione asseconda la traslazione orizzontale del pannello che induce quindi minore deformazione nel bullone di regolazione. E' comunque presente un limitato degrado del ripartitore di carico e degli elementi in calcestruzzo. (vd. Fig 4.51).



Fig. 4.51 Mt12-0,5L-40: Fotografia di fine prova.

4.2.18 Confronto tra le prove su mensole Mt12

Sono di seguito riassunte i principali risultati delle caratteristiche meccaniche dei sistemi MT12 testati.

Prova	Forza [kN]	$\delta 1_{max}$	$\delta_1 - \delta_2$ [mm]	$\delta_2 - \delta_3$ [mm]	$\delta_3 - \delta_4$ [mm]	δ_4 [mm]	Modalità Collasso
Mt12-0,5L-120	67,4	33,6 mm	16,9 mm 50%	9,9 mm 30%	5,9 mm 18%	0,4 mm 2%	raggiungimento $\delta_1 max$
Mt12-0,5L-80	61,6	27,6 mm	16,5 mm 60%	3,6 mm 13%	7,7 mm 28%	-0,2 mm -1%	raggiungimento $\delta_1 max$
Mt12-0,5L-40	49,0	13,8 mm ^(*)	0,9 mm 7%	6,2 mm 45%	5,0 mm 36%	1,7 mm 12%	raggiungimento $\delta_1 max$

^(*) Non è stato possibile imporre spostamenti maggiori per problemi tecnici incorsi durante la prova.

Tab. 4.16. Riepilogo dei risultati delle prove sulle mensole MT12.

4.3 Descrizione della prova sulla mensola MT6 soggetta a carico longitudinale

In queste prove si simula la condizione di impiego del pannello indicata in Fig. 4.125, con pannello interno ai pilastri.

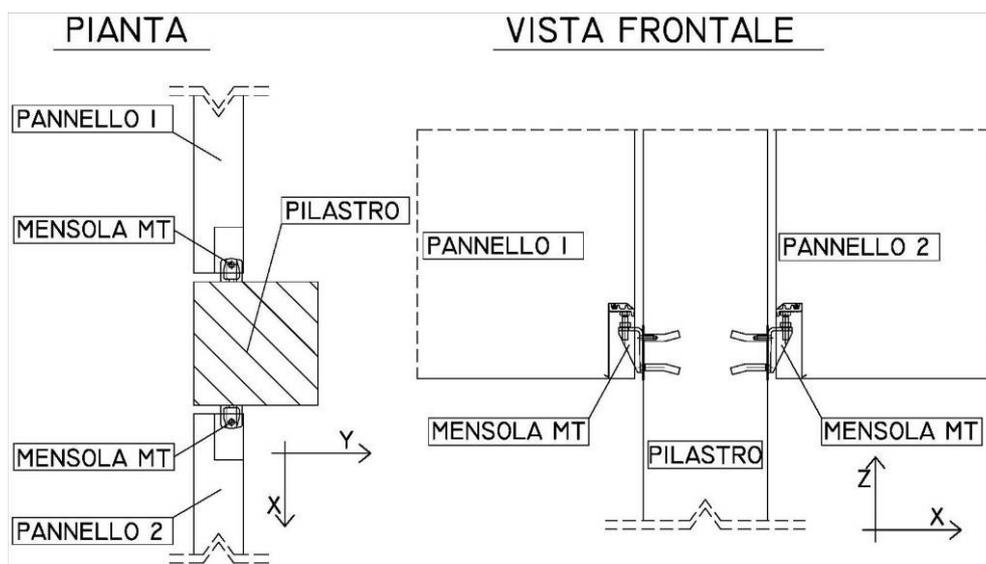


Fig. 4.52. Mt6. Condizione di impiego del pannello

Il pannello è montato sulla linea dei pilastri ed il sisma agisce lungo X (cioè con direzione giacente nel piano del pannello). A differenza dei casi precedenti, rappresentativi del caso di pannello montato esternamente ai pilastri, la mensola MT non è sollecitata a torsione. I risultati presentati nel paragrafo 4.4 sono rappresentativi anche del caso di pannello esterno ai pilastri con un'azione sismica agente trasversalmente al pannello. Il banco di prova deve essere capace di trasmettere alla mensola le azioni verticali che simulano il peso del pannello e l'azione orizzontale del sisma .

Per applicare il carico verticale sulla mensola si utilizza il quadrilatero articolato rappresentato in Figura 4.53. L'azione del sisma è indotta mediante una coppia di martinetti idraulici; questi spingono sul profilo metallico a cui è collegato il pannello (vd. Fig. 4.54).

La configurazione del pannello non ha permesso di eseguire prove cicliche; si è quindi deciso di realizzare prove monotone a spostamenti impressi. Sono state testate solo mensole tipo MT6 con carico verticale rispettivamente pari a 60 kN, 40 kN e 20 kN.

