



SEMINARIO CIAS – VERONA 27/06/2013

LE INDAGINI SPERIMENTALI COME STRUMENTO DI VERIFICA SISMICA

Ordine degli Ingegneri della Provincia di Verona

 **POLITECNICO DI MILANO**



LIVELLI DI CONOSCENZA E FATTORI DI CONFIDENZA NELLA VERIFICA DI VULNERABILITÀ SISMICA

MAURIZIO ACITO

(Dipartimento di Architettura e Ingegneria delle Costruzioni e Ambiente Costruito - ABC)

POLITECNICO DI MILANO

FABIO CAVAGNERA

MM Metropolitana Milanese



LA VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA PER LE COSTRUZIONI ESISTENTI

COSTRUZIONI “ESISTENTI”

Le costruzioni “esistenti” cui si applicano le norme contenute nel Capitolo 8 della NTC 08, sono quelle la cui struttura sia completamente realizzata alla data della redazione della valutazione di sicurezza e/o del progetto di intervento.

Nel capitolo 8, vengono introdotti, fra gli altri, i **concetti di livello di conoscenza** (relativo a geometria, dettagli costruttivi e materiali) e **fattore di confidenza** (che modificano i parametri di capacità in ragione del livello di conoscenza).

La Circolare di istruzione della NTC 08 definisce costruzione esistente:

- una costruzione che abbia la relazione di strutture ultimate se in c.a.;
- una costruzione con collaudo statico se in muratura;



COSTRUITO STORICO

LA TORRE DEI MODENESI DI FINALE EMILIA

3





LA ROCCA DI FINALE EMILIA



COSTRUITO DI INTERESSE STORICO IN MURATURA

PALAZZO GHISI GIA
SOMMARIVA A LODI

CAVALLERIZZE MUSEO DELLE SCIENZE E
TECNOLOGIA DI MILANO



PIRELLI: PIANO 31°

GRATTACIELO PIRELLI - MILANO



MISURA DELLA SICUREZZA COSTRUZIONI ESISTENTI

La valutazione della sicurezza, che, per le costruzioni esistenti, potrà essere eseguita con riferimento ai soli **Stati limite ultimi**.

Le verifiche dovranno esplicitare, in un'apposita relazione, i **livelli di sicurezza già presenti nella costruzione esistente e quelli raggiunti con l'intervento**, nonché le eventuali conseguenti limitazioni da imporre nell'uso della costruzione.

PROCEDURE DI VERIFICA DEI REQUISITI DI SICUREZZA

Le procedure di misure della sicurezza di cui si dispone sono diverse ed operano a diversi livelli di complessità. Nella tabella sono riportati i principali metodi impiegati.

metodi deterministici	degli effetti ammissibili (ad es. le tensioni) $\bar{\sigma}, \bar{\tau}$ delle azioni ammissibili (ad es. i carichi); \bar{q}, \bar{Q}
metodi probabilistici	di livello 3 (con la disuguaglianza $P_f \leq P_f^*$ per le probabilità di insuccesso) di livello 2 (ad es. del primo ordine FORM e del secondo ordine SORM) di livello 1 (metodo semi-probabilistico agli stati limite, ad es. CEB, FIP);
fuzzy sets	misura fuzzy random sets;
metodi dell'incertezza	teoria dell'evidenza teoria della possibilità teoria della necessità.

Tab. 1.1 - Metodi di misura della sicurezza



Per quanto riguarda i **metodi probabilistici** è noto che sono disponibili diversi procedimenti per ottenere i valori di P_f

I metodi divulgati in letteratura vengono definiti:

Metodi di livello 3, quando il calcolo della P_f è fatto in modo esatto;

Metodi di livello 2, quando la P_f è valutata attraverso una relazione nominale basata su una grandezza β detta indice di sicurezza (o distanza di sicurezza);

Metodi di livello 1, dove non si calcola la P_f , ma si fa in modo che i valori P_{fi}^* (valori di targa) non vengano ad essere superati attraverso l'adozione di opportuni coefficienti parziali γ , lato resistenza e lato sollecitazioni, e coefficienti ψ per la combinazione delle azioni.

Per quanto riguarda i **metodi di livello 1** agli stati limite è necessario:

- Definire Gli Stati Limite (SLU, SLE);
- Classificare gli SLU (EQU, STR, GEO);
- Definire i Coefficienti parziali da considerare lato azioni e lato resistenza;
- Definire e caratterizzare i parametri meccanici di materiali strutturali e geotecnici del terreno;
- Fissare il livello di Affidabilità, in relazione al livello di conoscenza dei parametri meccanici e geotecnici (crescente con l'estensione delle indagini);
- Considerare la Molteplicità degli approcci progettuali associati agli SL;



MISURA DELLA SICUREZZA DI LIVELLO 1 AGLI STATI LIMITE (SLU, SLE)

Il metodo di livello 1 è il metodo operativo impiegato nelle normative vigenti.

