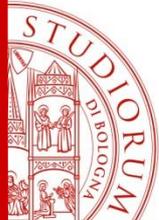


Concezione degli edifici in cemento armato in relazione alla risposta sismica

Prof. Ing. Tomaso Trombetti

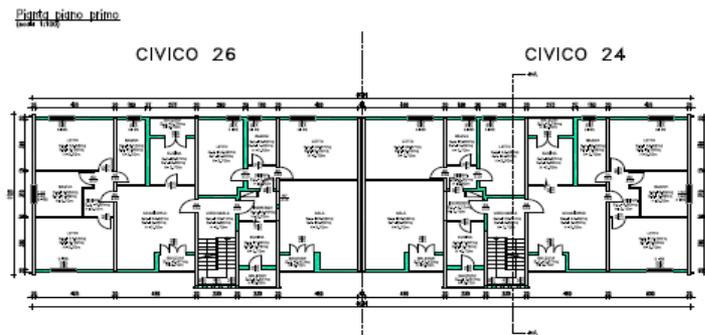


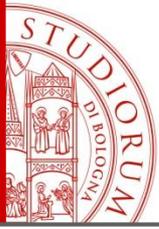
Organizzazione della presentazione

- Le criticità delle strutture in cemento armato gettato in opera
- Il comportamento (le criticità) rilevato in E.R.
- Tecniche di intervento

Il cemento armato gettato in opera

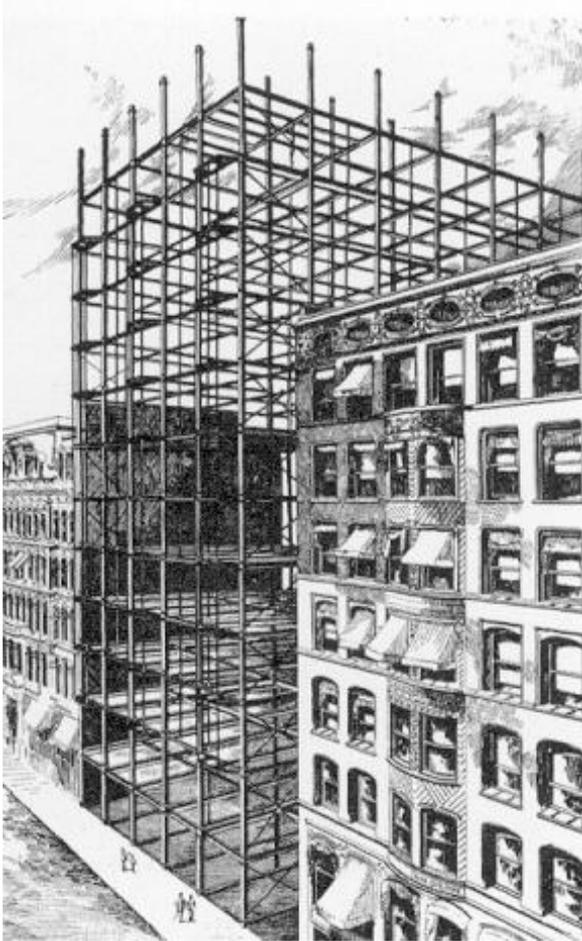
- Tipologie costruttive più comuni:
 - Telaio
 - Pareti portanti prefabbricate (tunnel, anni '70)



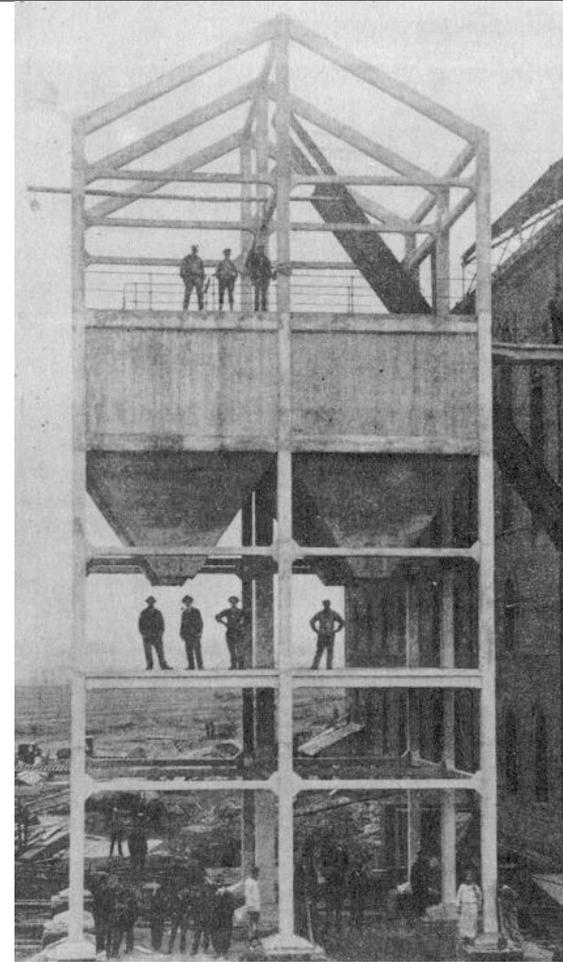


Il telaio in cemento armato

Primi edifici a telaio



Unity Building (Clinton Warren, 1892)



Silos per carbone, miniere di Aniche, Francois Hennebique

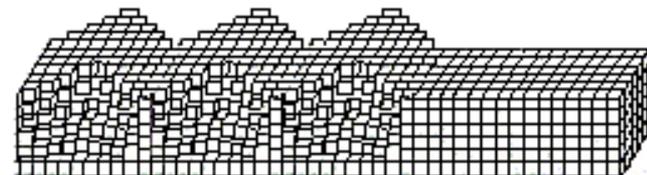
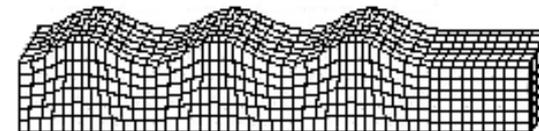
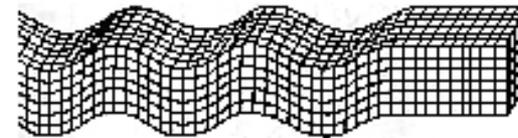
Robert Maillart



Struttura in conglomerato cementizio armato, Zurigo, 1906

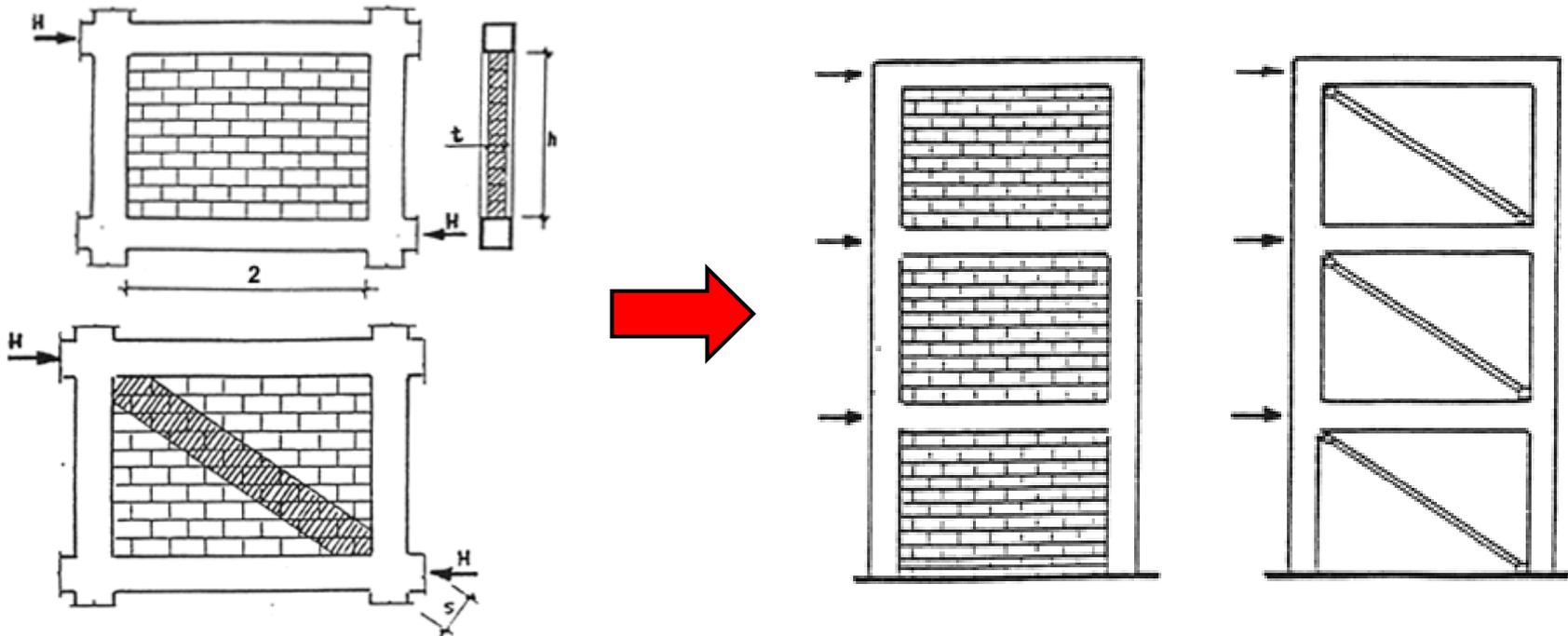
Il sisma

- Onde “P”
 - Longitudinali
- Onde “S”
 - Trasversali
- Onde di Rayleigh
 - Verticali
- Onde di Love
 - Orizzontali



Caratteristiche salienti

- In seguito alle deformazioni subite il telaio entra in contatto con le tamponature che quindi entrano in gioco: l'**interazione** è inevitabile → **Danneggiamento zone perimetrali del telaio e murature**



Il telaio si appoggia alla parete: Modello «Puntone Equivalente»

Caratteristiche salienti

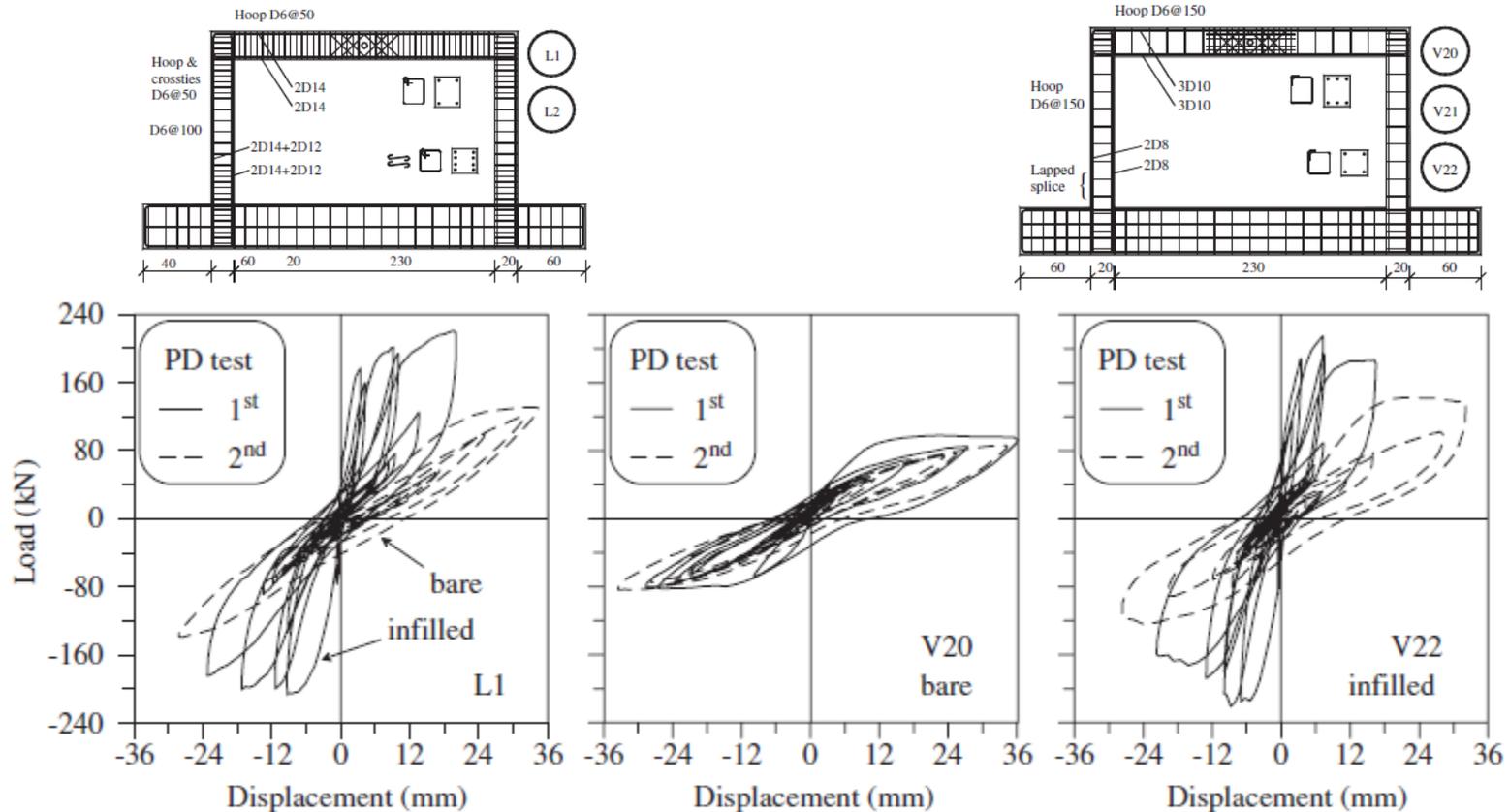


Figure 5. Restoring force versus displacement: L1 = seismic strength and details; V20, V22 = non-seismic design.