APPLICAZIONE CARICO VERTICALE

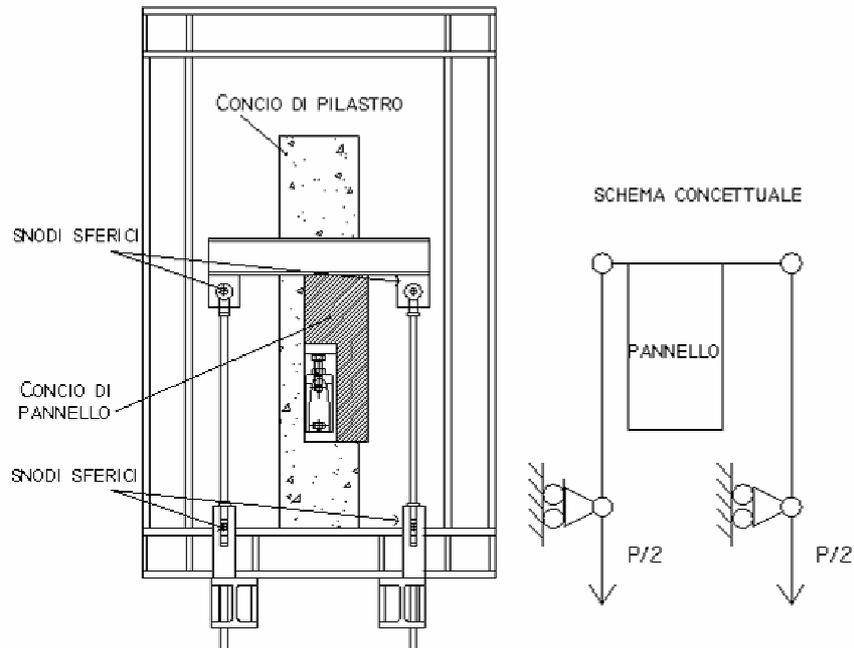


Fig. 4.53: Schema di carico

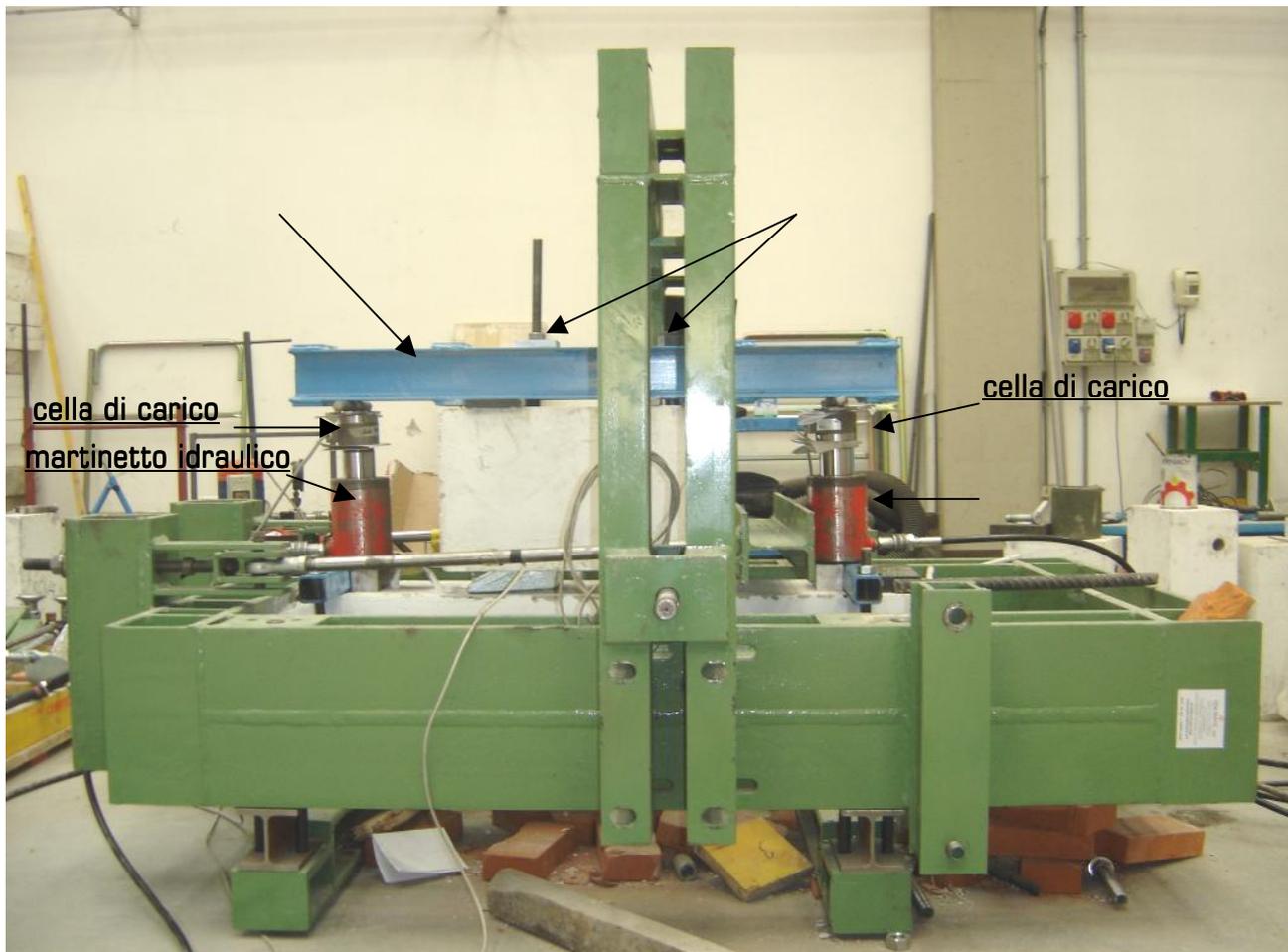


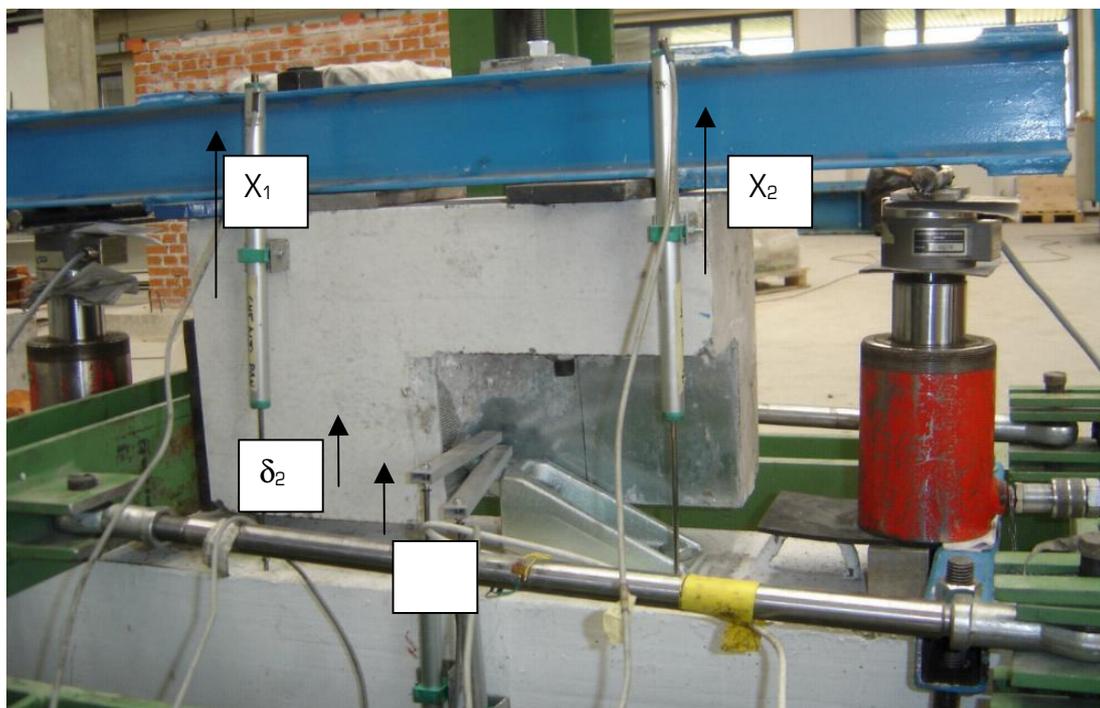
Fig. 4.54. Mt6. Banco.

In Figura 4.55 e nella seguente tabella sono indicati i punti monitorati durante la prova

Grandezza	Significato
X_1	traslazione dell'estremità superiore del pannello
X_2	traslazione dell'estremità inferiore del pannello
δ_1	traslazione del pannello in corrispondenza del ripartitore di carico (media tra X_1 e X_2)
δ	traslazione in corrispondenza dell'estremità superiore del bullone di regolazione
δ_3	traslazione in corrispondenza dell'estremità inferiore del bullone di regolazione

Tab. 4.17. Grandezze monitorate durante la prova per cogliere la deformazione dei singoli elementi del sistema d'appoggio.

Fig. 4.55. Mt6. Strumentazione impiegata Lvdt per la lettura degli spostamenti.



4.4 Risultati delle prove sulla mensola MT6 soggetta a carico longitudinale

4.4.1 Mensola Mt6-0,5L-60

Si riportano i risultati della prova sulla mensola MT6, con bullone di regolazione a metà estensione (0,5L), e carico verticale applicato pari a 60kN. I risultati ottenuti sono illustrati nei seguenti grafici. Il pannello raggiunge uno spostamento massimo pari a 30 mm per un carico di 41 kN.