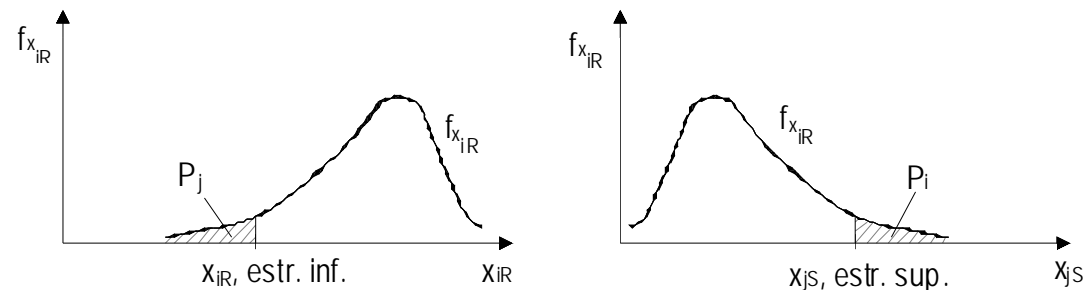
Si consideri l'esito $E=R-S$,

(*)

si pensi di determinare un valore di R , che diremo R_d (valore di progetto), ed un valore di S , valore di progetto S_d , attraverso un esperimento che consiste nell'attribuire alle v.a. di base X_{iR} , che "entrano" nella resistenza, ed X_{jS} , che "entrano" nella sollecitazione, determinati valori, che diremo estremi, in modo da rendere quanto più possibile gravosa la condizione di sicurezza

$$R_d \geq S_d$$

Quindi, in linea di principio, poiché una minorazione delle v.a. X_{iR} , da cui dipende la R , dovrebbe portare ad una minorazione di R , mentre una maggiorazione delle v.a. X_{jS} da cui dipende la S , dovrebbe portare ad una maggiorazione di S , nella (*) dovranno essere introdotti per le X_{iR} ed X_{jS} valori, rispettivamente, estremi inferiori $x_{iR,estr.inf.}$ ed estremi superiori $x_{jS,estr.sup.}$ determinati sulle rispettive statistiche in relazione ad assegnate probabilità P_i e P_j (Fig. 4).



valori estremi inferiori e superiori per R ed S , rispettivamente



Nel caso semplice di una singola sollecitazione, la misura di sicurezza si scrive:

$$R_d \geq S_d, \quad (4)$$

e, nel caso più generale, ove la sollecitazione sia un vettore ad n componenti, e quindi la resistenza sia costituita da un dominio di sicurezza nello spazio ad n componenti nel quale esiste la sollecitazione:

$$\Gamma_{Rd} \ni S_d, \quad (4')$$

Essendo Γ_{Rd} la frontiera del dominio resistente di progetto.

La misura di sicurezza (3) si presenta nel modo seguente:

$$R_d \geq S_d, \quad (4)$$

Ossia

$$\frac{1}{\gamma_R} g_R \left(\frac{f_{ki}}{\gamma_{Mj}} \right) \geq \gamma_S g_S \left(\sum_i \gamma_{fi} \psi_i A_i C_{Sj} \right), \quad (4'')$$

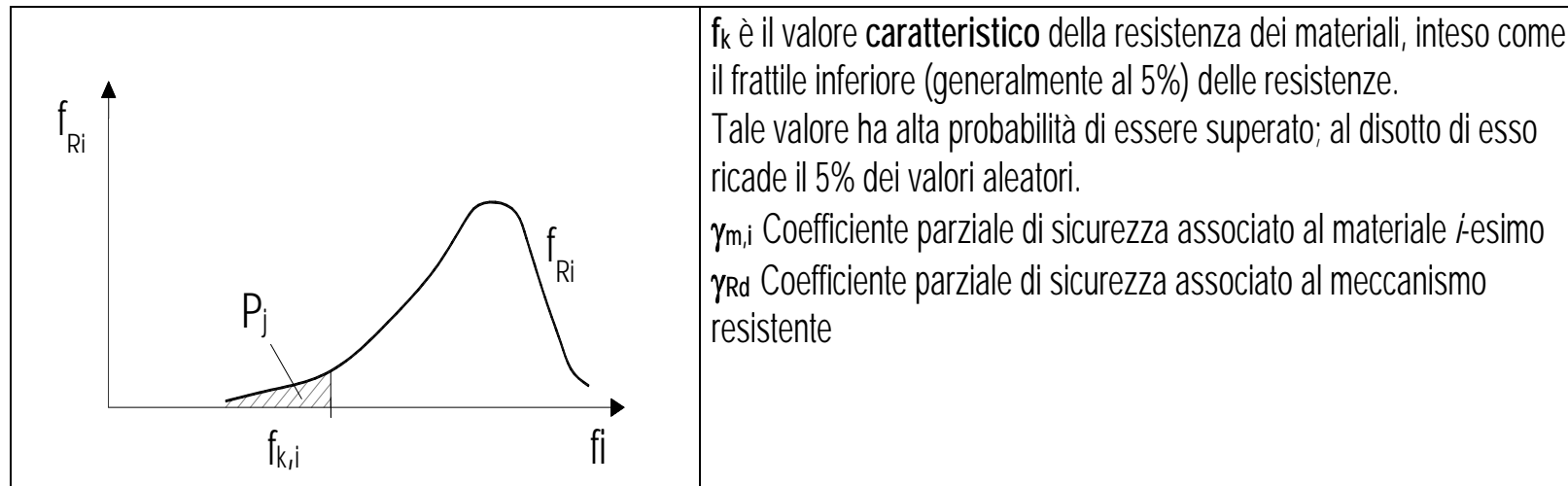


LATO RESISTENZA

La resistenza di progetto si esprime con la relazione:

$$R_d = \frac{1}{\gamma_{Rd}} \cdot g_R \left(\eta \frac{f_k}{\gamma_m}; ad \right) \quad (5)$$

dove γ_m tiene conto delle incertezze sulla proprietà del materiale, η tiene conto degli effetti di scala, e considera le grandezze geometriche che possono o meno considerare delle imperfezioni geometriche, γ_{Rd} considera le incertezze sul modello resistente;