F. Colangelo: Diverso comportamento di un sistema telaio sottoposto ad azioni cicliche in presenza o meno di tamponamenti murari



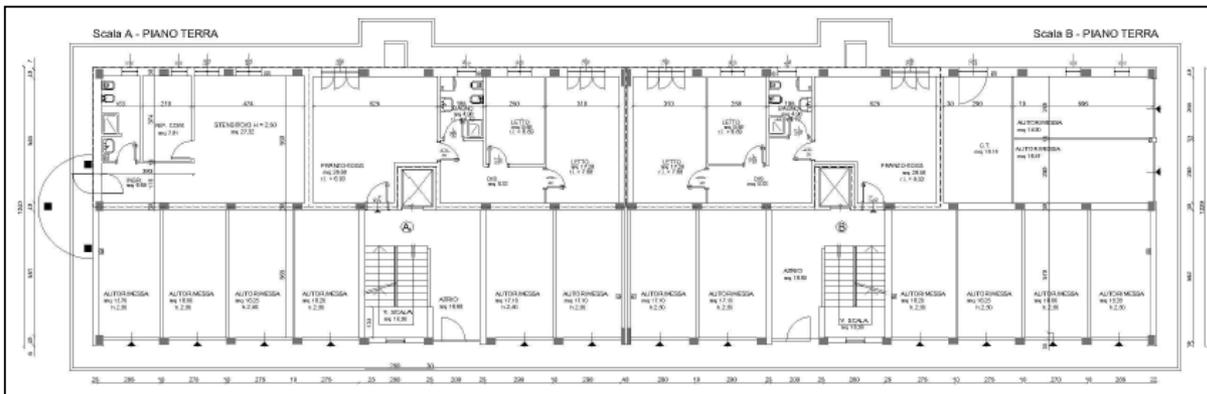
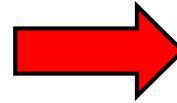
Il sisma in E. R. del 2012

Il telaio, i tamponamenti ed il sisma



Condominio «Case Operaie», San Felice s.p.

Edificio regolare in pianta ed in altezza (progettazione 2007)
Distribuzione regolare delle murature sul perimetro
Concezione strutturale ottimale, semplicità.



In seguito al sisma ha presentato solo danni agli elementi non strutturali e alle finiture (tramezzature esterne ed interne, tracce dei pilastri sugli intonaci).

Nessun danno agli elementi strutturali (travi, pilastri, nodi)

Ammontare dei danni: 80000 €



Pilastro visionato tramite rimozione intonaco: completamente integro

Il telaio, i tamponamenti ed il sisma

Quadri fessurativi sui tamponamenti esterni



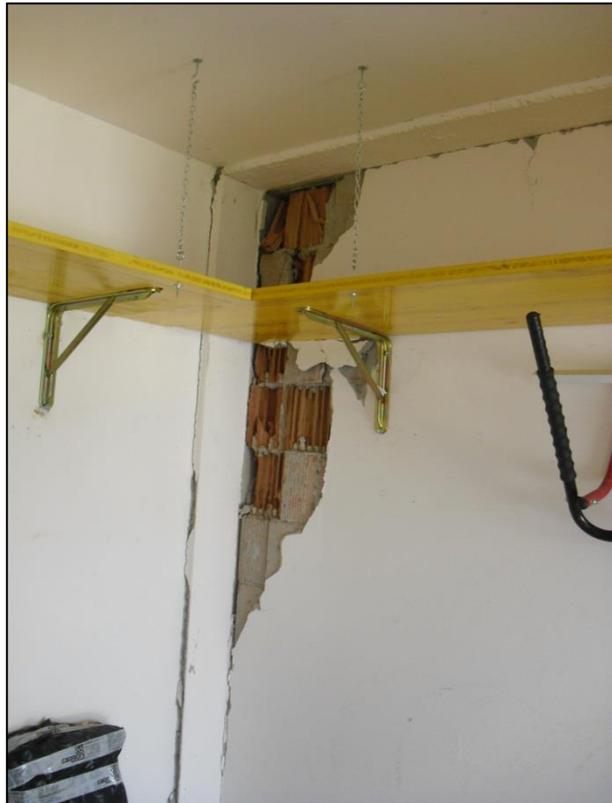
Danneggiamento locale della tamponatura esterna in presenza del pinaerottolo



Traccia dei pilastri sui tamponamenti esterni

Il telaio, i tamponamenti ed il sisma

Quadri fessurativi sui tamponamenti e tramezzi interni



Danni alle tramezzature interne e tracce lungo i bordi di contatti con solaio e pilastri (più estesi e rilevanti al piano terra e più lievi ai piani superiori)

Il telaio, i tamponamenti e il sisma

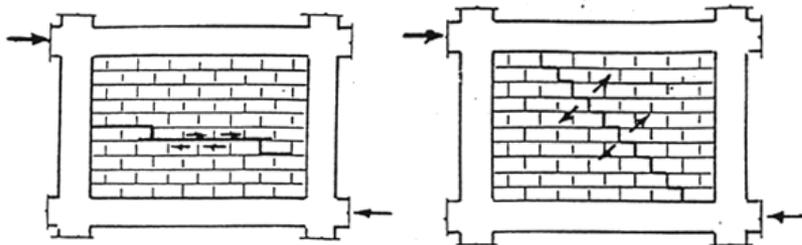
Quadri fessurativi sui tamponamenti e tramezzi interni



Tramezzatura al piano terra: collaborazione alla resistenza durante il sisma e quadro fessurativo diagonale (lieve)

Il telaio, i tamponamenti ed il sisma

Interazione Telaio-Muratura sotto sisma



Consistente danneggiamento a carico delle murature esterne con parziale o totale espulsione delle stesse fuori dal piano

Il telaio, i tamponamenti ed il sisma

Interazione Telaio-Muratura sotto sisma



Crisi dei tamponamenti in seguito a forti richieste in termini di spostamento e deformazione

Il telaio, i tamponamenti ed il sisma

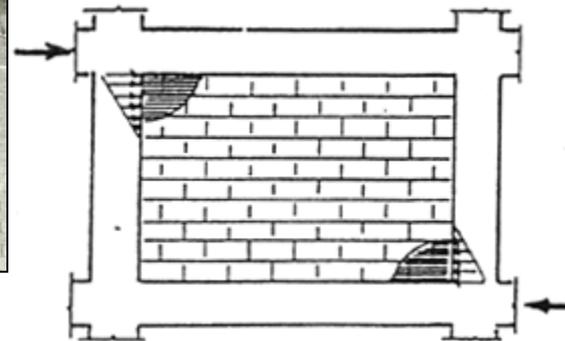
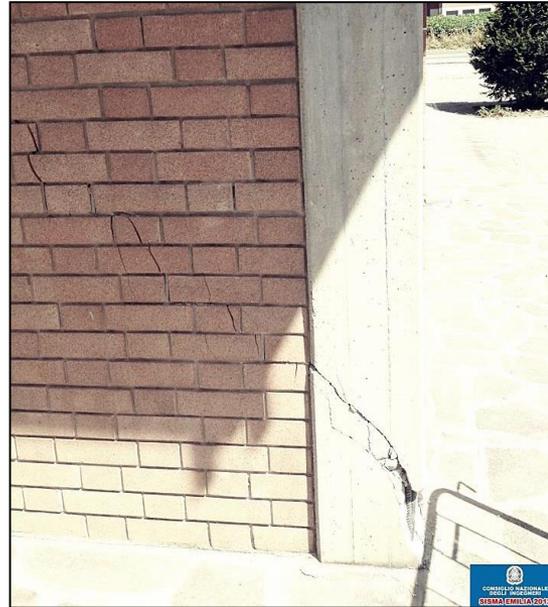
Interazione Telaio-Muratura sotto sisma



Espulsione della muratura verso l'esterno

Il telaio, i tamponamenti ed il sisma

Interazione Telaio-Muratura sotto sisma



Danno ai pilastri

Fessure diagonali sul tamponamento e danno al pilastro in contatto con la biella compressa

Il telaio: i nodi

I Nodi rappresentano l'elemento di congiunzione tra travi e pilastri, ove confluiscono le sollecitazioni. Garantiscono continuità cinematica e solidità del sistema telaio.

Valori Massimi di Taglio e Flessione.

Dissipazione per isteresi e sviluppo delle risorse plastiche della struttura.



Danno su nodo di struttura a telaio in c.a.

Il telaio: i nodi



Danneggiamenti ai
nodi di strutture in c.a.

Le staffe ed il taglio



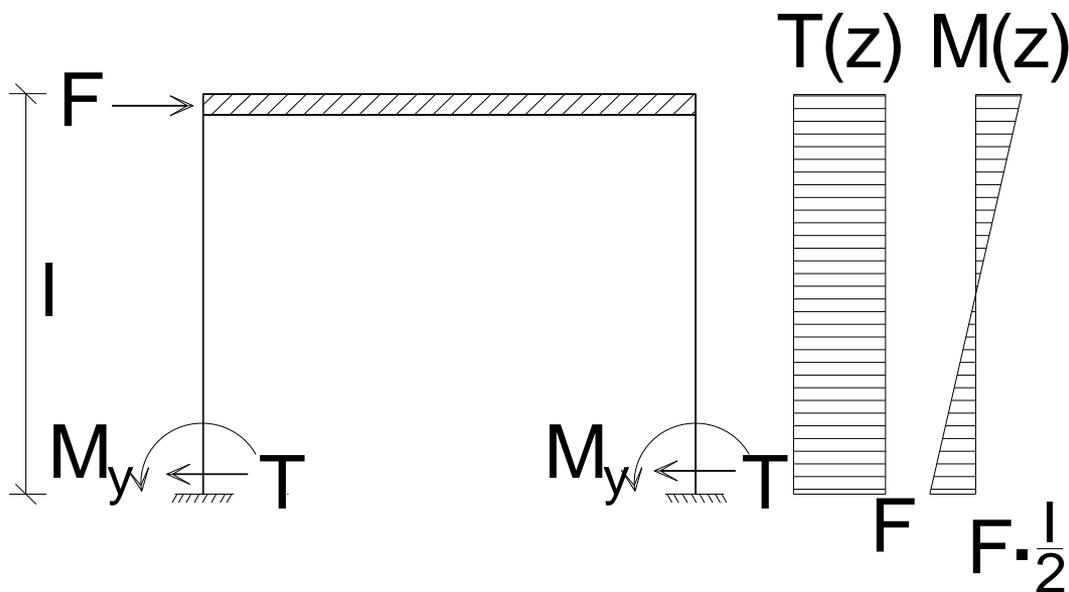
Pilastro in c.a. debolmente armato a taglio

Il panorama edilizio odierno è caratterizzato in grande parte da telai realizzati in precedenza alle attuali NTC08.

Si presentano quindi sezioni ben presidiate nei confronti delle sollecitazioni di flessione, ma spesso **debolmente armate a taglio** (no GdR).

In questo scenario, nonostante la ridotta attenzione ai dettagli costruttivi, questi sistemi sono in grado di presentare buone risorse plastiche (duttilità) nei confronti delle azioni flessionali ($M_u \approx 1.5 \div 2.0 M_y$), ma possono andare in contro a precoce crisi per taglio (fragile) tale da impedire lo svilupparsi dei fenomeni dissipativi (cerniere plastiche).

Le staffe ed il taglio



Telaio monopiano shear-type

V_{res} → legato alla staffatura

M_p → legato alla armatura longitudinale

$$T_p = 2 \cdot M_p / l$$

Il Taglio corrispondente allo sviluppo del momento flettente plastico M_p è pienamente attinto dalla sezione solo assumendo i criteri della GdR.

Se $T_p < V_{res}$ → Crisi per flessione (Duttile)

Nel caso di sezione armate al minimo a taglio (tipico delle costruzioni esistenti):

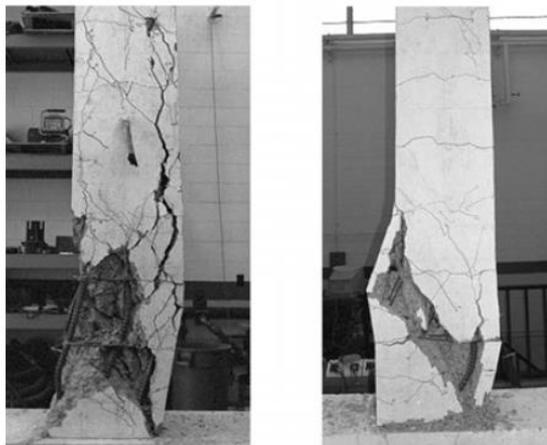
$T_p > V_{res}$ → Crisi per Taglio (Fragile)

Le staffe ed il taglio



(a)

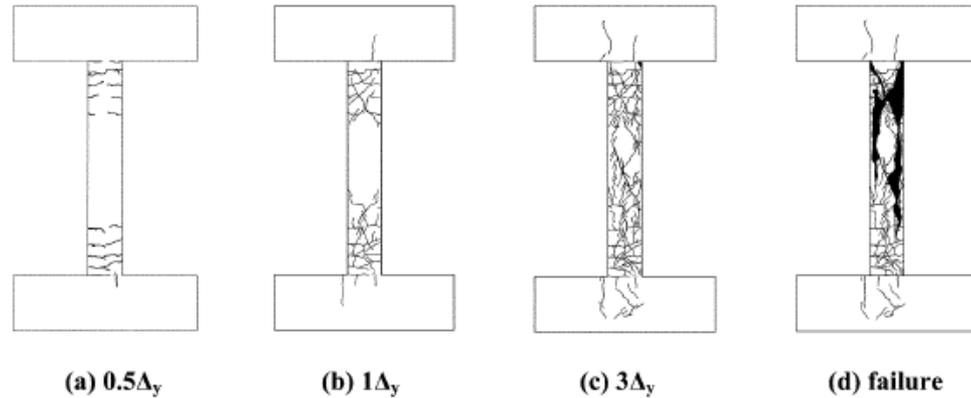
(b)



(c)

(d)

Fig. 7—Damage after failure to: (a) Specimen 1; (b) Specimen 2; (c) Specimen 3; and (d) Specimen 4.