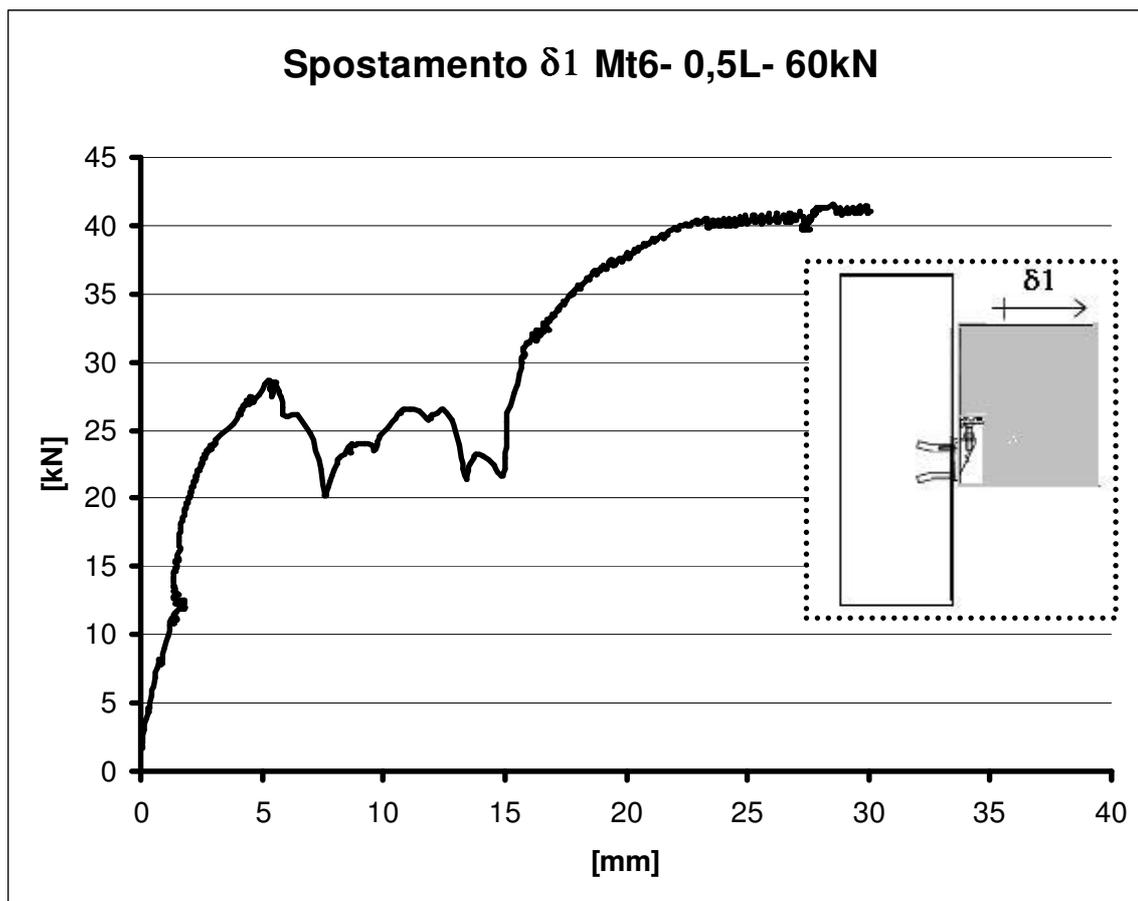


Fig. 4.56. Mt6-0,5L-60: Grafico forza F_x - spostamento δ_1

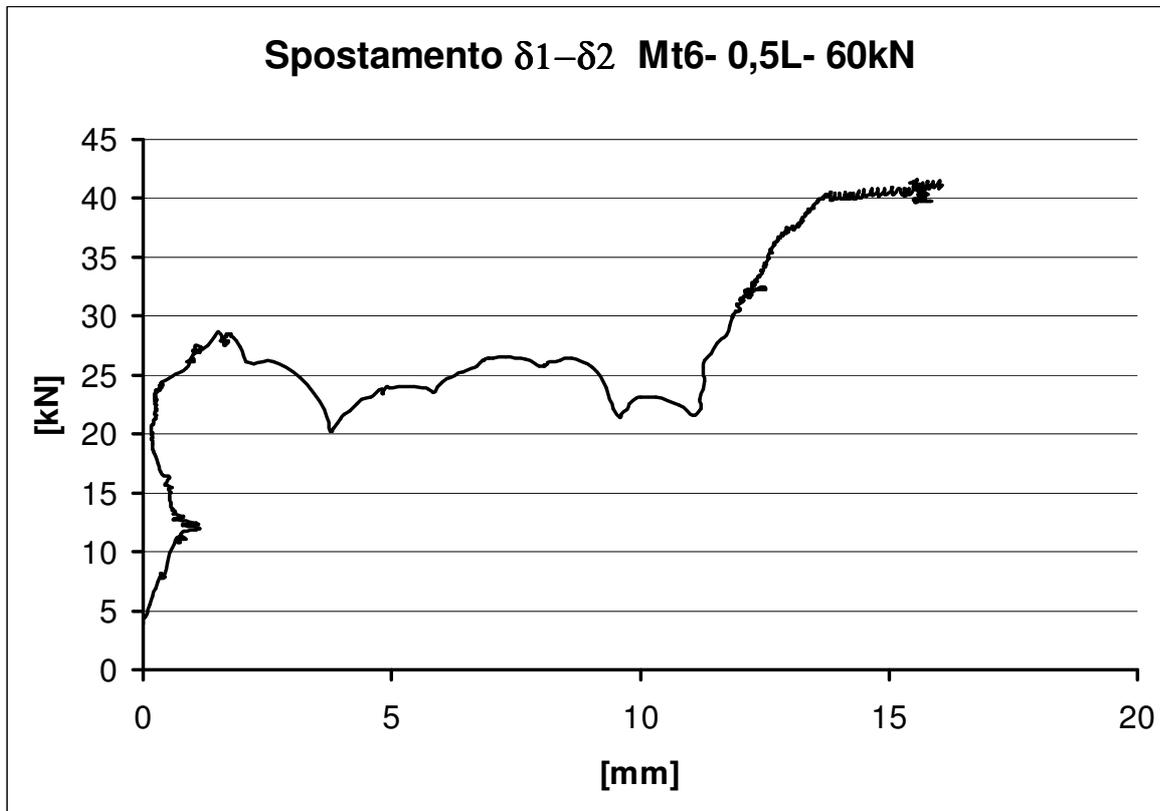


Fig. 4.57 Mt6-0,5L-60: Grafico forza F_x - spostamento δ_1

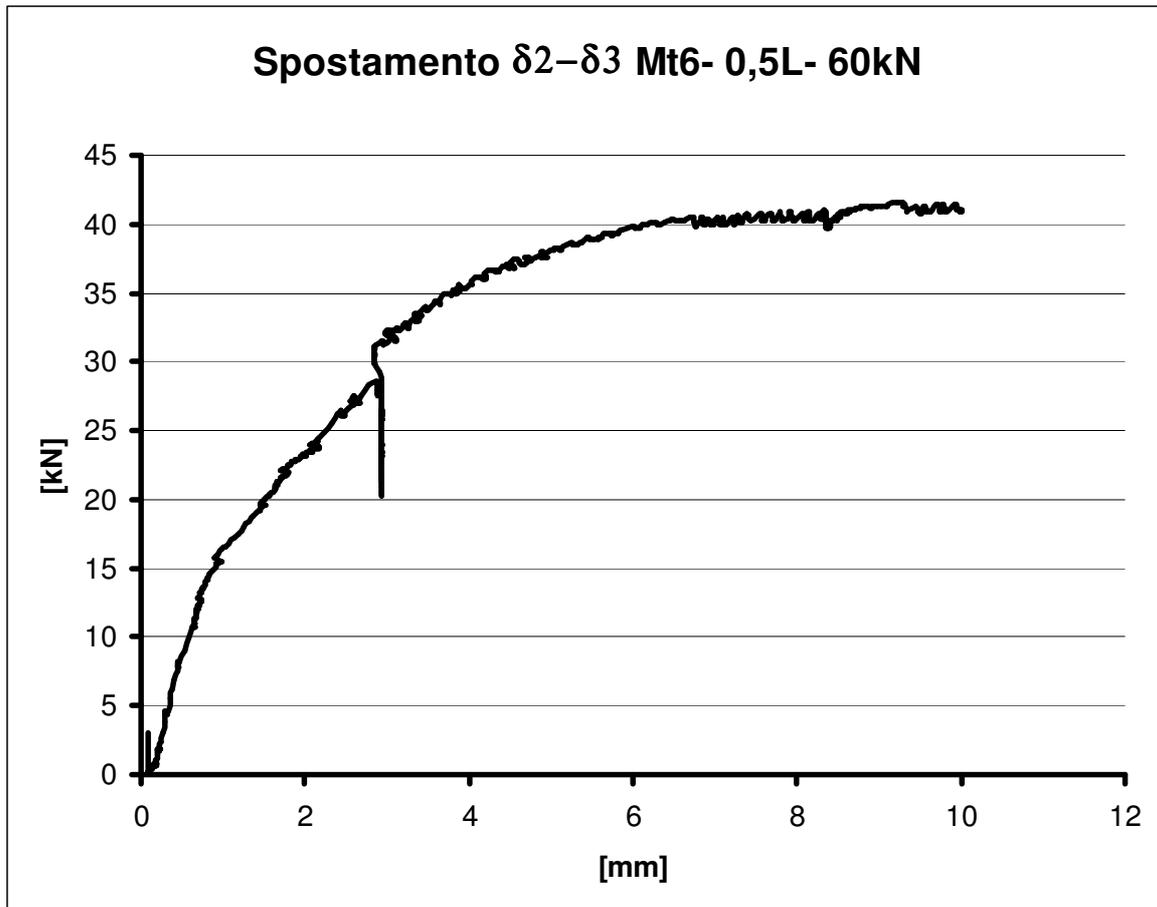


Fig. 4.58. Mt6-0,5L-60: Grafico forza F_x - spostamento δ_3

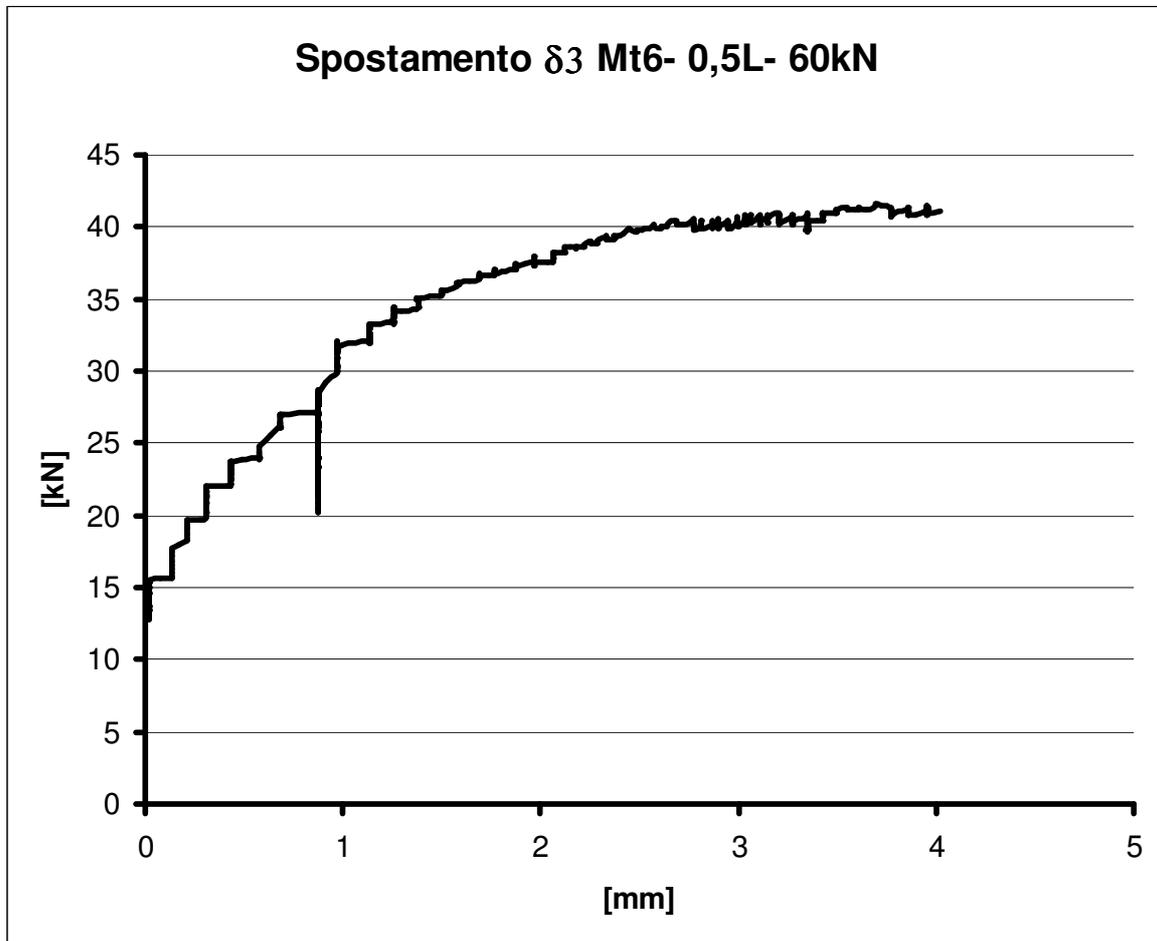


Fig. 4.59. Mt6-0,5L-60: Grafico forza F_x – spostamento δ_4

Come si può notare in Figura 4.60, il collasso del sistema è avvenuto rottura del concio di pannello una volta che, esaurita la corsa disponibile tra la piastra di ripartizione e il bullone, la testa del bullone di regolazione ha iniziato a trasferire il carico al dente esterno della piastra stessa, Si noti inoltre la deformazione plastica residua della mensola MT6.



Fig. 4.60. Mt6-0,5L-60: Danneggiamento del pilastro, del pannello e degli inserti al termine della prova.

4.4.2 Mensola Mt6-0,5L-40

Si riportano i risultati della prova sulla mensola MT6, con bullone di regolazione a metà estensione (0,5L), e carico verticale applicato pari a 40kN. I risultati ottenuti sono illustrati nei seguenti grafici. Il pannello raggiunge uno spostamento massimo pari a 39.6 mm e un carico di 37 kN. Per un guasto alla strumentazione non è stato possibile rilevare la deformazione del bullone di regolazione.

Come si può notare in Figura 4.63, il collasso del sistema è avvenuto per la plasticizzazione del bullone di regolazione. Si notino inoltre le fessure formatosi nel concio di pilastro. Il concio di pannello rimane perfettamente integro fino al termine della prova.