L'origine del coefficiente γ_c risiede nella necessità di coprire le incertezze che risiedono sia nel modello probabilistico utilizzati nella trattazione che nel fatto di far riferimento ad una resistenza convenzionale determinata su provini stagionati in condizioni standard, oltre che dalla necessità di garantirsi dall'eventualità che si verifichino valori di resistenza minori di quelli attesi. In tale ottica, così come delineato nel Bollettino CEB n° 128 (1980), tale coefficiente può essere considerato come prodotto di tre fattori in accordo con la seguente espressione:

$$\gamma_c = \gamma_{c1} \cdot \gamma_{c2} \cdot \gamma_{c3} \quad (2)$$

dove il significato di questi fattori è il seguente:

1) Il **fattore γ_{c3}** copre quelle incertezze che non possono essere considerate in una trattazione puramente probabilistica. Con tale fattore, quindi, si vogliono considerare le incertezze del modello di progetto che definisce la variabile aleatoria resistenza e le imprecisioni dell'esecuzione della struttura, connesse, in particolare modo, alle tolleranze nel posizionamento dell'armatura metallica. Per fare ciò viene adottato il **valore $\gamma_{c3}=1.10$** .

2) Il **secondo fattore, γ_{c2}** , prende in considerazione il rapporto tra la resistenza convenzionale (determinata con sperimentazione condotta su provini stagionati in condizioni standard) e la resistenza in situ, cioè il carico ultimo che si otterrebbe su provini ricavati dalla struttura in opera mediante un carotaggio che non comportasse danneggiamenti per i provini medesimi. In Taerwe (1989) è stato evidenziato che questa differenza è principalmente dovuta alla diversa stagionatura cui sono stati sottoposti il materiale utilizzato per i provini e quello della struttura. Inoltre, la compattazione eseguita sul materiale utilizzato per i provini è probabilmente migliore di quella che si realizza nelle membrature della struttura. Un'altra sistematica differenza può essere trovata fra le parti superiori e le parti inferiori dei getti delle membrature. Posto M, il fattore di transizione tra la resistenza effettiva $f_{c,eff}$ e la resistenza dei provini per il controllo $f_{c,contr}$ possiamo scrivere:

$$f_{c,contr} = M \cdot f_{c,eff} = \frac{1}{\eta} \cdot f_{c,eff}$$



Il valore medio di M viene **usualmente assunto pari a 1.10**. Inoltre, i risultati sperimentali portano a stimare che il coefficiente di variazione di M sia circa pari al 10%. Molto rilevante appare la circostanza che il coefficiente M sia da ritenersi più elevato di 1.10 per quanto riguarda i calcestruzzi ad alta resistenza (Taerwe (1993)). In NKB (1987) è evidenziata una grande differenza fra la resistenza in situ e la resistenza dei provini sottoposti a stagionatura standard per i calcestruzzi ad alta resistenza.

3) Il **fattore γ_{c1}** prende in una considerazione il fatto che valori minori della resistenza caratteristica f_{ck} si possono comunque determinare. Ancora in (Bollettino CEB n° 128) il principio proposto è che il rapporto f_{ck}/γ_{c1} corrisponda al frattile 0.5% della distribuzione teorica della resistenza. In tal caso, γ_{c1} , assumendo una distribuzione gaussiana della resistenza, γ_{c1} assume l'espressione:

$$\gamma_{c1} = \frac{1 - 1.645 \cdot \delta_c}{1 - 2.576 \cdot \delta_c} \quad (4)$$

Mentre, considerando una distribuzione lognormale, si ha:

$$\gamma_{c1} = \frac{\mu_c \cdot \exp(-1.645 \cdot \delta_c)}{\mu_c \cdot \exp(-2.576 \cdot \delta_c)} = \exp(0.931 \cdot \delta_c) \quad (5)$$

in cui $\delta_c = \sigma_c / \mu_c$ è il coefficiente di variazione della distribuzione effettiva della resistenza.

Qualora si ipotizzi una funzione densità di distribuzione normale ed un coefficiente di variazione δ_c pari al 15%, si ottiene **$\gamma_{c1} = 1.23$** .

È chiaro che, il principio con cui si definisce il grado del frattile 0.5% è convenzionale, mentre un più logico principio per fissare γ_c è quello di stabilire una fissata probabilità di collasso oppure un fissato valore dell'indice di sicurezza β .



COEFFICIENTI PARZIALI NEL CASO DELLA MURATURA

Nel caso della muratura

$$\gamma_m = \gamma_{m1} \cdot \gamma_{m2} \cdot \gamma_{m3}$$

DOVE

γ_{m1}

tiene conto di eventuali riduzioni della resistenza dei materiali nella struttura nel suo complesso, in confronto al valore caratteristico dedotto da prove su campioni;

γ_{m2}

tiene conto di eventuali difetti (debolezze) della struttura derivanti da una qualsiasi causa, esclusa la riduzione della resistenza dei materiali, incluse le tolleranze di produzione;

γ_{m3}

tiene conto della natura della struttura e del suo comportamento



COEFFICIENTI PARZIALI NEL CASO DELLA MURATURA (NTC 08)

IL COEFFICIENTE PARZIALE NON è UNICO

Il coefficiente parziale da assumere è legato alla categoria degli elementi resistenti e al tipo di verifica

- Il coefficiente parziale di sicurezza da utilizzare per il progetto sismico di strutture in muratura $\gamma_M = 2,0$ (*par. 7.8.1.1*).
- Il coefficiente parziale di sicurezza da impiegare per le verifiche a compressione, pressoflessione e a taglio, con riferimento a "muratura con elementi resistenti di categoria II e ogni tipo di malta" (*tab. 4.5.11*) $\gamma_M = 3,0$.
- Per le verifiche secondo la formulazione semplificata in condizioni di esercizio, il coefficiente parziale di sicurezza $\gamma_M = 4,2$ (*par. 4.5.6.4*).