(a) $0.5\Delta_y$ (b) $1\Delta_y$ (c) $3\Delta_y$

(d) failure

Fig. 5—Crack pattern in Specimen 1 at 0.5, 1, and 3 times nominal yield displacement and at failure.

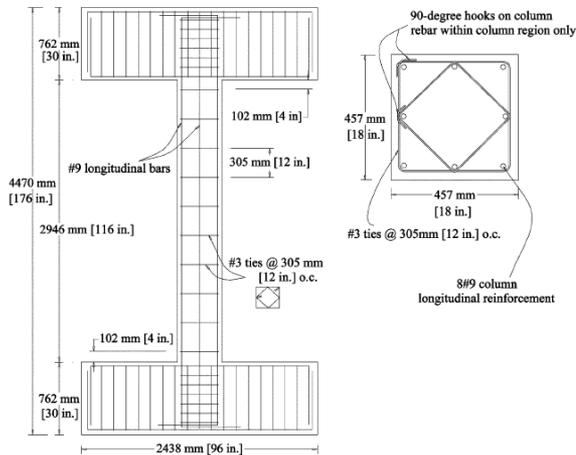
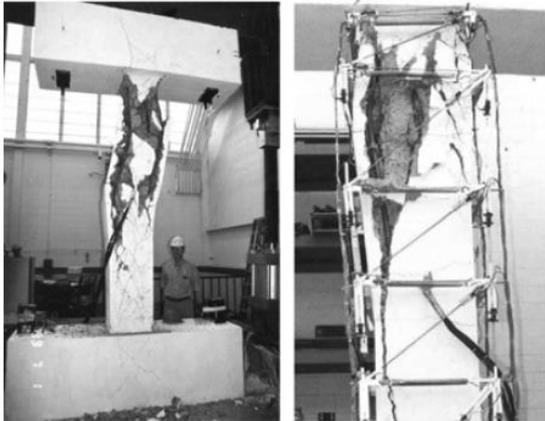


Fig. 1—Specimen elevation and cross section details.

Sulla base degli esperimenti di **Sezen e Moehle** su **pilastri debolmente armati a taglio** si evidenzia come le ridotte risorse nei confronti delle azioni taglianti conducano ad una crisi repentina dell'elemento verticale che non risulta più in grado di sviluppare duttilità.

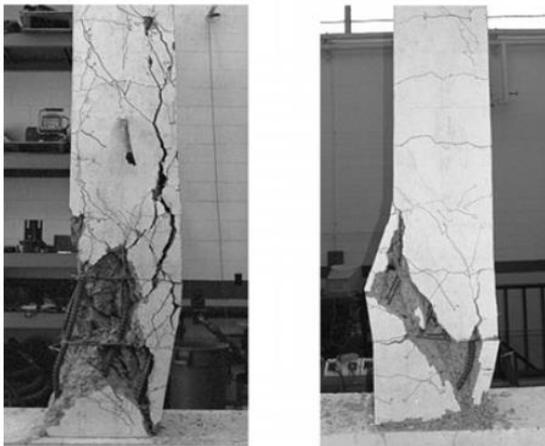
Le staffe ed il taglio



(a)

(b)

$$V_{n, Sezen} = k \frac{A_s f_y d}{s} + k \left(\frac{6 \sqrt{f'_c}}{a/d} \sqrt{1 + \frac{P_u}{6 \sqrt{f'_c} A_g}} \right) 0.8 A_g \text{ (psi)} \quad (2)$$



(c)

(d)

$$V_{n, Sezen} = k \frac{A_s f_y d}{s} + k \left(\frac{0.5 \sqrt{f'_c}}{a/d} \sqrt{1 + \frac{P_u}{0.5 \sqrt{f'_c} A_g}} \right) 0.8 A_g \text{ (MPa)}$$

Fig. 7—Damage after failure to: (a) Specimen 1; (b) Specimen 2; (c) Specimen 3; and (d) Specimen 4.

Le staffe ed il taglio



Crisi per taglio della sezione di estremità del pilastro

7.4. COSTRUZIONI DI CALCESTRUZZO

7.4.1. GENERALITÀ

Nel caso di comportamento strutturale non dissipativo, la capacità delle membrature deve essere valutata in accordo con le regole di cui al § 4.1, senza nessun requisito aggiuntivo, a condizione che in nessuna sezione si superi il momento resistente massimo in campo sostanzialmente elastico, come definito al § 4.1.2.3.4.2. Per i nodi trave-pilastro di strutture a comportamento non dissipativo si devono applicare le regole di progetto relative alla CD "B" contenute nel § 7.4.4.3. Per le strutture prefabbricate a comportamento non dissipativo si devono applicare anche le regole generali contenute nel § 7.4.5.

Nel caso di comportamento strutturale dissipativo, la struttura deve essere concepita e dimensionata in modo tale che, sotto l'azione sismica relativa allo *SLV*, essa dia luogo alla formazione di un meccanismo dissipativo stabile fino allo *SLC*, nel quale la dissipazione sia limitata alle zone a tal fine previste. La capacità delle membrature e dei collegamenti deve essere valutata in accordo con le regole di cui dal § 7.1 al § 7.3, integrate dalle regole di progettazione e di dettaglio fornite dal § 7.4.4 al § 7.4.6.

Nel valutare la capacità, si può tener conto dell'effetto del confinamento (v. § 4.1.2.1.2.1), purché si consideri la perdita dei copriferri al raggiungimento, in essi, della deformazione ultima di compressione del calcestruzzo non confinato (0,35%).

Al riguardo, nel valutare la capacità degli elementi strutturali, sono ammesse tre diverse strategie di progettazione:

- 1) si trascura l'effetto del confinamento;
- 2) si considera l'effetto del confinamento per tutti gli elementi strutturali;
- 3) si considera l'effetto del confinamento per tutti gli elementi verticali secondari e per le zone dissipative allo spiccato dalle fondazioni o dalla struttura scatolare rigida di base di cui al § 7.2.1 degli elementi primari verticali (pilastri e pareti).

Le strutture devono essere progettate in maniera tale che i fenomeni di degrado e riduzione di rigidità che si manifestano nelle zone dissipative non pregiudichino la stabilità globale della struttura.

Gli elementi non dissipativi delle strutture dissipative e i collegamenti tra le parti dissipative ed il resto della struttura devono possedere una capacità sufficiente a consentire lo sviluppo della plasticizzazione ciclica delle parti dissipative. Il rispetto delle presenti norme è volto a garantire tali principi.

Se tamponature di muratura appositamente progettate come collaboranti costituiscono parte del sistema strutturale resistente al sisma, si raccomanda che la loro progettazione e realizzazione siano eseguite in accordo con documenti di comprovata validità.



presenta nome e voto a garantire tali principi.

Se tamponature di muratura appositamente progettate come collaboranti costituiscono parte del sistema strutturale resistente al sisma, si raccomanda che la loro progettazione e realizzazione siano eseguite in accordo con documenti di comprovata validità.

Le prove sperimentali

- CONTROLLO preliminare che l'accoppiamento malta duttile/blocchi di pre-produzione siano in linea con gli obiettivi del progetto:

PROVE SU TRIPLETTE

- VERIFICA che il prodotto finale (paramento murario composto da blocco innovativo e malta duttile) soddisfi gli obiettivi del progetto:

PROVE DI COMPRESSIONE DIAGONALE SU MURETTI (ASTM)



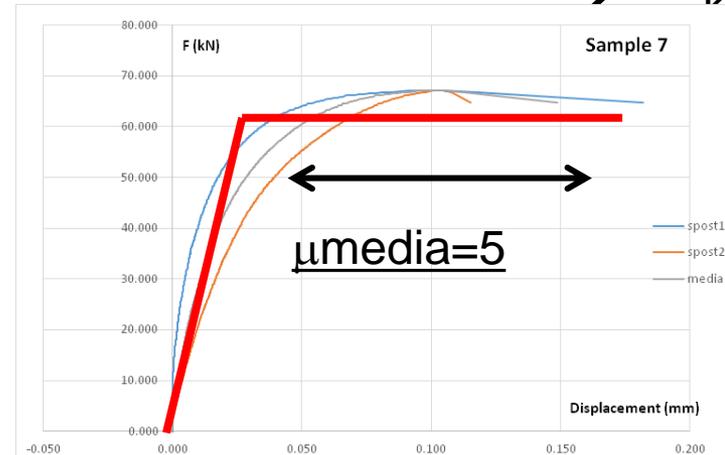
Prove su triplette

- Tripletta tipo 5 + malta duttile (Litokol)
 - Verifica accoppiamento lungo le superfici
 - Verifica duttilità
 - Verifica tensioni tangenziali



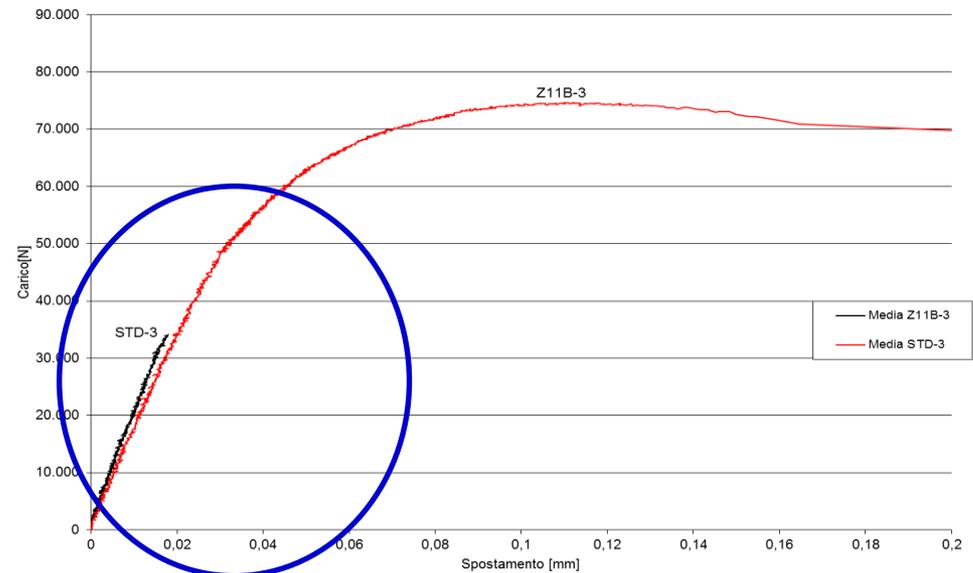
Rottura ottimale (nello spessore)

$\tau_{media} = 6,6$
kg/cmq



Confronto tripletta STD vs Z11B

- Tripletta mattone W + malta litokol (denominata Z11B)
- Tripletta mattone W + malta \ (denominata STD)
 - Verifica accoppiamento lungo le superfici
 - Verifica duttilità
 - Verifica tensioni tangenziali



I muri realizzati ed utilizzati per le prove di compressione diagonale

- I Muri realizzati
 - 14 Diverse tipologie così come ottenute dagli accoppiamenti di:

	W	0	1	2	3	4	5
malta W	WW	0W	1W	2W	3W	4W	5W
malta L	WL	0L	1L	2L	3L	4L	5L

- I Muri provati
 - Le 9 seguenti tipologie

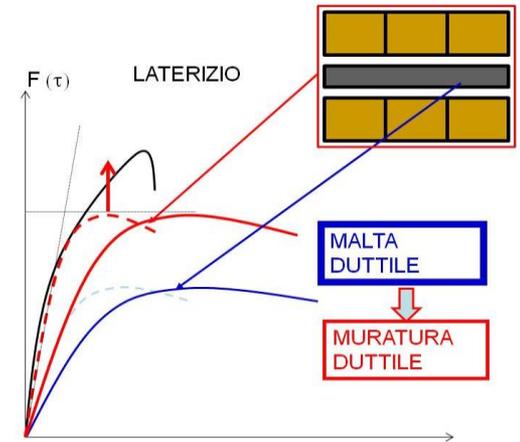
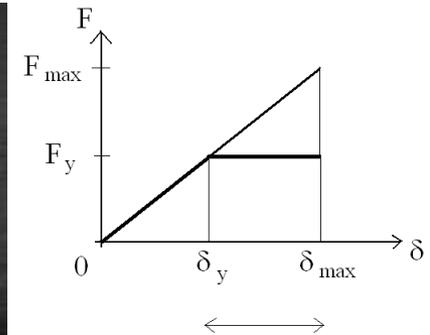
	W	0	1	2	3	4	5
malta W	WW	0W	1W	2W			5W
malta L	WL	0L		2L			5L