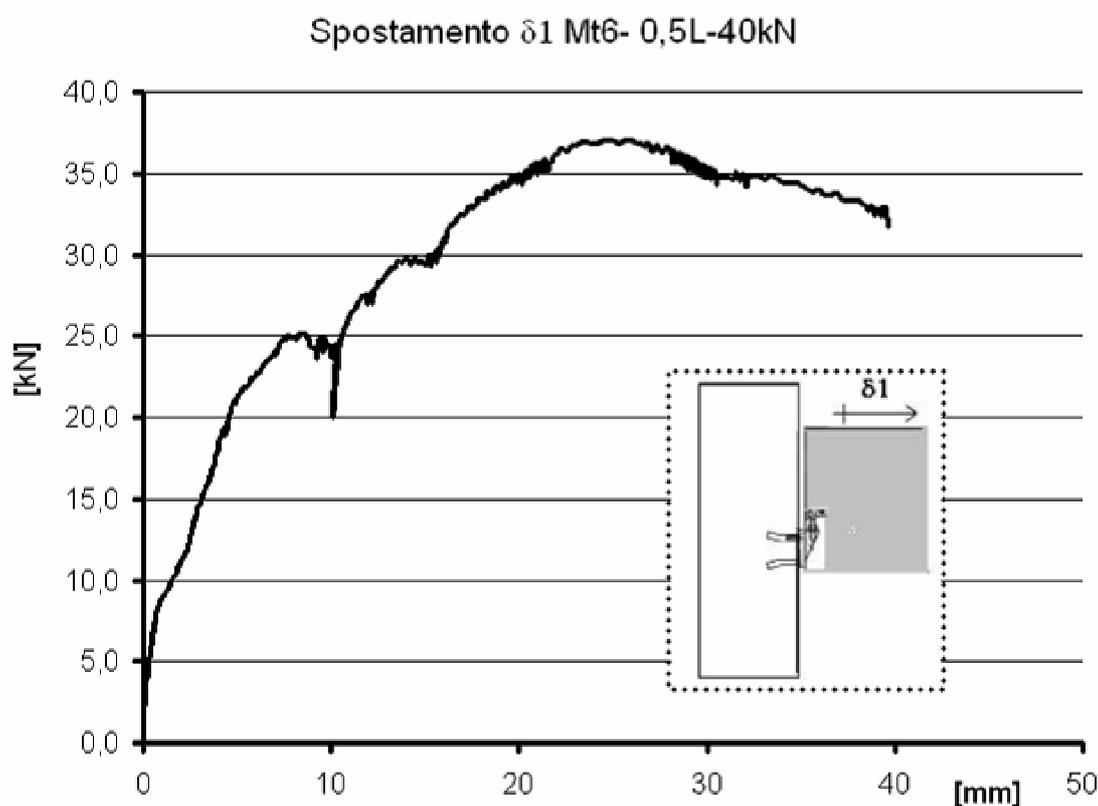


Fig. 4.61. Mt6-0,5L-40: Grafico forza F_x - spostamento $\delta 1$

Spostamento δ_3 Mt6- 0,5L-40kN

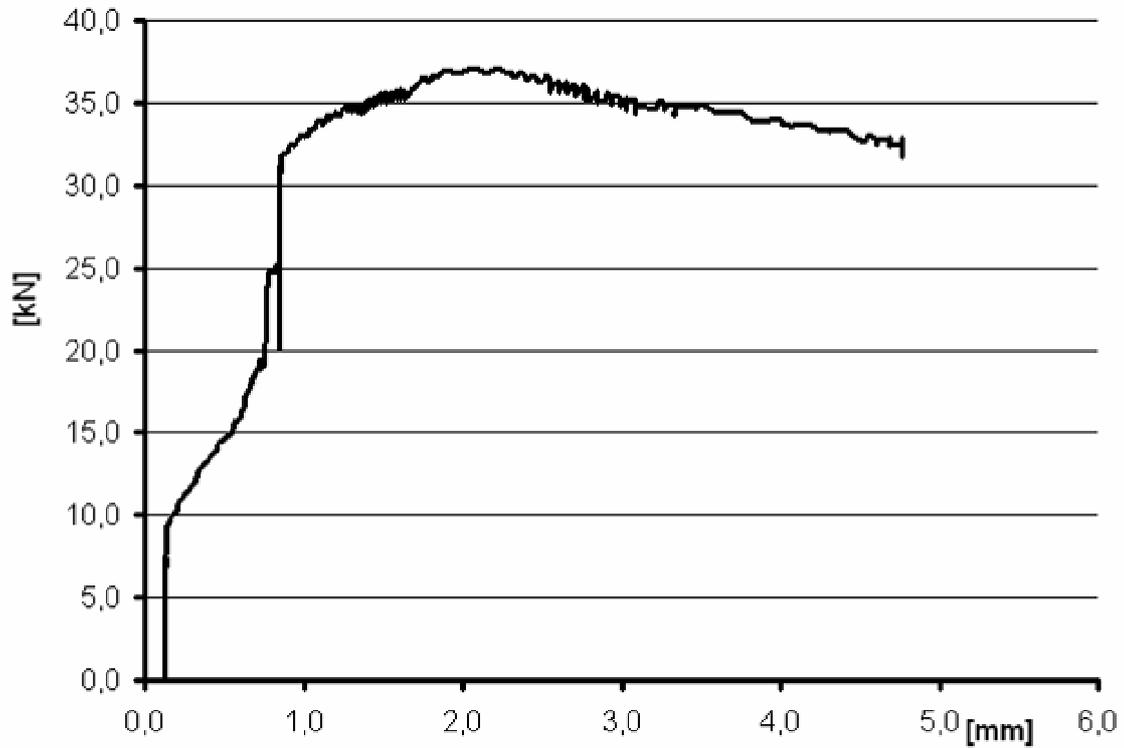


Fig. 4.62. Mt6-0,5L-40: Grafico forza F_x - spostamento δ_3



Fig. 4.63. Mt6-0,5L-40: Danneggiamento del pilastro e del bullone al termine della prova.

4.4.3 Mensola Mt6-0,5L-60

Si riportano i risultati della prova sulla mensola MT6, con bullone di regolazione a metà estensione (0,5L), e carico verticale applicato pari a 20kN. I risultati ottenuti sono illustrati nei seguenti grafici. Il pannello raggiunge uno spostamento massimo pari a 36 mm e un carico di 41.8 kN. Per un guasto alla strumentazione non è stato possibile rilevare la deformazione del bullone di regolazione.

Come si può notare in Figura 4.68, il collasso del sistema è avvenuto per la plasticizzazione della mensola MT e del bullone di regolazione. Si noti inoltre l'assenza di danneggiamento sia del concio di pilastro sia del concio di pannello. Al termine della prova la piastra di ripartizione risulta severamente danneggiata.