COEFFICIENTI PARZIALI NEL CASO DELLA MURATURA (NTC 08)

IL COEFFICIENTE PARZIALE NON è UNICO

Il coefficiente parziale in relazione alla categoria degli elementi resistenti e alla classe di esecuzione.

Tabella 4.5.II *Valori dei coefficienti γ_M in funzione della classe di esecuzione e della categoria degli elementi resistenti*

Materiale	Classe esecuzione	
	1	2
Muratura con elementi resistenti di categoria I, malta a prestazione garantita	2,0	2,5
Muratura con elementi resistenti di categoria I, malta a composizione garantita	2,2	2,7
Muratura con elementi resistenti di categoria II, ogni tipo di malta	2,5	3,0



VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA NEL DESIGN

Nella fase di verifica di un componente o di un sistema strutturale, in relazione ad un determinato SL, è necessario predisporre:

- una valutazione, a monte della analisi di tutte le quantità la cui natura intrinseca non è probabilistica, come ad esempio l'intervento di errori umani di calcolo o di esecuzione, che possono modificare di diversi ordini di grandezza la probabilità di crisi;
- un modello strutturale, cioè una serie di relazioni analitiche fra le azioni applicate (forze, distorsioni, cedimenti, ecc.) e gli effetti prodotti (spostamenti, sollecitazioni, ecc.) e, parallelamente, le caratteristiche meccaniche dei materiali ed i meccanismi resistenti;
- la statistica delle variabili in gioco e i modelli probabilistici con riferimento ai dati raccolti sulle azioni e a quelli raccolti sui materiali.
- Usualmente, queste relazioni vengono assunte di tipo deterministico in quanto si basano sulla meccanica classica delle strutture e dei materiali.
- Generalmente tali modelli non sono patrimonio dei singoli progettisti e quindi occorre siano forniti dagli enti normatori.



VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA NEL DESIGN

Il problema della valutazione della probabilità di crisi su una struttura mostra spesso una "valenza" convenzionale per ragioni quali:

- numero di dati a disposizione è minore di quello necessario ad una corretta trattazione statistica;
- l'effettiva caratterizzazione statistica delle variabili in gioco non è mai nota al momento del progetto, soprattutto per l'incertezza del modello assunto per la schematizzazione della struttura e dei vincoli.

Tuttavia, il patrimonio di esperienza accumulato sul costruito consente di affermare che la progettazione di nuove costruzioni, basata sul rispetto dei procedimenti previsti dalle norme, consente di realizzare costruzioni che nella quasi totalità dei casi offrono una adeguata sicurezza strutturale.



VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA NEL RE-DESIGN

Nella misura della sicurezza di strutture esistenti, i principi e le regole adottati per la progettazione delle nuove costruzioni si prestano ad adattamenti in relazione alle peculiarità che caratterizzano le strutture esistenti.

Aspetti peculiari:

- possibilità di valutazione di tutte le quantità la cui natura non è probabilistica, come ad esempio il possibile accadimento di errori umani di calcolo o di esecuzione;
- possibilità di valutazione della corrispondenza del modello strutturale, cioè del complesso di relazioni fra le azioni applicate (forze, distorsioni, cedimenti, ecc.) e gli effetti prodotti (spostamenti, sollecitazioni, ecc.);
- possibilità dell'elaborazione statistica dei dati raccolti sulle azioni e sui materiali, per la scelta di modelli probabilistici da utilizzare nelle verifiche.



VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA NEL RE-DESIGN

In fase operativa, col metodo di livello 1, la suddivisione del coefficiente di sicurezza globale g in più coefficienti parziali (γ_m per i materiali e γ_f per le azioni) risulta possibile riconoscere se, a seconda dei casi, si ha diritto ad un "premio", oppure invece se v'è da patire una "punizione".

lato resistenze, per i materiali della struttura esistente, le resistenze f_{mk} possono essere determinate con riferimento a quanto v'è in opera, ad esempio su provini estratti.

Sempre per la struttura esistente, la presenza di difetti, imperfezioni, etc., può essere osservata su una realtà controllabile, anziché essere semplicemente presunta, come accade per una struttura ex novo, con il risultato di poter assegnare valori più corretti alle parti dei coefficienti γ_m che coprono tali aleatorietà ed incertezze.

lato sollecitazioni, è sufficiente considerare che nei confronti delle azioni ritenute trascurabili (e come tali trascurate), cui come principio deve conseguire una fittizia maggiorazione dei valori A_k delle azioni staticamente studiate, il controllo della realtà esistente può dare precise informazioni sulla possibilità o meno di trascurare tali azioni, così come, dall'esame di quanto è avvenuto nel passato si possono trarre informazioni sicure sull'effettiva possibilità di avere in futuro carichi più alti di quelli Q_k introdotti nei calcoli. Inoltre, nella determinazione delle sollecitazioni, le incertezze e le aleatorietà geometriche, di vincolo e di schema sono per la gran parte superate dal momento che quasi tutte le grandezze base sono controllabili con buona attendibilità sulla realtà esistente, così come si può riconoscere che la stessa analisi strutturale non è più inficiata da aleatorietà ed incertezze: si pensi, ad esempio, alla possibilità di osservare con buona sicurezza attraverso prove dinamiche il comportamento di organismi articolati e complessi.