- La scelta effettuata anche in base alle specifiche caratteristiche (realizzative e di base) dei materiali



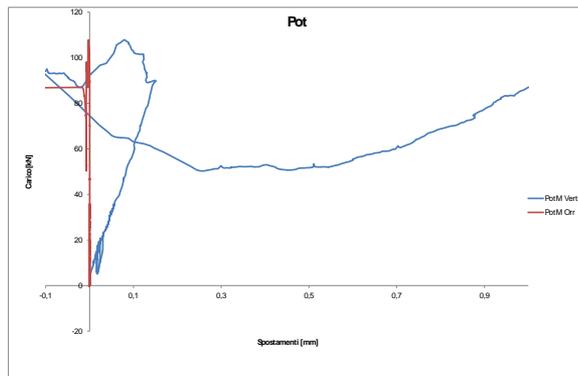
Set up di prova ASTM E519-02

- **ASTM E519-02 – Resistenza a taglio – Compressione diagonale**



La prova 1

- PRIMA PROVA:
 - LATERIZIO: W
 - MALTA: W

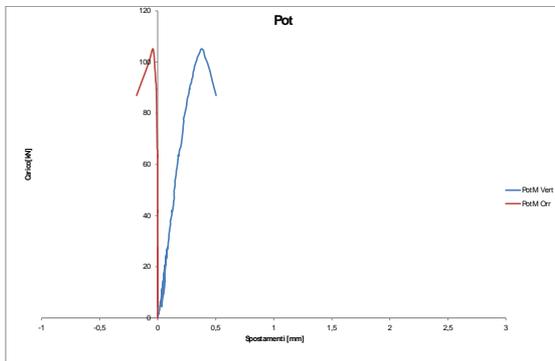


T	w	L	P	g
mm	mm	mm	N	mm
380	1200	1210	107833	1210
$S_{s,lorda}$	A_{lorda}	Y	G	n
N/mm ²	mm ²	(DV+DH)/g	N/mm ²	-
0.166494	457900	6.80165E-05	2447.848	0.5

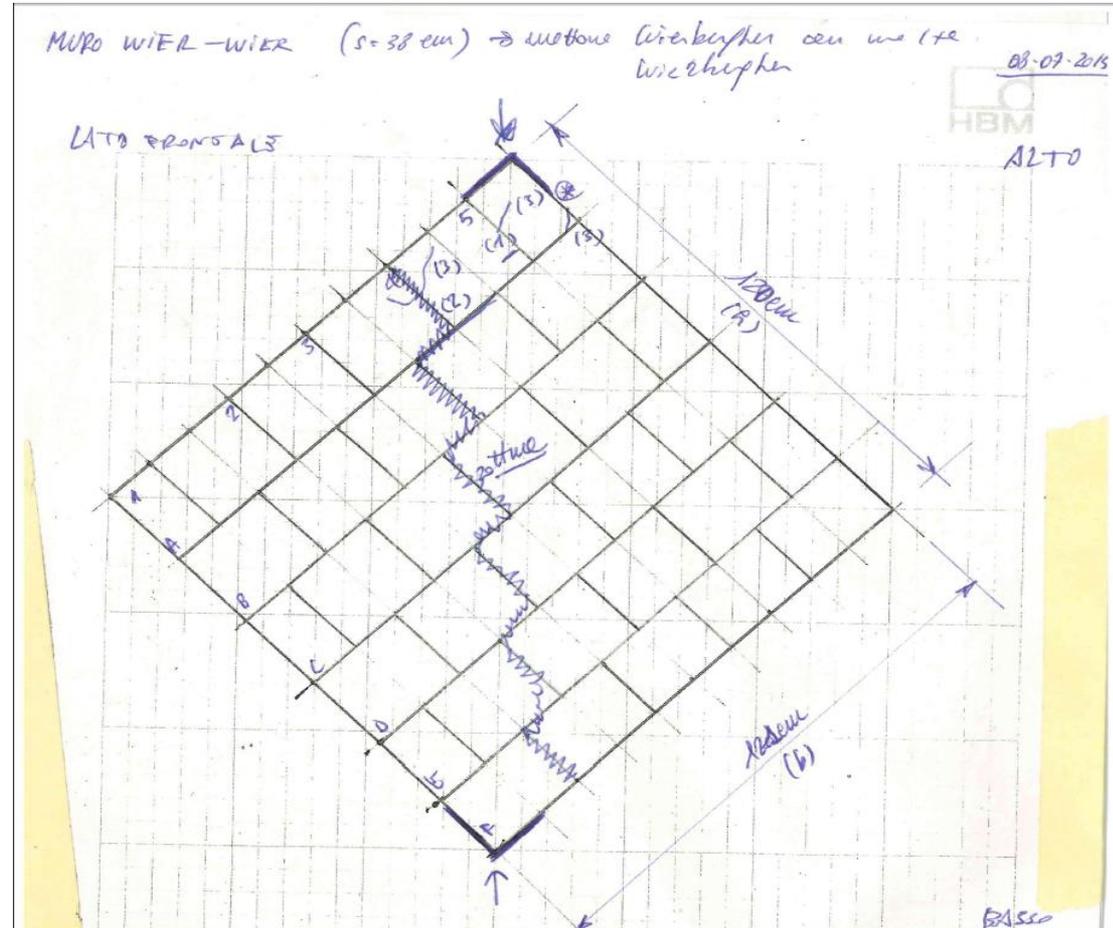


La prova 2

- **SECONDA PROVA:**
 - LATERIZIO: W
 - MALTA: L

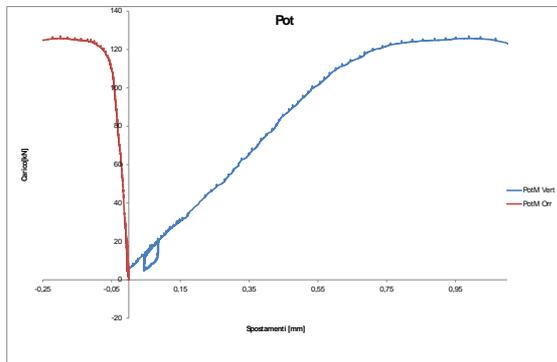


T	w	L	P	q
mm	mm	mm	N	mm
380	1200	1200	105229	1215
S_s	A_n	Y	G	
N/mm ²	mm ²	(DV+DH)/g	N/mm ²	-
0.163151	456000	7	470.3481	0.5

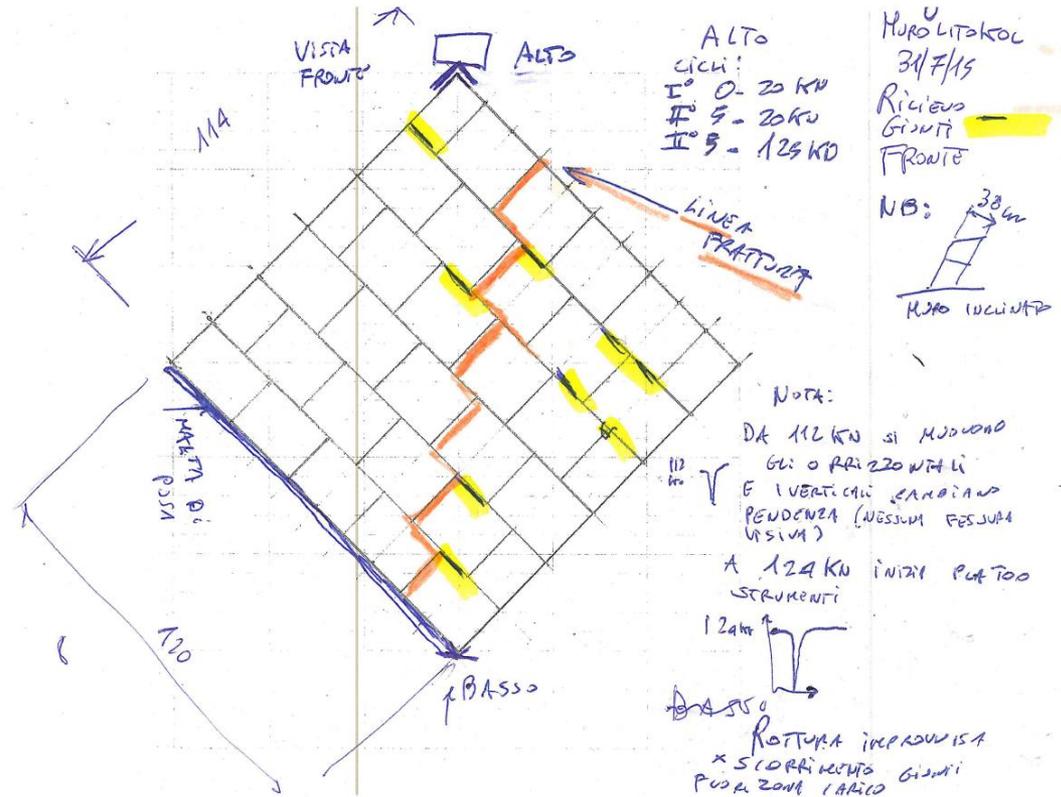


La prova 4

- QUARTA PROVA:
 - LATERIZIO: 0
 - MALTA: L

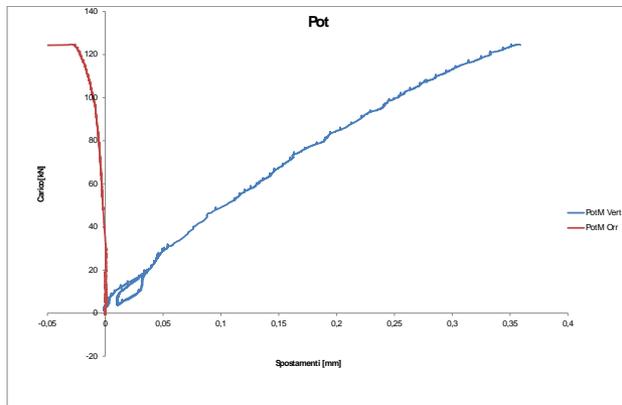


T	w	L	P	q
mm	mm	mm	N	mm
380	1140	1200	127133	1210
$S_{s,lorda}$	A_{lorda}	Y	G	n
N/mm ²	mm ²	(DV+DH)/g	N/mm ²	-
0.06349	1415700	0.00098	64.68214	0.5

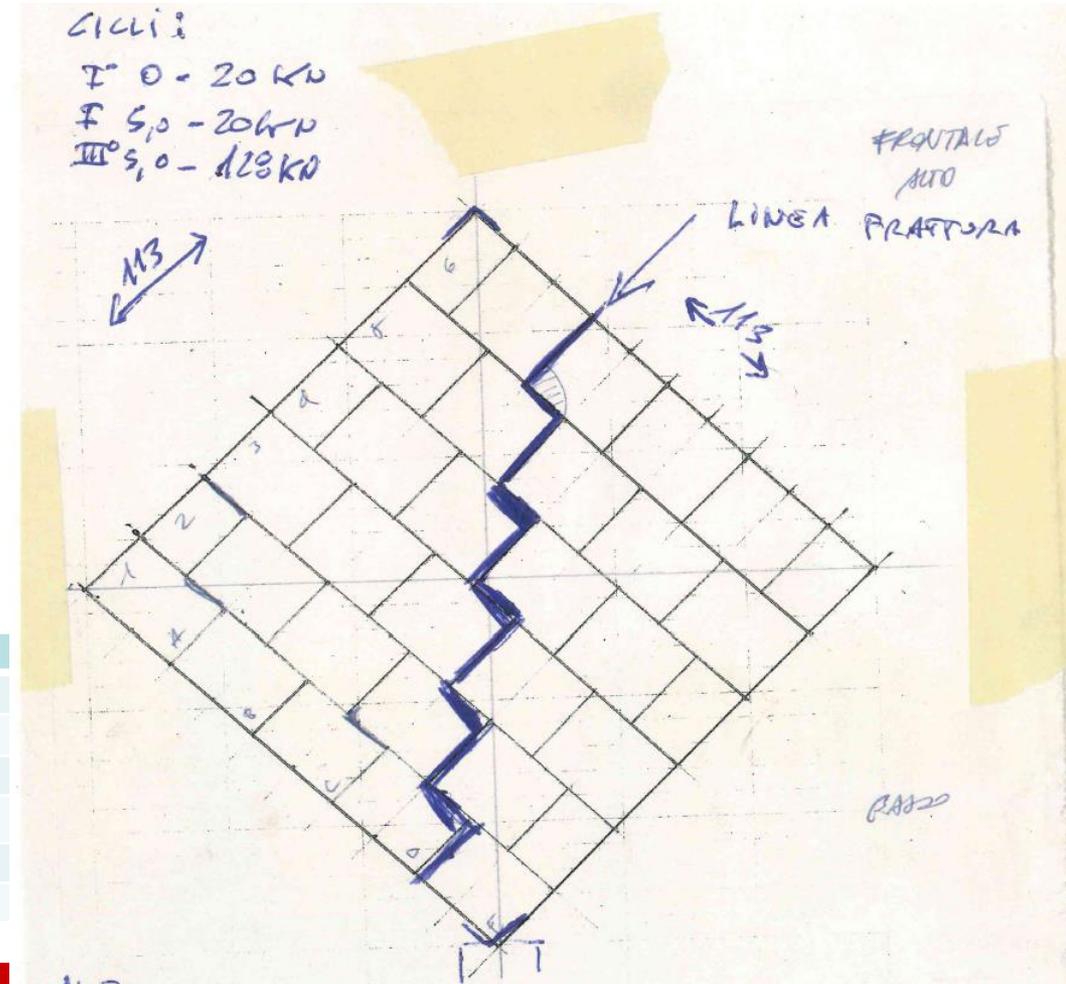


La prova 5

- QUINTA PROVA:
 - LATERIZIO: 1
 - MALTA: W

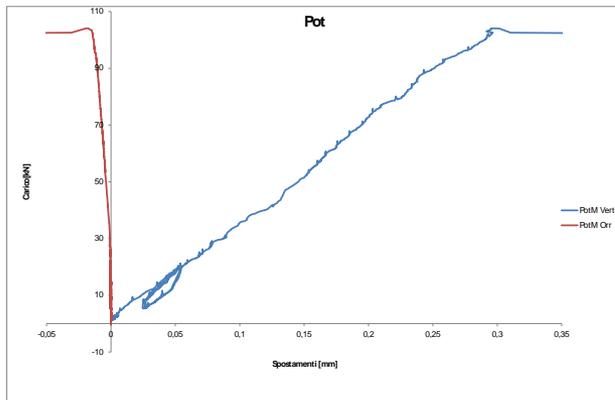


T	w	L	P	g
mm	mm	mm	N	mm
380	1130	1130	124806	1210
$S_{s,lorda}$	A_{lorda}	Y	G	n
N/mm ²	mm ²	(DV+DH)/g	N/mm ²	-
0.055612	1415700	0.000229959	241.8341	0.5