Spostamento $\delta 1$ Mt6- 0,5L-20kN

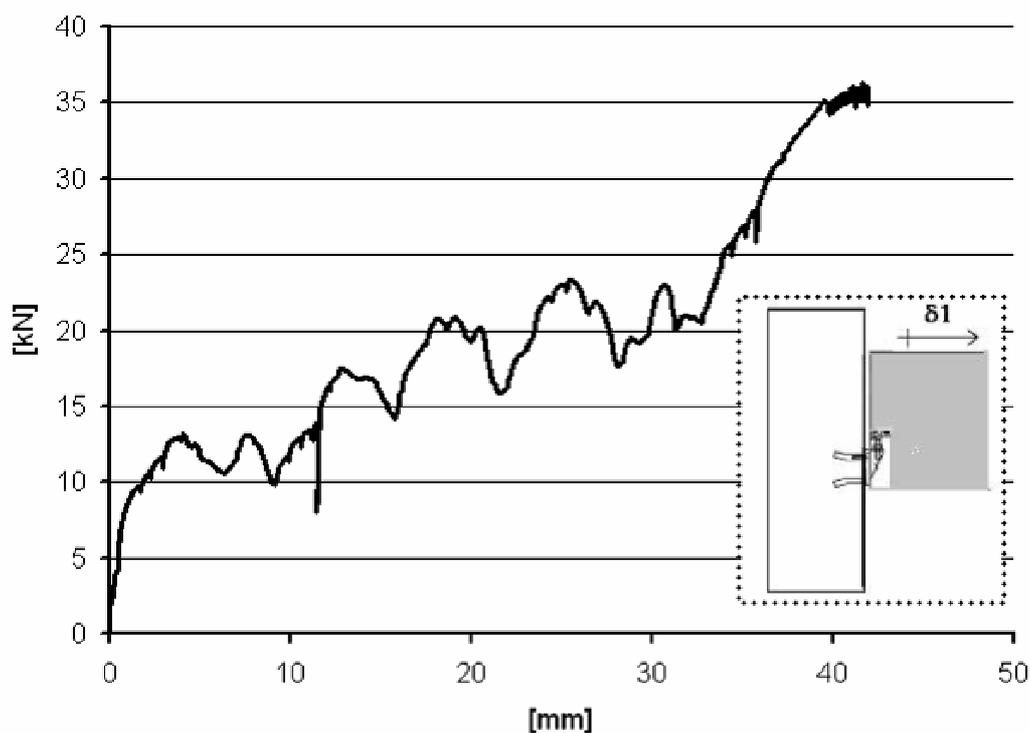


Fig. 4.64. Mt6-0,5L-20: Grafico forza F_x - spostamento $\delta 1$

Spostamento $\delta 1$ – $\delta 2$ Mt6- 0,5L-20kN

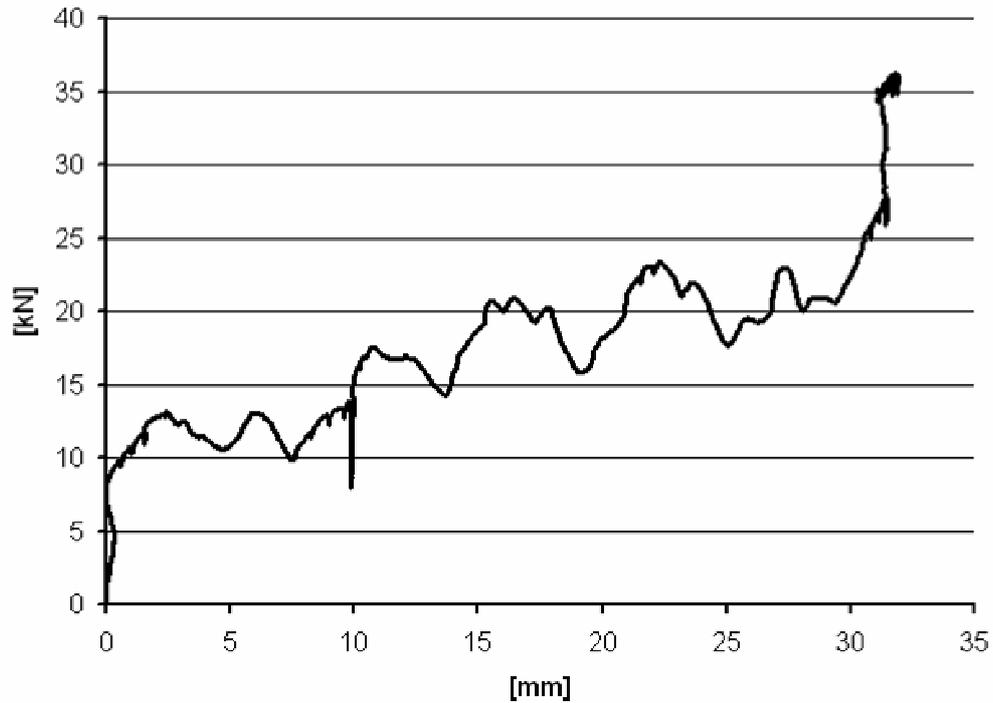


Fig. 4.65. Mt6-0,5L-20: Grafico forza F_x – spostamento $\delta 1$ $\delta 2$

Spostamento $\delta 2$ – $\delta 3$ Mt6- 0,5L-20kN

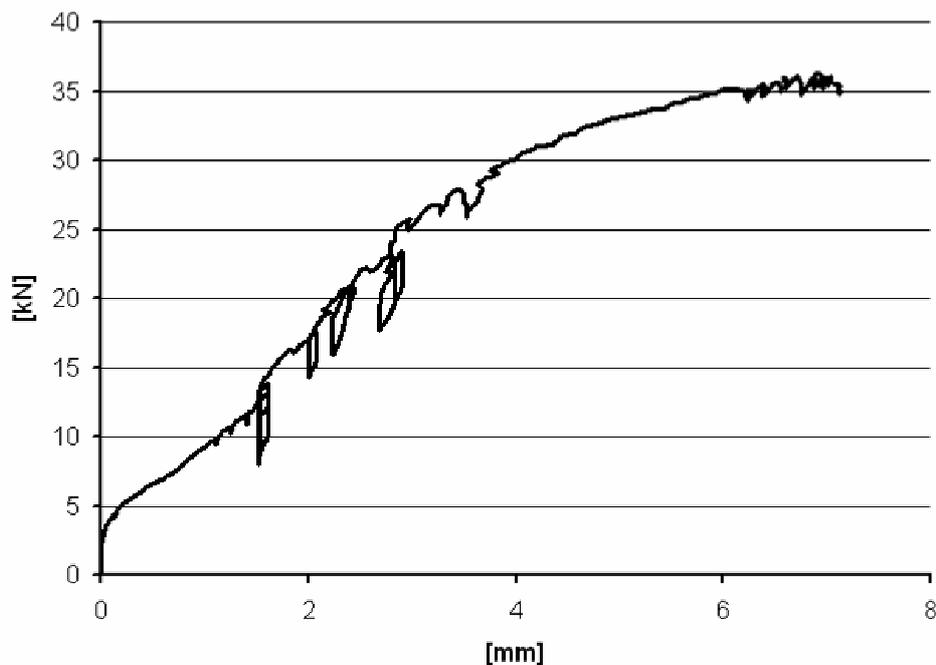


Fig. 4.66. Mt6-0,5L-20: Grafico forza F_x - spostamento $\delta 2$ $\delta 3$

Spostamento $\delta 3$ Mt6- 0,5L-20kN

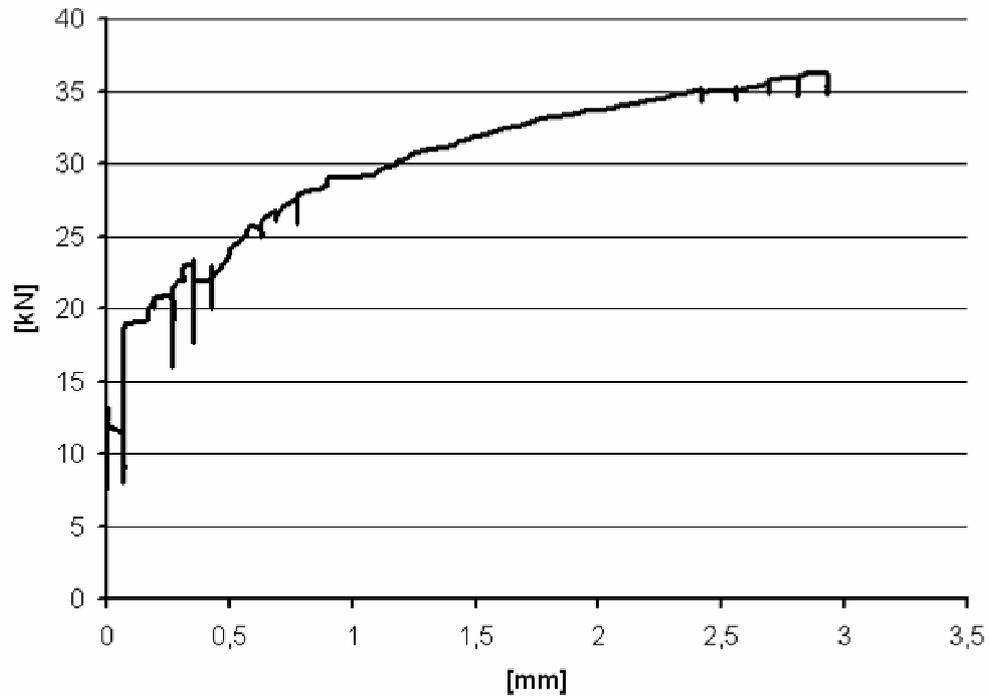


Fig. 4.67. Mt6-0,5L-20: Grafico forza F_x - spostamento $\delta 3$



Fig. 4.68. Mt6-0,5L-20: Danneggiamento del bullone e della mensola al termine della prova