PARAMETRI QUALITATIVI DA CUI DIPENDE IL COEFFICIENTE PARZIALE DEL CLS:

P1=compattazione del calcestruzzo;

P2=curing del calcestruzzo;

P3=omogeneità del calcestruzzo;

P4=conformità con le specifiche di progetto;

P5=conformità con le specifiche di norma;

P6=tipo di collasso;

P7=livello di controllo;

P8=capacità di garantire le prestazioni in presenza di degrado.

Per brevità,

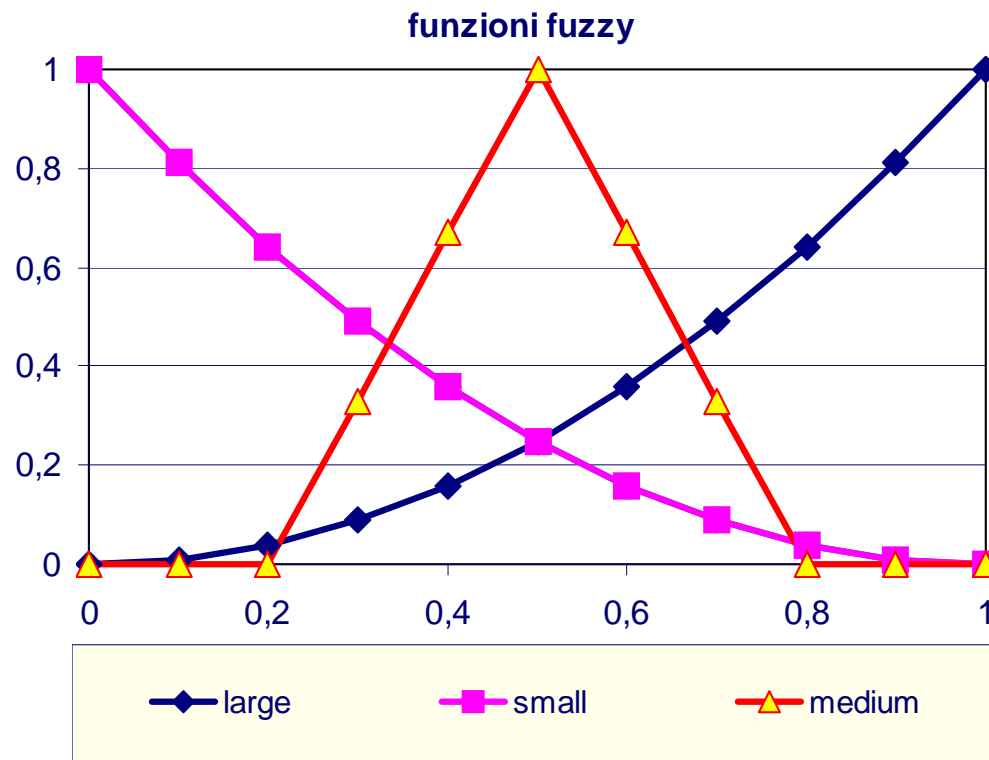
P1, che congloba i primi quattro parametri sopra indicati, può ritenersi come un parametro in grado di tradurre la **qualità della manifattura**;

P2, che esprime la **qualità della progettazione**.

P3, che esprime la **capacità dei materiali nel garantire le prestazioni in presenza di degrado**.



VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SUL COSTRUITO



In FIGURA sono riportate, ad esempio, gli insiemi fuzzy assunti per L, M e S, nelle simulazioni numeriche svolte in questa sede.



VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SUL COSTRUITO

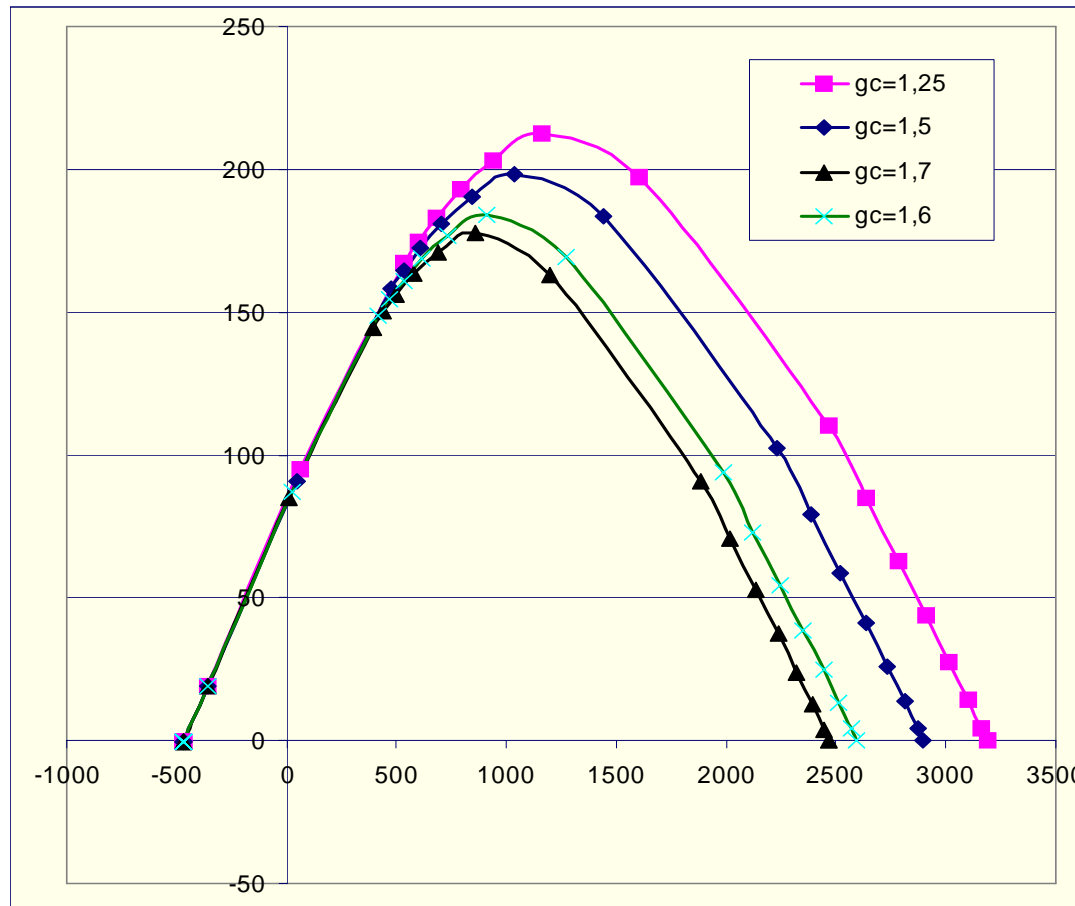


Figura 2. Domini interazione M-N (momento in kN m, azione assiale in kN, $g_c=\gamma_c$)



VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SUL COSTRUITO

Per valutazione della sicurezza si intende un procedimento quantitativo volto a:

- Stabilire se una struttura esistente è in grado o meno di resistere alle combinazioni delle azioni di progetto contenute nelle NTC, oppure
- determinare l'entità massima delle azioni, considerate nelle combinazioni di progetto previste, che la struttura è capace di sostenere con i margini di sicurezza richiesti dalle NTC, definiti dai coefficienti parziali di sicurezza sulle azioni e sui materiali.

LE CATEGORIE D'INTERVENTO SUL COSTRUITO DI RIDUZIONE DEL RISCHIO

Sono individuate tre categorie di intervento:

- **adeguamento;**
- **miglioramento;**
- **riparazione;**

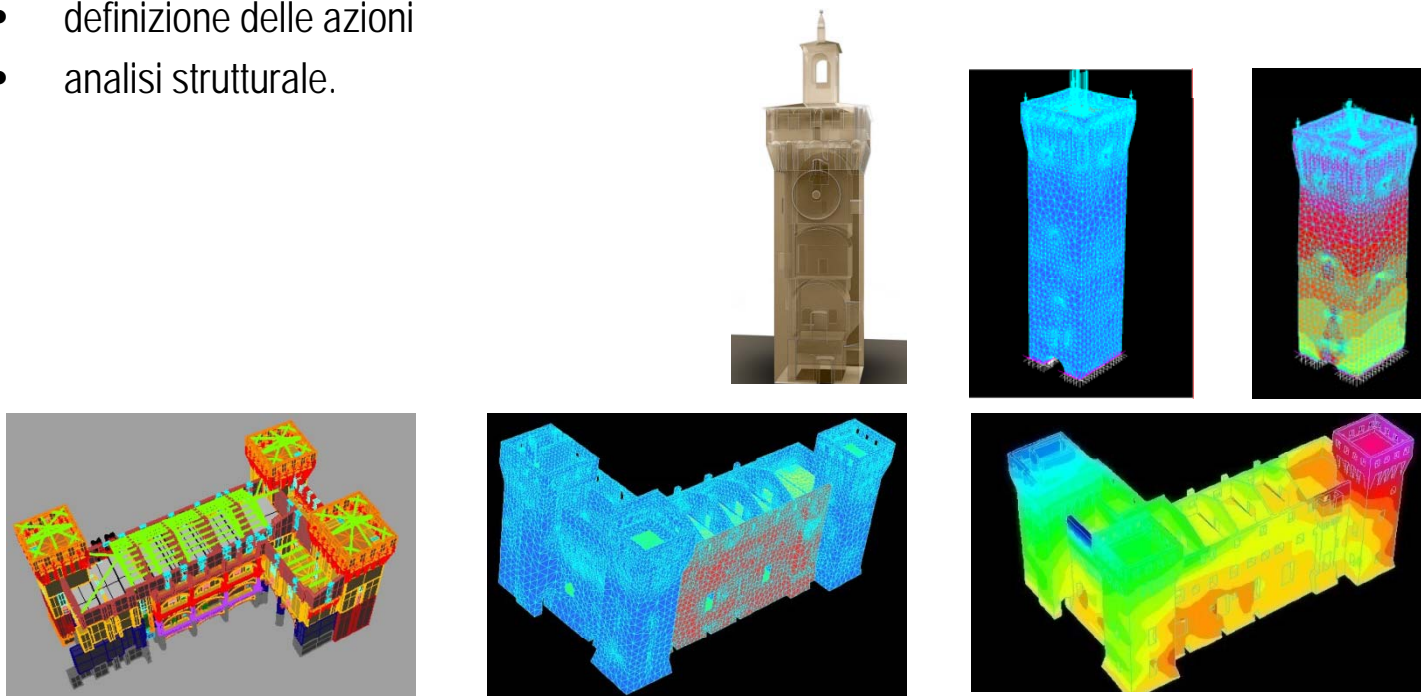
stabilendo altresì le condizioni per le quali si rende necessario l'intervento di adeguamento e l'obbligatorietà del collaudo statico, sia per gli interventi di adeguamento che per quelli di miglioramento.