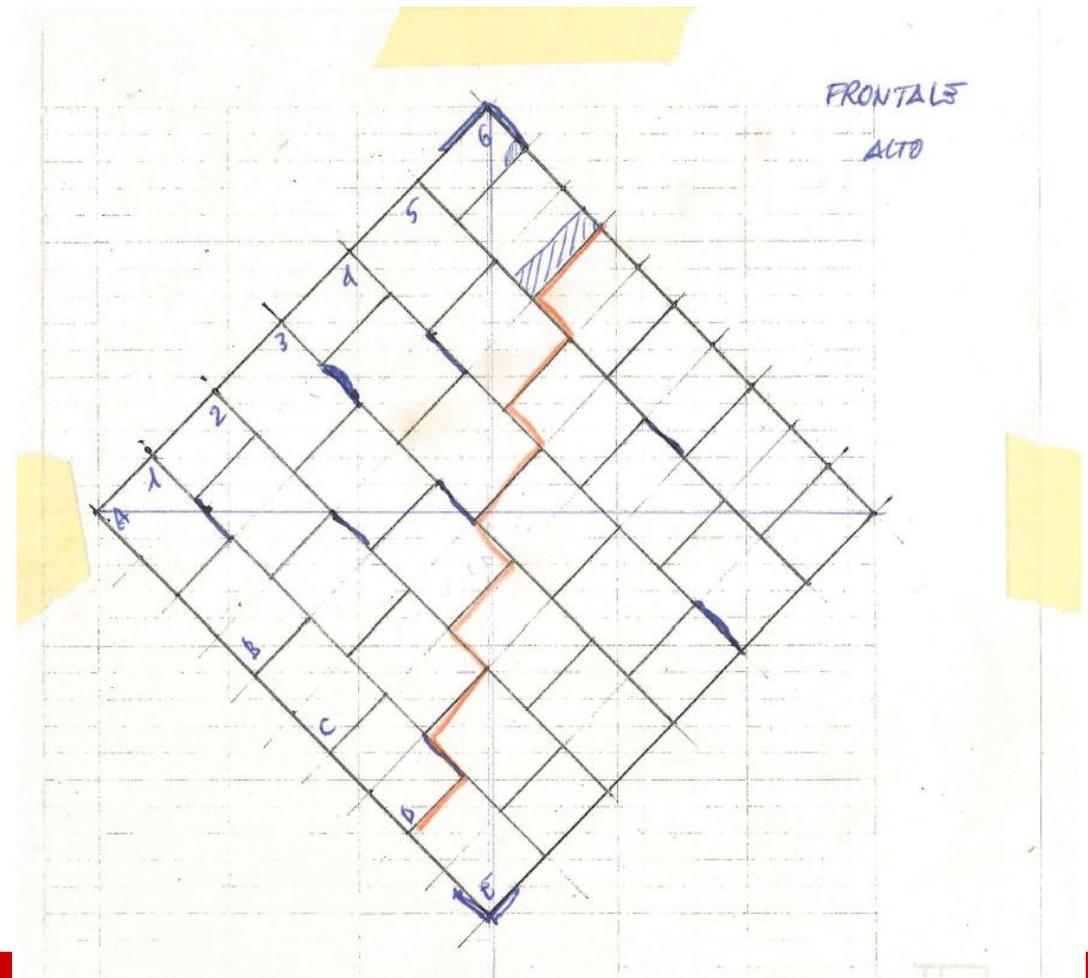


La prova 6

- SESTA PROVA:
 - LATERIZIO: 2
 - MALTA: W

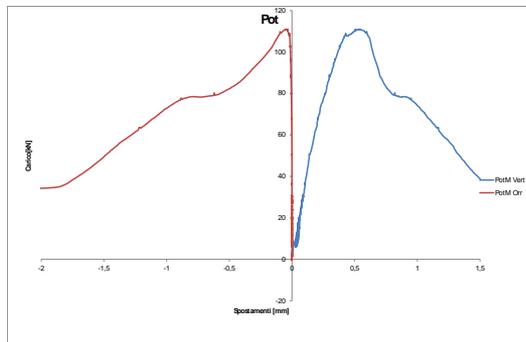


T	w	L	P	q
mm	mm	mm	N	mm
380	1130	1130	104092	1210
$S_{s,lorda}$	A_{lorda}	Y	G	n
N/mm ²	mm ²	(DV+DH)/g	N/mm ²	-
0.053824	1367300	0.00026	206.8167	0.5

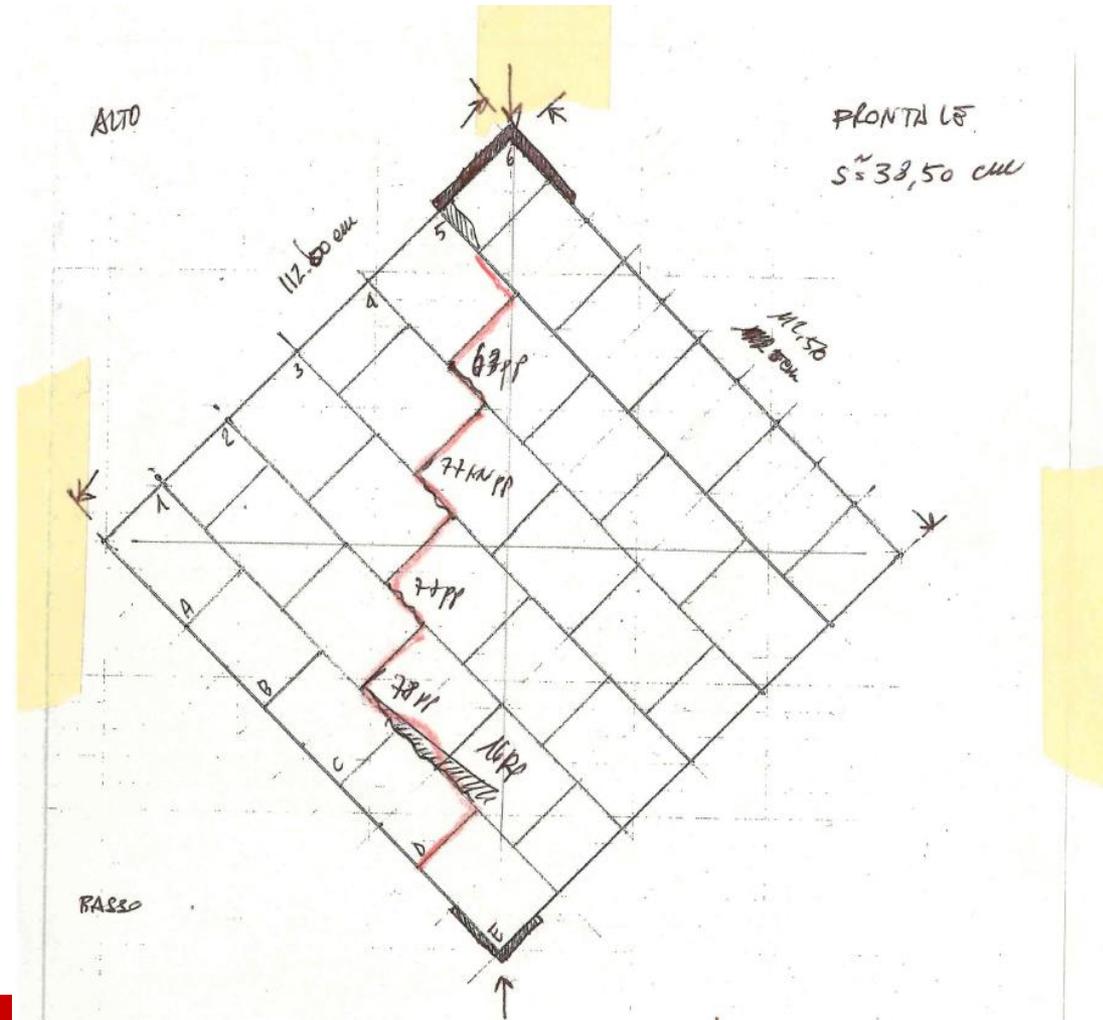


La prova 7

- SETTIMA PROVA:
 - LATERIZIO: 2
 - MALTA: L

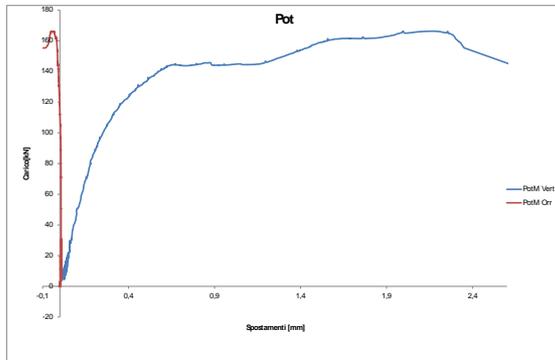


T	w	L	P	a
mm	mm	mm	N	mm
390	1120	1120	111008	1210
$S_{s,lorda}$	A_{lorda}	Y	G	n
N/mm ²	mm ²	(DV+DH)/g	N/mm ²	-
0.057912	1355200	0.00044	7	129.5145
		7	129.5145	0.5