4.4.4 Confronto dei risultati

Prova	Forza [kN]	$\delta 1_{max}$	$\delta 1 - \delta 2$ [mm]	$\delta 2 - \delta 3$ [mm]	$\delta 3$ [mm]	Modalità Collasso
Mt6-0,5L-60	43,9	38,53	23,68 61%	9,89 26%	4,96 13%	raggiungiment o $\delta 1_{max}$
Mt6-0,5L-40	37,1	45,4	err . strumentale		5,0	raggiungiment o $\delta 1_{max}$
Mt6-0,5L-20	36,3	41,9	33,9 76%	7,1 17%	2,9 7%	raggiungiment o $\delta 1_{max}$

Tab. 4.18. Riepilogo dei risultati delle prove sulle mensole MT12.

5. CONCLUSIONI

Con i risultati delle prove sperimentali possiamo verificare se il sistema di supporto Mt rispetta la normativa sismica.

Calcoliamo le forze che la normativa prevede possano agire sul pannello, se come si fa nella comune progettazione, lo si ipotizza "elemento non strutturale" .

Si fa riferimento all'eq.2.1 relativa all'**EC8**:

$$F_a = (S_a \cdot W_a \cdot \gamma_a) / q_a = \frac{1,25 \cdot W_a \cdot 1}{2} = 0,6125 W_a \quad (eq.2.1)$$

dove:

F_a è la forza sismica orizzontale da applicare nel centro di massa dell'elemento non strutturale nella direzione più sfavorevole;

W_a è il peso dell'elemento;

S_a è il coefficiente sismico applicabile all'elemento non strutturale (vedi(3));

a è il fattore di importanza dell'elemento (nel presente caso $a=1$) (vedi **4.3.5.3**)

q_a è il fattore di comportamento dell'elemento (nel presente caso $a=2$) (vedi tab.4.4);

(3) Il coefficiente sismico S_a può essere calcolato usando la seguente espressione:

$$S_a = \alpha \cdot S \cdot \left[3 \left(1 + \frac{z}{H} \right) / \left(1 + \left(1 - \frac{T_a}{T_1} \right)^2 \right) - 0,5 \right] = 0,35 \cdot 1,4 \cdot [3(1+1) / (1+(1-0)^2) - 0,5] = 1,225 \quad (eq.2.2)$$

dove:

è il rapporto tra l'accelerazione di progetto del terreno tipo A, a_g , e l'accelerazione di gravità g (al massimo vale 0,35);

S è il fattore di terreno (al massimo vale 1,4);

T_a è il periodo del modo fondamentale di vibrare dell'elemento non strutturale ;

T_1 è il periodo del modo fondamentale di vibrare dell'edificio nella direzione rilevante (il rapporto

$\frac{T_a}{T_1}$ risulta molto basso, siamo a favore di sicurezza se supponiamo valga 0);

z è l'altezza dell'elemento non strutturale sopra il livello di applicazione dell'azione sismica;

H è l'altezza dell'edificio misurata dalla fondazione o dalla cima di un basamento rigido (siamo a favore di sicurezza se supponiamo che valga $\frac{z}{H}=1$).

Il valore del coefficiente sismico S_a non può essere meno di S .

Se per il calcolo della forza agente sul pannello utilizziamo l'**Ordinanza 3274**:

$$F_a = (S_a \cdot W_a \cdot \gamma_i) / q_a = \frac{1,18 \cdot W_a \cdot 1}{2} = 0,59W_a \quad (eq.2.3)$$

dove:

W_a è il peso dell'elemento;

γ_i è il fattore di importanza della costruzione (vale 1 nel presente caso)(punti 2.5 e 4.7);

q_a è il fattore di struttura dell'elemento da considerare pari ad 1 per elementi aggettanti a mensola (quali ad esempio camini e parapetti collegati alla struttura solamente alla base) e pari a 2 negli altri casi (ad esempio per pannelli di tamponamento e controsoffitti);

S_a è il coefficiente sismico applicabile all'elemento non strutturale di cui alla seguente relazione :

$$S_a = \frac{a_g}{g} \cdot S \cdot \left[3 \left(1 + \frac{z}{H} \right) / \left(1 + \left(1 - \frac{T_a}{T_1} \right)^2 \right) - 0,5 \right] \geq \frac{a_g S}{g} \quad (eq.2.4)$$

dove

$a_g S$ è l'accelerazione di progetto al terreno ($a_g S = g \cdot 0,35 \cdot 1,35$);

Z è l'altezza del baricentro dell'elemento rispetto alla fondazione;

H è l'altezza della struttura (come prima pongo $\frac{z}{H} = 1$);

g è l'accelerazione di gravità;

T_a è il primo periodo di vibrazione dell'elemento non strutturale nella direzione considerata, valutato anche in modo approssimato;

T_1 è il primo periodo di vibrazione della struttura nella direzione considerata (come prima pongo $\frac{T_a}{T_1} = 0$).

La forza orizzontale agente sul pannello assume un valore praticamente uguale per la due normative ed è pari a $0,6W_a$.

La Figura 5.1 mostra lo schema di montaggio dei pannelli (già presentato nella Fig3.1).

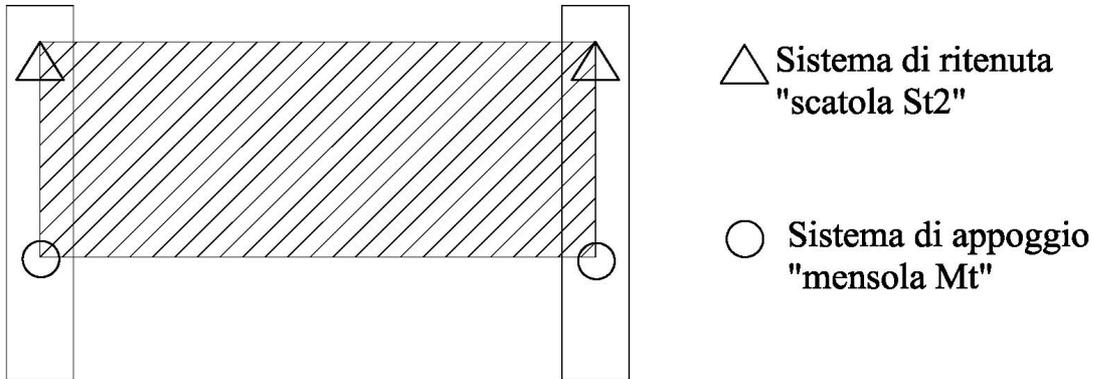


Fig 5.1 Schema di montaggio dei pannelli

La forza orizzontale F_a provocata dal sisma si ripartisce sui quattro connettori. Ipotizziamo che la forza sismica si ripartisca su tutte e quattro le connessioni in modo uguale cioè ogni sistema risulti sollecitato da una forza F_s pari a $0,15W_a$.