PROCEDURE PER LA VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA:

Le procedure di valutazione della sicurezza considerano le seguenti fasi:

- analisi storico - critica,
- rilievo geometrico - strutturale,
- caratterizzazione meccanica dei materiali,
- definizione dei livelli di conoscenza e dei conseguenti fattori di confidenza,
- definizione delle azioni
- analisi strutturale.





SICUREZZA E LIVELLI DI CONOSCENZA

La valutazione della sicurezza ed il progetto degli interventi sono normalmente affetti da un grado di incertezza diverso, non necessariamente maggiore, da quello degli edifici di nuova progettazione.

Nelle costruzioni esistenti è cruciale la conoscenza della struttura (geometria e dettagli costruttivi) e dei materiali che la costituiscono (calcestruzzo, acciaio, mattoni, malta). È per questo che viene introdotta un'altra categoria di fattori, i “**fattori di confidenza**”, strettamente **legati al livello di conoscenza conseguito nelle indagini conoscitive**, e che vanno preliminarmente a ridurre i valori medi di resistenza dei materiali della struttura esistente, per ricavare i valori da adottare, nel progetto o nella verifica, e da ulteriormente ridurre, quando previsto, mediante i coefficienti parziali di sicurezza.

I contenuti del Cap.8 delle NTC e della Circolare costituiscono un riferimento generale che può essere integrato, in casi particolari, da valutazioni specifiche ed anche alternative da parte del progettista, comunque basati su criteri e metodi di comprovata validità.

8.5.4 LIVELLI DI CONOSCENZA E FATTORI DI CONFIDENZA (NTC '08)

Sulla base degli approfondimenti effettuati nelle fasi conoscitive sopra riportate, saranno individuati i “livelli di conoscenza” dei diversi parametri coinvolti nel modello (geometria, dettagli costruttivi e materiali), e definiti i correlati fattori di confidenza, da utilizzare come ulteriori coefficienti parziali di sicurezza che tengono conto delle carenze nella conoscenza dei parametri del modello.

8.5.4. LIVELLI DI CONOSCENZA E FATTORI DI CONFIDENZA (bozza NTC 2012)

Sulla base degli approfondimenti effettuati nelle fasi conoscitive sopra riportate, saranno individuati i “livelli di conoscenza” dei diversi parametri coinvolti nel modello (geometria, dettagli costruttivi e materiali), e definiti i correlati fattori di confidenza, da utilizzare per tenere conto nelle verifiche di sicurezza delle carenze nella conoscenza dei parametri del modello.



SICUREZZA E LIVELLI DI CONOSCENZA

C8.5.4 LIVELLI DI CONOSCENZA E FATTORI DI CONFIDENZA

Il problema della conoscenza della struttura e dell'introduzione dei fattori di confidenza è stato discusso in C8.2. Una guida alla stima dei fattori di confidenza da utilizzare, in relazione ai livelli di conoscenza raggiunti, è riportata in Appendice C8A.

Per le costruzioni di valenza storico-artistica potranno essere adottati i fattori di confidenza contenuti nella Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri del 12 ottobre 2007, utilizzandoli come in essa illustrato.

C8.2 CRITERI GENERALI

.....

Nelle costruzioni esistenti è cruciale la conoscenza della struttura (geometria e dettagli costruttivi) e dei materiali che la costituiscono (calcestruzzo, acciaio, mattoni, malta). È per questo che viene introdotta un'altra categoria di fattori, i "fattori di confidenza", strettamente legati al livello di conoscenza conseguito nelle indagini conoscitive, e che vanno preliminarmente a ridurre i valori medi di resistenza dei materiali della struttura esistente, per ricavare i valori da adottare, nel progetto o nella verifica, e da ulteriormente ridurre, quando previsto, mediante i coefficienti parziali di sicurezza.

I contenuti del Cap.8 delle NTC e della presente Circolare costituiscono un riferimento generale che può essere integrato, in casi particolari, da valutazioni specifiche ed anche alternative da parte del progettista, comunque basati su criteri e metodi di comprovata validità.



FATTORI DI CONFIDENZA E LIVELLO DI CONOSCENZA DEL COSTRUITO IN C.A.

Tabella C8A.1.2 – Livelli di conoscenza in funzione dell'informazione disponibile e conseguenti metodi di analisi ammessi e valori dei fattori di confidenza per edifici in calcestruzzo armato o in acciaio

Livello di Conoscenza	Geometria (carpenterie)	Dettagli strutturali	Proprietà dei materiali	Metodi di analisi	FC
LC1	Da disegni di carpenteria originali con rilievo visivo a campione oppure rilievo ex-novo completo	Progetto simulato in accordo alle norme dell'epoca <i>e limitate verifiche in situ</i>	Valori usuali per la pratica costruttiva dell'epoca e <i>limitate prove in situ</i>	Analisi lineare statica o dinamica	1.35
LC2		Disegni costruttivi incompleti con limitate verifiche in Situ oppure estese verifiche in situ	Dalle specifiche originali di progetto o dai certificati di prova Originali con imitate prove in-situ oppure estese prove in-situ	Tutti	1.20
LC3		Disegni costruttivi completi Con limitate verifiche in situ oppure esaustive verifiche in-situ	Dai certificati di prova originali o dalle specifiche originali di progetto con estese prove in situ oppure esaustive prove in-situ	Tutti	1.00

Prove in-situ esaustive: servono per ottenere informazioni in mancanza sia dei disegni costruttivi, che dei certificati originali di prova, oppure quando i valori ottenuti dalle prove limitate risultano inferiori a quelli riportati nei disegni o certificati originali, e si desidera un livello di conoscenza accurata (LC3).