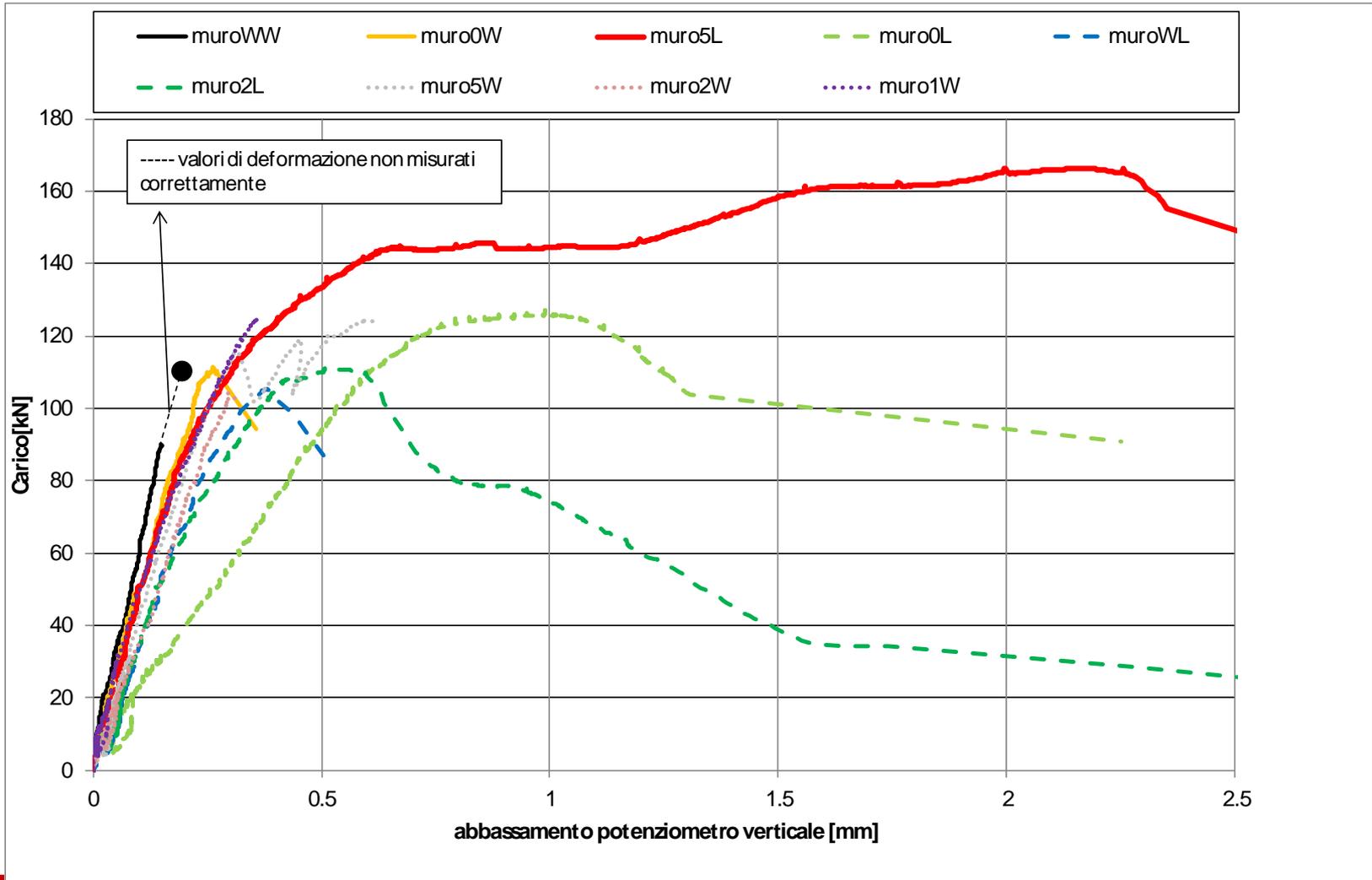
La prova 9

- NONA PROVA:
 - LATERIZIO: 5
 - MALTA: L



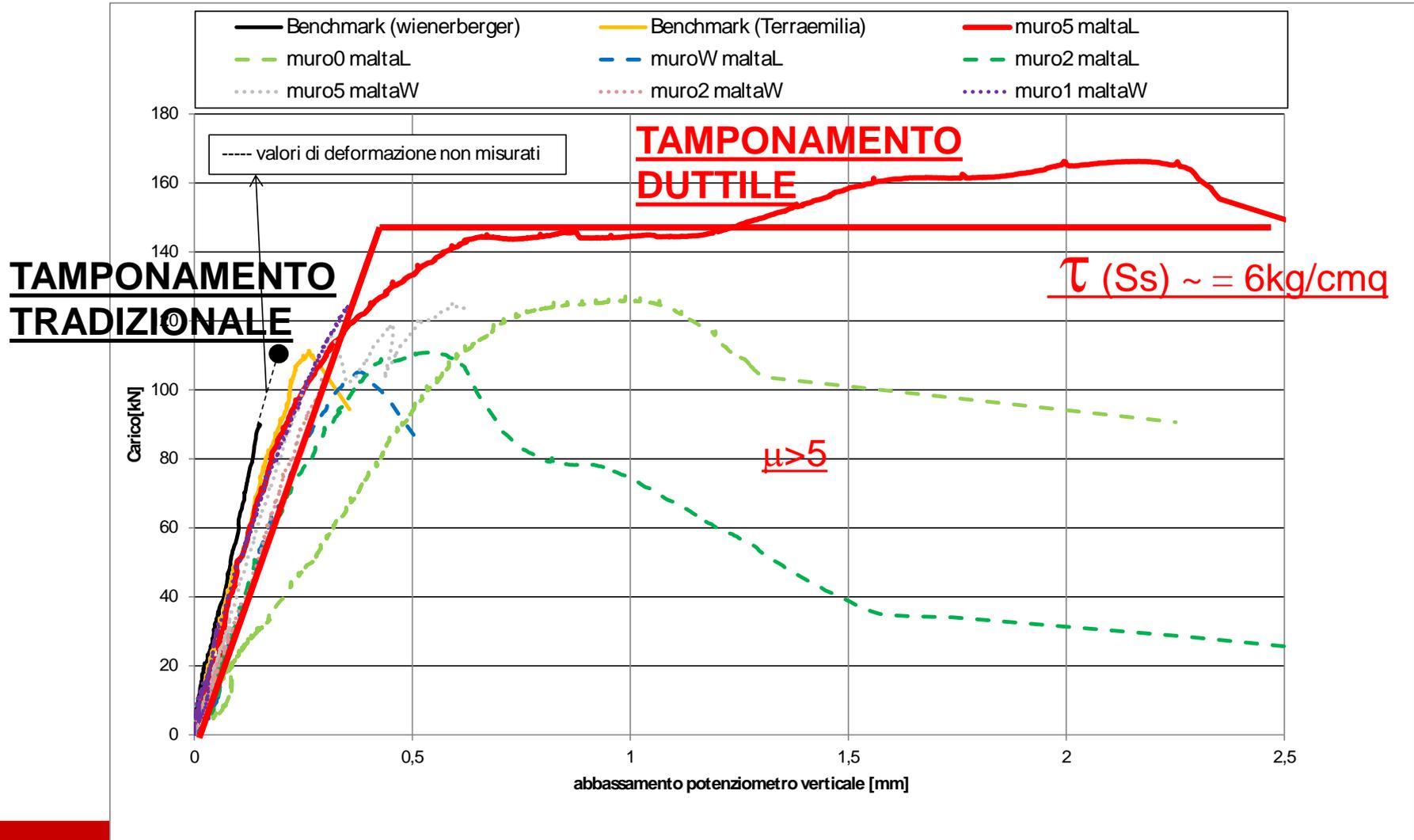
T	w	L	P	g
mm	mm	mm	N	mm
380	1130	1120	166253	1210
$S_{s,lor da}$	$A_{lor da}$	Y	G	n
N/mm ²	mm ²	(DV+DH)/g 0.00167	N/mm ²	-
0.274949	427500	5	164.1445	0.5

I diagrammi forza-spostamento



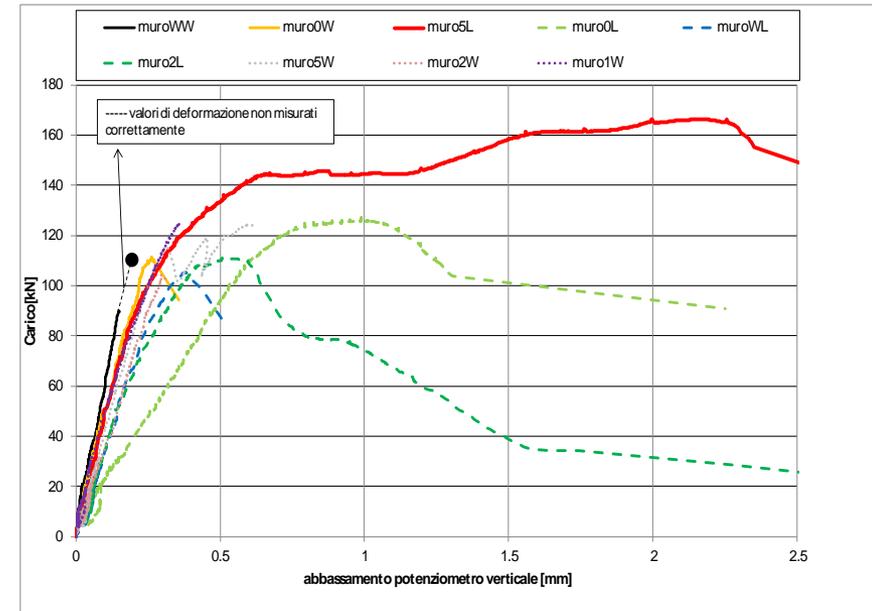


Attività sperimentale: PRIMI RISULTATI



Considerazioni

- I campioni realizzati con malta di tipo tradizionale manifestano tutti rotture di tipo fragile (all'interfaccia malta mattone) con valori attorno alle 10-12 t.
- L'accoppiamento tra il mattone di tipo semi-strutturale (denominato tipo 5) con la malta "litokol" consente di ottenere un comportamento decisamente duttile con valori di deformazione alla rottura tra le 4 e le 8 volte superiori a quelli realizzati con malta tradizionale e resistenza di circa 16 t (circa + 50% rispetto ai campioni realizzata con malta tradizionale).
- I campioni realizzati con malta litokol mostrano capacità deformative decisamente superiori rispetto a quelli realizzati con malta di tipo tradizionale





Problematiche specifiche / tecniche costruttive

Criticità ai Nodi



Passaggio degli impianti
all'estremità della trave



Macrovuoto del cls gettato in opera



Il pilastro tozzo



Formazione di pilastro tozzo per parziale sviluppo lungo l'altezza delle murature

Martellamenti



Martellamento tra strutture diverse poste in aderenza

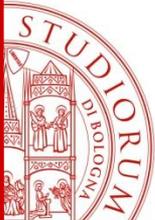
Perdita del copriferro



Perdita del copriferro e conseguente perdita dell'ancoraggio



Interventi/Ricostruzione



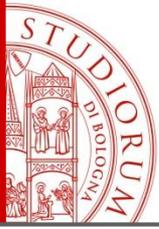
Interventi/Ricostruzione

1. Eliminazione delle vulnerabilità specifiche
2. Interventi sui telai (nodi e staffe)
3. Interventi «globali»



Eliminazione delle vulnerabilità specifiche

- Riduzione / eliminazione (per quanto possibile)
 - Piano debole
 - Pilastro tozzo
 - Incongruenze realizzative
 - Masse aggiuntive
 - Ridurre problema di espulsione dei tamponamenti



Interventi sui telai

- **Pilastr**
 - Incamiciatura (calastrelli in acciaio)
 - Fasciature in fibra di carbonio
- **Nodi**
 - Incamiciatura in acciaio
 - Fasciature in fibra di carbonio

Interventi sui telai

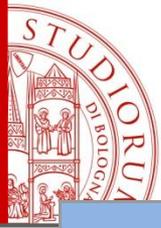


Calastrelli metallici lungo lo sviluppo verticale del pilastro: intervento a carattere discreto, ma con possibilità di assumere quote parte di sforzo normale agente sul pilastro



Fasciatura in frp dei nodi e delle estremità dei pilastri: fasciatura continua con conseguente incremento di taglio e resistenza a compressione del conglomerato.





Interventi sui telai

SOLUZIONE MERCEOLOGICA SM8

Riferimento codifica X.s.X.X.X.X.X.X.8

SOLUZIONE TECNOLOGICA 8 - INTERVENTO DI INCAMICIATURA

FOTO ESEMPLIFICATIVE



DESCRIZIONE POSA

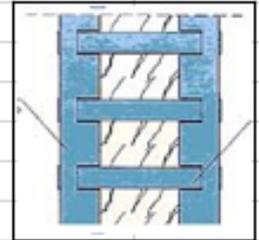
Fasi	Descrizione
1	Rimozione dell'intonaco (ove presente) e rimozione corticale con idropulvisatori per batteri del sistema...

SOLUZIONE MERCEOLOGICA SM11

Riferimento codifica X.s.X.X.X.X.X.X.11

SOLUZIONE TECNOLOGICA 11 - INTERVENTO DI CALASTRELLATURA (con iniezione di resina)

FOTO ESEMPLIFICATIVE

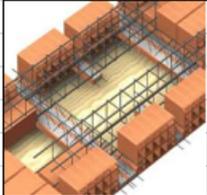


DESCRIZIONE POSA

Interventi sui telai

SOLUZIONE MERCEOLOGICA SM10			
Riferimento codifica X.s.X.X.X.X.X.X.X.10			
SOLUZIONE TECNOLOGICA 10 - INTERVENTO DI COLLEGAMENTO DEI PILASTRI ALLE			
FOTO ESEMPLIFICATIVE			
			

Interventi sui telai

SOLUZIONE MERCEOLOGICA SM13			
Riferimento codifica X.s.X.X.X.X.X.X.X.13			
SOLUZIONE TECNOLOGICA 13 - INTERVENTO DI REALIZZAZIONE DI NUOVE TRAVI (Possibile)			
FOTO ESEMPLIFICATIVE			
			

SOLUZIONE MERCEOLOGICA SM14			
Riferimento codifica X.s.X.X.X.X.X.X.X.14			
SOLUZIONE TECNOLOGICA 14 - INTERVENTO DI PLACCAGGIO DELLE TRAVI CON LAMINE DI			
FOTO ESEMPLIFICATIVE			
			