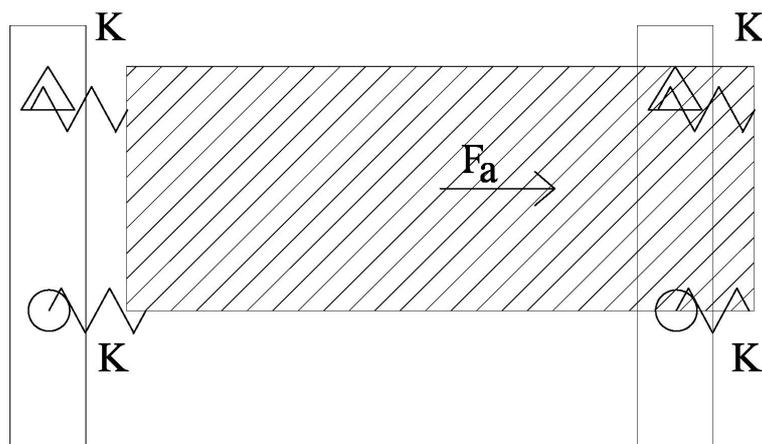


Fig 5.2 La forza sismica F_a è equilibrata dall'azione orizzontale dei supporti e dei sistemi di ritenuta

Per le mensole Mt6 abbiamo una sollecitazione di 18kN, per le Mt9 di 27kN, 12kN per le Mt4 e

36kN per le Mt12. Osserviamo quindi che in questa condizione tutti i sistemi testati (Mt6, Mt9, Mt4, Mt12) resistono alle forze previste dalla normativa. Nella Tabella 5.1 si sintetizzano i coefficienti di sicurezza per ogni sistema di appoggio testato. Si noti che i coefficienti ottenuti dal rapporto tra la forza orizzontale ultima del supporto F_u e la forza prevista dalla normativa F_s , variano tra 1,04 e 2,83.

Prova	F_u	F_s	F_u / F_s
Mensola MT soggetta a carico trasversale			
Mt6-0,5L-60	41,0	18	2,27
Mt6-0,5L-40	43,3	18	2,41
Mt6-0,5L-20	37,5	18	2,08
Mt6-1,0L-60	18,8	18	1,04
Mt6-0,0L-60	51,0	18	2,83
Mt9-0,5L-90	43,8	27	1,62
Mt9-0,5L-60	46,8	27	1,73
Mt9-0,5L-30	31,4	27	1,16
Mt4-0,5L-40	30,5	12	2,54
Mt4-0,5L-27	20,3	12	1,69
Mt4-0,5L-13	19,3	12	1,61
Mt12-0,5L-120	67,4	36	1,87
Mt12-0,5L-80	61,4	36	1,71
Mt12-0,5L-40	49,0	36	1,36
Mensola MT6 soggetta a carico longitudinale			
Mt6-0,5L-60	43,9	18	2,44
Mt6-0,5L-40	37,1	18	2,06
Mt6-0,5L-20	36,3	18	2,01

Tab 5.1 Coefficienti di sicurezza

Emerge chiaramente la necessità di effettuare degli studi sui sistemi di ritenuta per verificarne la capacità di resistere ai carichi orizzontali paralleli al piano del pannello.

Durante le prove non si verifica mai la perdita improvvisa della resistenza ai carichi orizzontali né la perdita della capacità portante. Il comportamento ciclico del sistema di supporto manifesta già dopo pochi cicli di carico un forte degrado. Gli ancoraggi del sistema di supporto (nel concio di pilastro e nel concio di pannello) resistono alle sollecitazioni imposte senza indurre rilevanti danneggiamenti nel calcestruzzo circostante. Per quanto concerne lo stato limite di danno, il sistema è in grado di assorbire gli spostamenti di interpiano previsti dalla normativa.

L'ordinanza sismica prescrive al punto 4.11.2 che:

"...Per l'azione sismica di progetto di cui al punto 3.2.6 (SLD) dovrà essere verificato che gli spostamenti strutturali non producano danni tali da rendere temporaneamente inagibile l'edificio. Questa prescrizione si potrà ritenere soddisfatta quando gli spostamenti d'interpiano ottenuti dall'analisi (dr) siano inferiori ai limiti indicati nel seguito.

(a) per edifici con tamponamenti collegati rigidamente alla struttura che interferiscono con la deformabilità della stessa: $dr < 0,005h$

(b) per edifici con tamponamenti progettati in modo da non subire danni a seguito di spostamenti di interpiano drp , per effetto della loro deformabilità intrinseca ovvero dei collegamenti alla struttura: $dr < drp < 0,01h$

....."

La nostra situazione ricade nel caso (b); quindi ipotizzando pannelli di altezza 2,5 m lo spostamento tra l'estremità superiore e l'estremità inferiore del pannello può essere al massimo pari a 2,5 cm.

I sistemi Mt6 e Mt9 testati sono capaci di assorbire questo spostamento. Per le mensole Mt4 lo spostamento orizzontale massimo è limitato a circa 2 cm, ma con un ripartitore di carico più largo il sistema sarebbe sicuramente capace di sviluppare una deformazione maggiore come testimoniano le immagini di fine prova in cui il corpo della mensola ed il bullone di regolazione appaiono non danneggiati.

Osserviamo però che lo spostamento massimo δ_1 max dipende dalla posizione del bullone di regolazione rispetto al ripartitore di carico: lo spostamento massimo non è quindi una caratteristica del sistema perché dipende dalle condizioni di montaggio del pannello.

Allo stesso modo la forza massima che il sistema è capace di incassare è troppo legata al carico verticale e alla lunghezza di estensione del bullone di regolazione, parametri che non sono preventivabili in sede di progetto. Inoltre il connettore non può essere utilizzato per limitare le forze orizzontali che vengono trasmesse al pannello.

In conclusione, sebbene le mensole MT siano state originariamente progettate per portare i soli carichi gravitazionali, i risultati della ampia campagna di prove sperimentali evidenziano il buon comportamento delle mensole in termini di resistenza, rigidità, duttilità ed energia dissipata con un danneggiamento limitato negli elementi in calcestruzzo. La trasmissione dell'azione sismica è garantita dall'attrito esercitato dalle superfici zigrinate della testa del bullone di regolazione e della piastra di ripartizione e dalla deformazione plastica del bullone di regolazione. Nessun danneggiamento evidente e serio è stato osservato negli elementi in calcestruzzo.

Inoltre il sistema di supporto Mt soddisfa i requisiti di resistenza e di deformazione richiesti dalle vigenti norme sismiche.

6. BIBLIOGRAFIA

- [1] **Eurocode 8**: Design of structures for earthquake resistance - Part 1: General Rules, Seismic Actions and Rules for Buildings, EN 1998-1, *CEN*, December 2004
- [2] **O.P.C.M. n.°3274**, Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica, 20 marzo 2003, come modificata dall'O.P.C.M. n.°3431 del 3 maggio 2005
- [3] **Eurocode 3**: Design of steel structures - Part 1: General Rules and Rules for Buildings, EN 1993:1, *CEN*, May 2005
- [4] **Metelli, G., Riva, P., 2006**, "Numerical analyses of a support system for pre-cast concrete panels", *Proceeding of the First European conference on earthquake engineering and seismology*, Geneva , Switzerland, 3-8 September
- [5] **Metelli, G., Riva, P., 2006**. "Indagine numerica del comportamento di un sistema di appoggio metallico per pannelli prefabbricati in calcestruzzo". *Atti del 16° Congresso del C.T.E.*, 9-11 Novembre 2006, Parma.
- [6] **Metelli, G., Riva, P., 2007**, "Behaviour of a support system for pre-cast concrete panels", *Proceedings of FraMCoS Conference*, 17-22 Giugno 2007, Catania
- [7] **Metelli, G., Riva, P. e Facchinetti, A. 2006**. "Studio Sperimentale del Comportamento di Supporti Edilmatic Mt", Technical Report, Università degli Studi di Brescia, 26 aprile 2007.