Interventi sui telai

SOLUZIONE MERCEOLOGICA SM15

Riferimento codifica X.s.X.X.X.X.X.X.X.15

SOLUZIONE TECNOLOGICA 15 - INTERVENTO DI PLACCAGGIO DELLE TRAVI CON LAMINE O

FOTO ESEMPLIFICATIVE

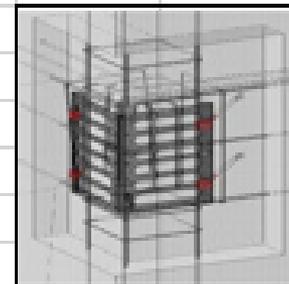


SOLUZIONE MERCEOLOGICA SM18

Riferimento codifica X.s.X.X.X.X.X.X.X.18

SOLUZIONE TECNOLOGICA 18 - INTERVENTO PER LA REALIZZAZIONE

FOTO ESEMPLIFICATIVE



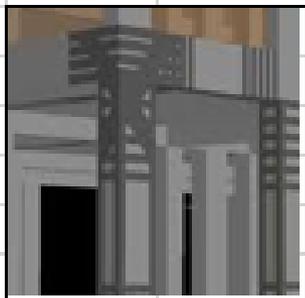
Interventi sui telai

SOLUZIONE MERCEOLOGICA **SM19**

Riferimento codifica X.s.X.X.X.X.X.X.X.19

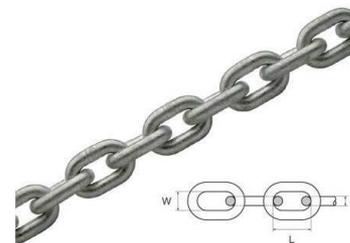
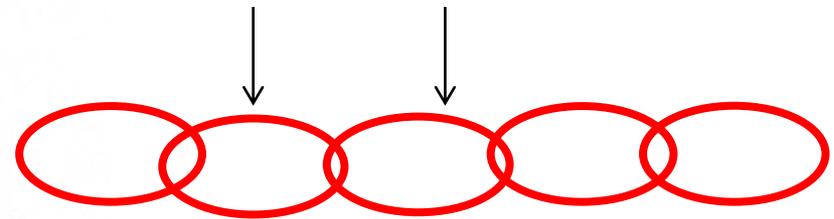
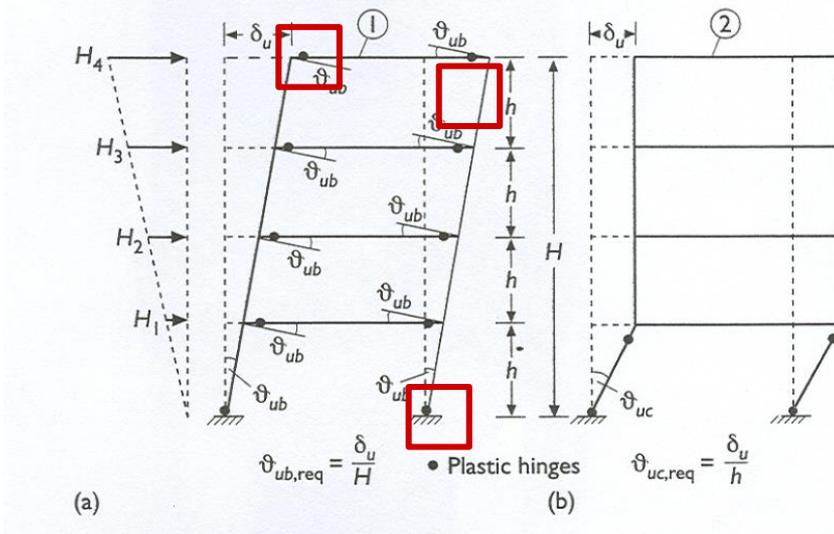
SOLUZIONE TECNOLOGICA 19 - INTERVENTO PER IL CONFINAMENTO

FOTO ESEMPLIFICATIVE



Fondamentale

- Tutti gli interventi siano «coordinati» in «pacchetti» in grado di migliorare il comportamento GLOBALE della struttura



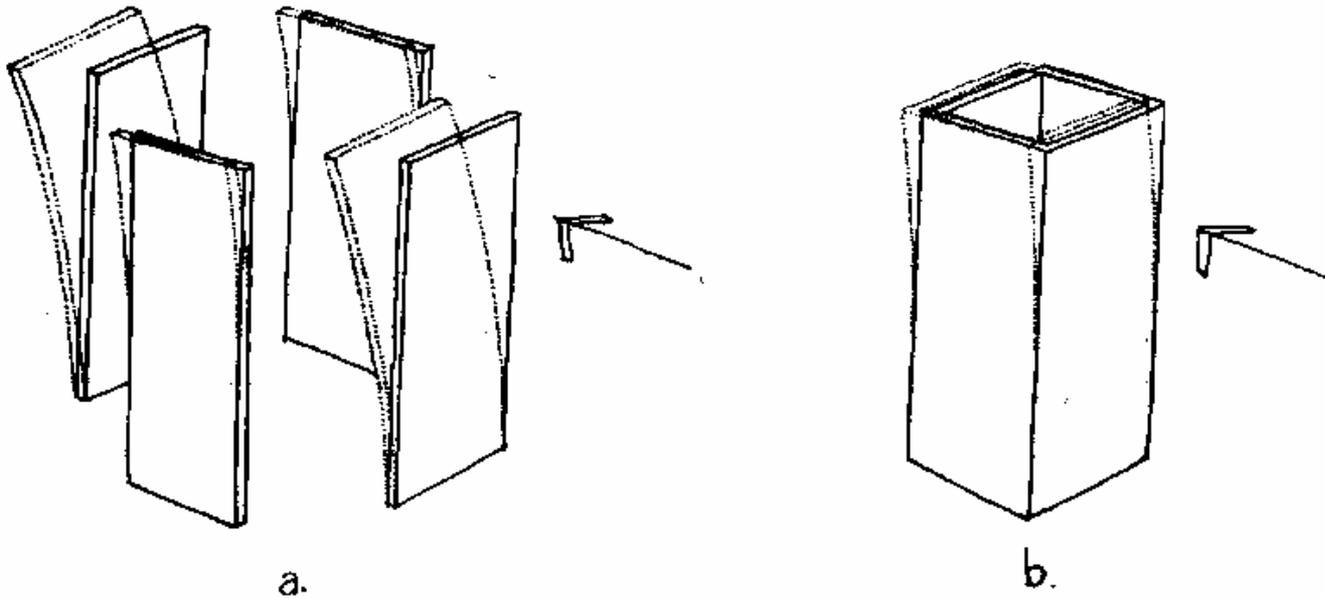


Interventi «globali»

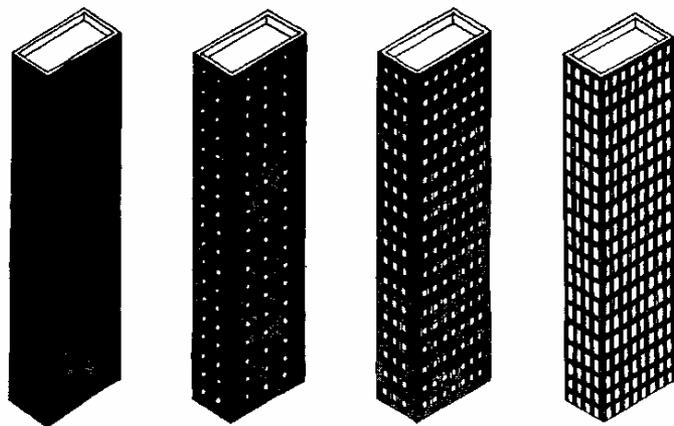
- Realizzazione di un comportamento strutturale «scatolare»
- Inserimento di controventamenti:
 - Tradizionali
 - Dissipativi
 - Interni
 - Esterni

Globali 1: realizzazione di un comportamento **scatolare**

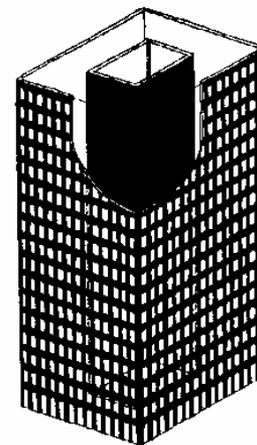
- Comportamento scatolare



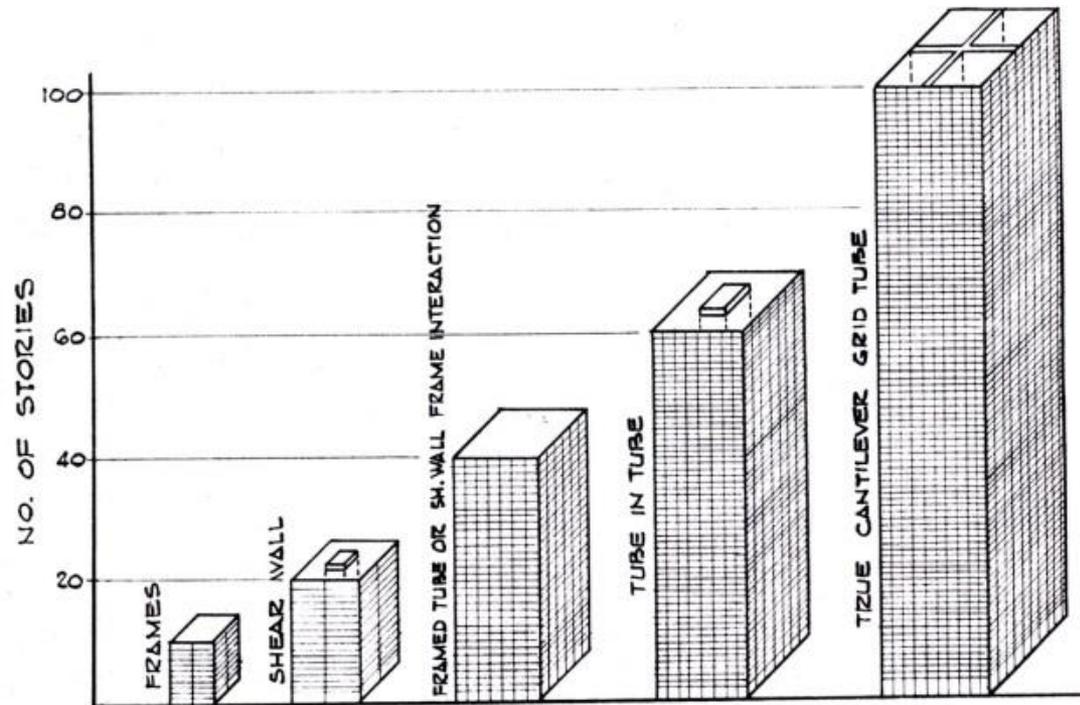
Fazlur Khan



Evolution of the framed tube concept from solid perimeter wall to beam-column perimeter grid. (Drawing by David Fung, adapted from a drawing in Khan, "Tall Buildings," 1974.)



Fazlur Khan



At a tall building symposium in 1966 (proceedings published in Tall Buildings, 1967), Khan demonstrated the dramatic increase in height that could be achieved economically by using a "true cantilever grid tube" structural system.

Globali 1: realizzazione di un comportamento scatolare

- Impacchettamento murature



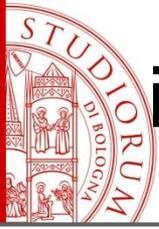
Betoncino armato

Globali 2: inserimento di elementi aggiuntivi

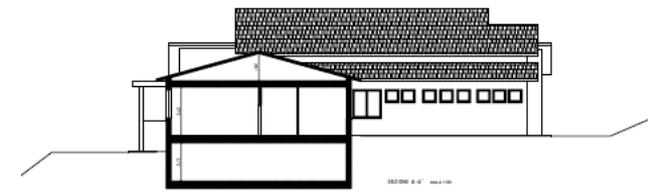
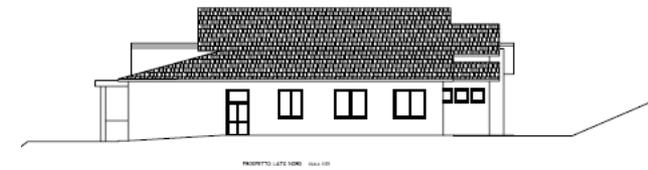
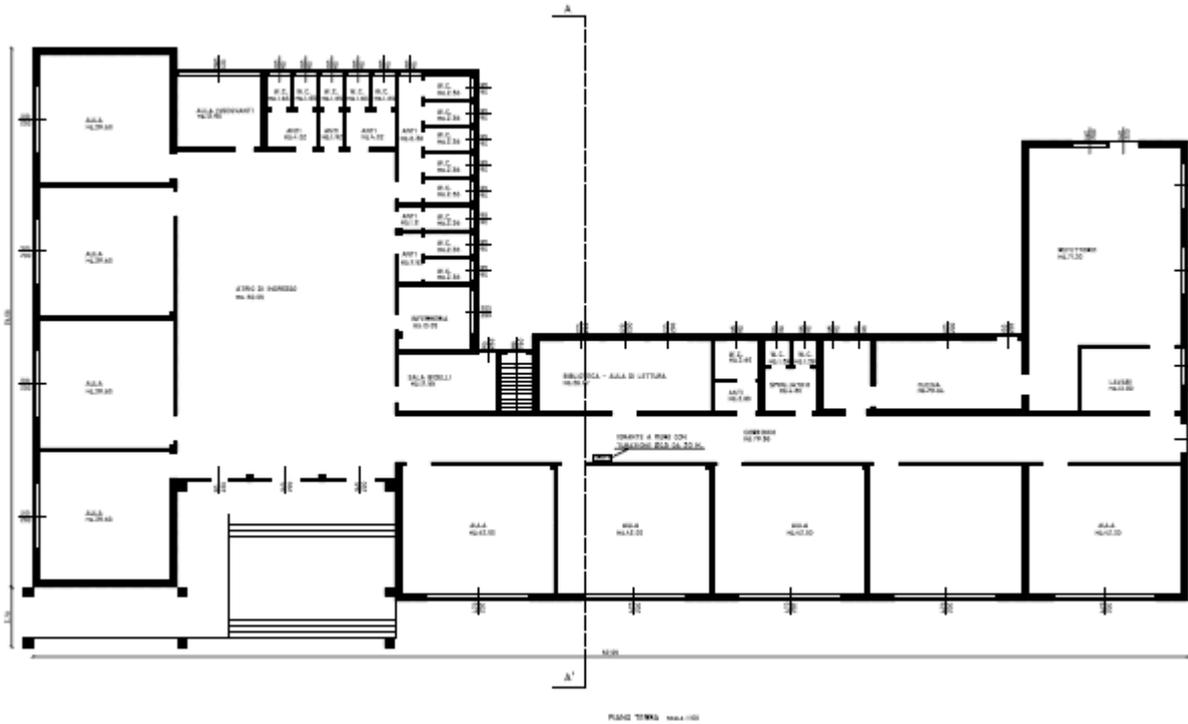
- Creazione di strutture «esterne» in grado di reggere l'azione orizzontale data dal sisma

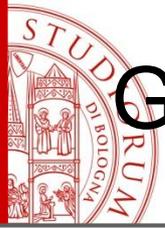


Setti esterni collegati alla struttura esistente per l'assorbimento delle azioni sismiche orizzontali

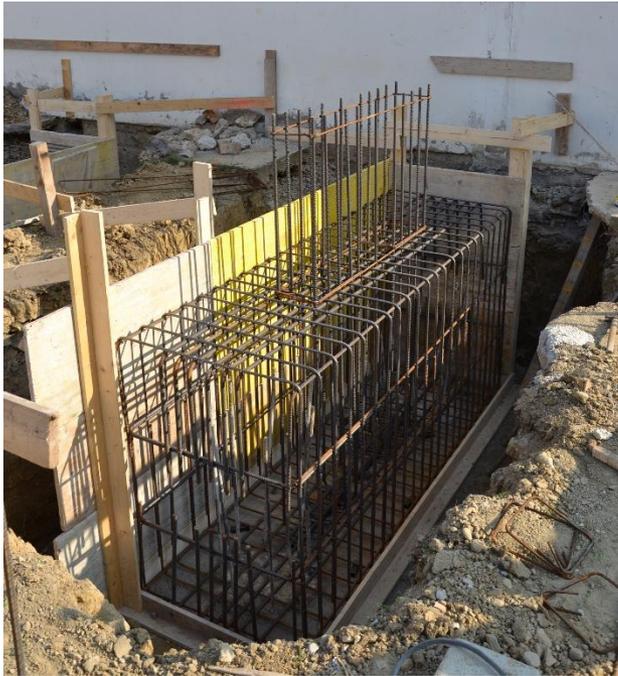


inserimento di controventamenti aggiuntivi (esterni)





Globali 2: inserimento di elementi aggiuntivi





Globali 2: inserimento di elementi aggiuntivi





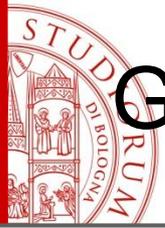
Globali 2: inserimento di elementi aggiuntivi



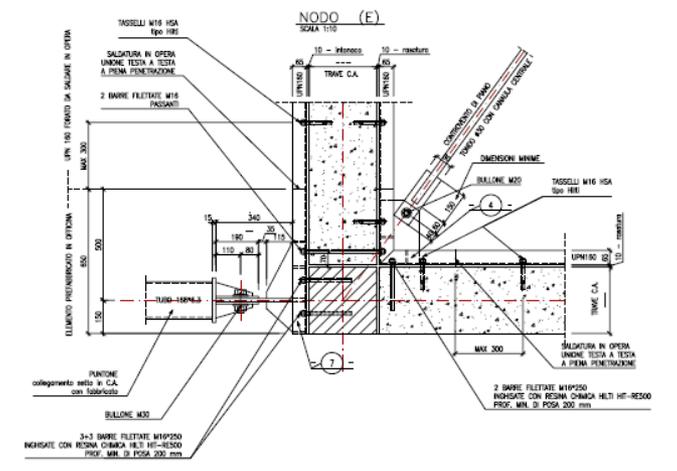
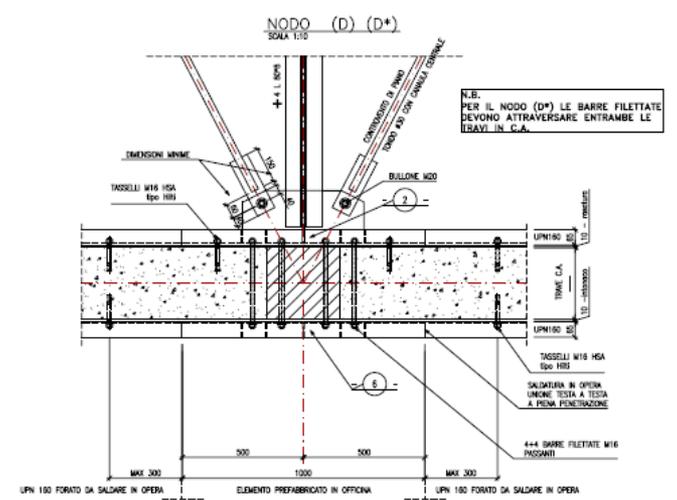
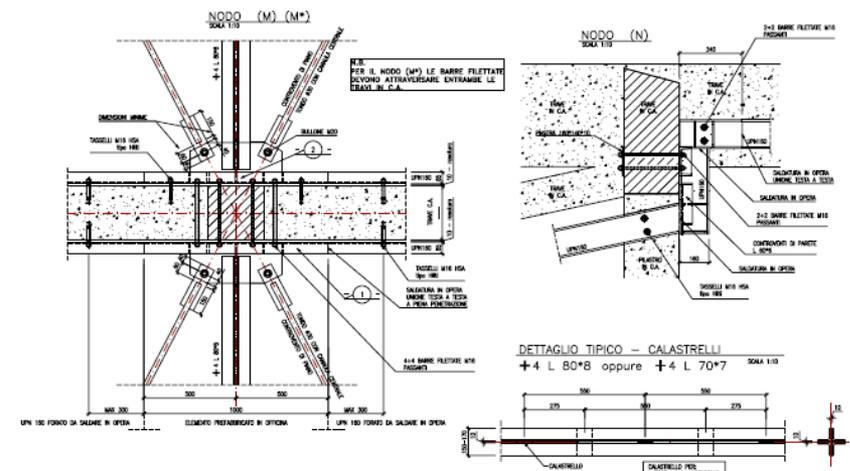


Globali 2: inserimento di elementi aggiuntivi





Globali 2: inserimento di elementi aggiuntivi





Globali 2: inserimento di elementi aggiuntivi



Inserimento di **controventamenti interni**

- Tradizionali Interni

Principali problematiche:

- Interventi **invasivi**
- Continuità della **distribuzione** interna
- **Bi-direzionalità**
- **Collegamento in fondazione** per la trasmissione delle azioni
- **Fondazione**



Inserimento di setti all'interno o all'esterno della struttura

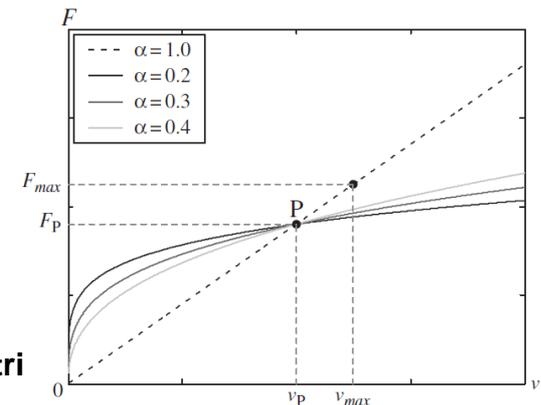
• Dissipativi Interni

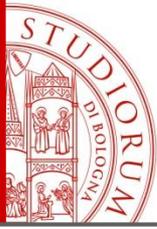
Principali problematiche:

- Interventi **invasivi**
- Continuità della **distribuzione** interna
- **Bi-direzionalità**



Minori azioni nei controventi a parità di riduzione delle azioni in travi e pilastri





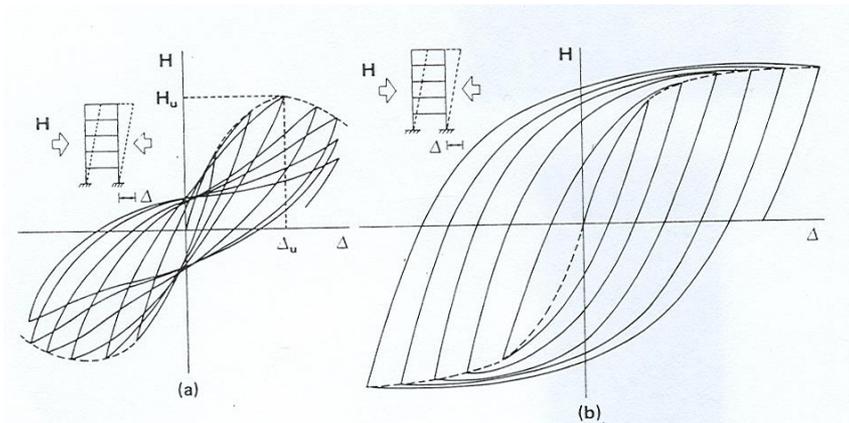
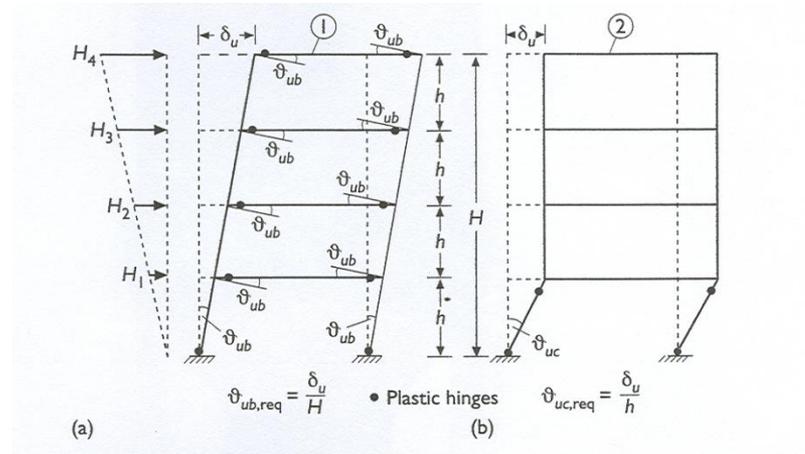
Globali 2: inserimento di elementi aggiuntivi

- A confronto

	Interno	Esterno
Tradizionale		
Dissipativo		

Le strutture resistenti all'azione del sisma

- Particolare attenzione è quindi dedicata ai sistemi resistenti alle azioni **orizzontali**, necessariamente caratterizzati da capacità:
 - **Resistenti**
 - **Dissipative**

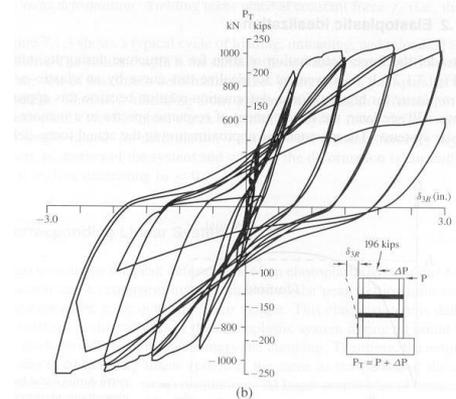
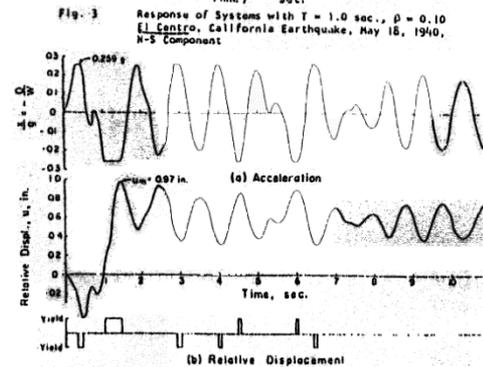
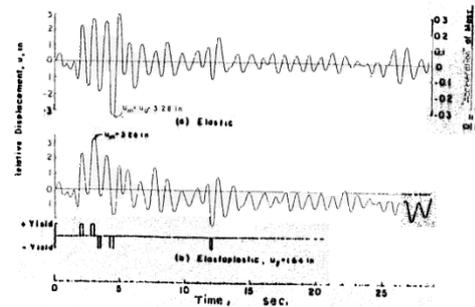
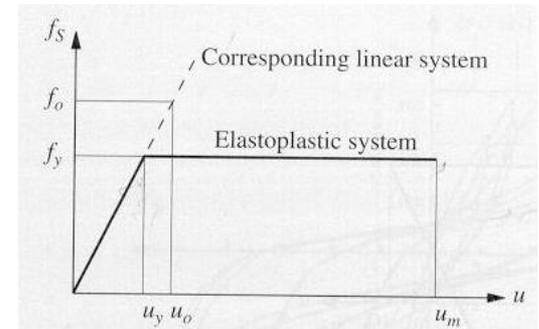
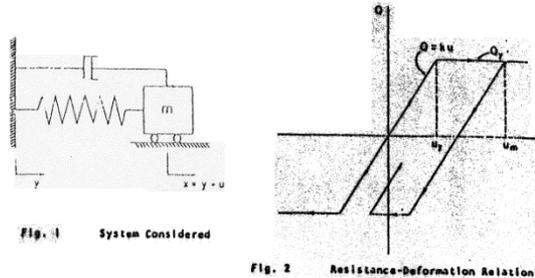


Resistenza, dissipazione e duttilità



- La dissipazione, ottenuta attraverso un comportamento duttile è in grado di “sopperire” a minori capacità resistenti

H. M. Newmark and A. S. Veletsos





ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

Grazie per l'attenzione