LE PROVE OPPORTUNE NEI DIVERSI CASI SONO INDICATE NELLA TABELLA C8A.1.3.

Tabella C8A.1.3a – Definizione orientativa dei livelli di rilievo e prove per edifici in c.a.

	Rilievo (dei dettagli costruttivi)(a)	Prove (sui materiali) (b)(c)
	Per ogni tipo di elemento "primario" (trave, pilastro...)	
Verifiche limitate	La quantità e disposizione dell'armatura è verificata per almeno il 15% degli elementi	1 provino di cls. per 300 m2 di piano dell'edificio, 1 campione di armatura per piano dell'edificio
Verifiche estese	La quantità e disposizione dell'armatura è verificata per almeno il 35% degli elementi	2 provini di cls. per 300 m2 di piano dell'edificio, 2 campioni di armatura per piano dell'edificio
Verifiche esaustive	La quantità e disposizione dell'armatura è verificata per almeno il 50% degli elementi	3 provini di cls. per 300 m2 di piano dell'edificio, 3 campioni di armatura per piano dell'edificio



LE PROVE OPPORTUNE NEI DIVERSI CASI SONO INDICATE NELLA TABELLA C8A.1.3.

Tabella C8A.1.3b – Definizione orientativa dei livelli di rilievo e prove per edifici in acciaio

	Rilievo (dei collegamenti)(a)	Prove (sui materiali) (b)
	Per ogni tipo di elemento "primario" (trave, pilastro...)	
Verifiche limitate	Le caratteristiche dei collegamenti sono verificate per almeno il 15% degli elementi	1 provino di acciaio per piano dell'edificio, 1 campione di bullone o chiodo per piano dell'edificio
Verifiche estese	Le caratteristiche dei collegamenti sono verificate per almeno il 35% degli elementi	2 provini di acciaio per piano dell'edificio, 2 campioni di bullone o chiodo per piano dell'edificio
Verifiche esaustive	Le caratteristiche dei collegamenti sono verificate per almeno il 50% degli elementi	3 provini di acciaio per piano dell'edificio, 3 campioni di bullone o chiodo per piano dell'edificio

NOTE ESPLICATIVE ALLA TABELLA C8A.1.3 (a, b)

Le percentuali di elementi da verificare ed il numero di provini da estrarre e sottoporre a prove di resistenza riportati nella Tabella C8A.1.3 hanno valore indicativo e vanno adattati ai singoli casi, tenendo conto dei seguenti aspetti:

- (a) Nel controllo del raggiungimento delle percentuali di elementi indagati ai fini del rilievo dei dettagli costruttivi si tiene conto delle eventuali situazioni ripetitive, che consentano di estendere ad una più ampia percentuale i controlli effettuati su alcuni elementi strutturali facenti parte di una serie con evidenti caratteristiche di ripetibilità, per uguale geometria e ruolo nello schema strutturale.



NOTE ESPLICATIVE ALLA TABELLA C8A.1.3 (a, b)

Le percentuali di elementi da verificare ed il numero di provini da estrarre e sottoporre a prove di resistenza riportati nella Tabella C8A.1.3 hanno valore indicativo e vanno adattati ai singoli casi, tenendo conto dei seguenti aspetti:

- (a) Nel controllo del raggiungimento delle percentuali di elementi indagati ai fini del rilievo dei dettagli costruttivi si tiene conto delle eventuali situazioni ripetitive, che consentano di estendere ad una più ampia percentuale i controlli effettuati su alcuni elementi strutturali facenti parte di una serie con evidenti caratteristiche di ripetibilità, per uguale geometria e ruolo nello schema strutturale.
- (b) Le prove sugli acciai sono finalizzate all'identificazione della classe dell'acciaio utilizzata con riferimento alla normativa vigente all'epoca di costruzione. Ai fini del raggiungimento del numero di prove sull'acciaio necessario per il livello di conoscenza è opportuno tener conto dei diametri (nelle strutture in c.a.) o dei profili (nelle strutture in acciaio) di più diffuso impiego negli elementi principali con esclusione delle staffe.
- (c) Ai fini delle prove sui materiali è consentito sostituire alcune prove distruttive, non più del 50%, con un più ampio numero, almeno il triplo, di prove non distruttive, singole o combinate, tarate su quelle distruttive.
- (d) Il numero di provini riportato nelle tabelle 8A.3a e 8A.3b può esser variato, in aumento o in diminuzione, in relazione alle caratteristiche di omogeneità del materiale. Nel caso del calcestruzzo in opera tali caratteristiche sono spesso legate alle modalità costruttive tipiche dell'epoca di costruzione e del tipo di manufatto, di cui occorrerà tener conto nel pianificare l'indagine. Sarà opportuno, in tal senso, prevedere l'effettuazione di una seconda campagna di prove integrative, nel caso in cui i risultati della prima risultino fortemente disomogenei.



LC1: LIVELLO DI CONOSCENZA LIMITATA

Geometria: la geometria della struttura è nota o in base a un rilievo o dai disegni originali.

Dettagli costruttivi: i dettagli non sono disponibili da disegni costruttivi e devono venire ricavati sulla base di un progetto simulato eseguito secondo la pratica dell'epoca della costruzione.

Proprietà dei materiali: non sono disponibili informazioni sulle caratteristiche meccaniche dei materiali, né da disegni costruttivi né da certificati di prova.

Si adotteranno valori usuali della pratica costruttiva dell'epoca convalidati da limitate prove in-situ.

LC2: LIVELLO DI CONOSCENZA ADEGUATA

Geometria: la geometria della struttura è nota o in base a un rilievo o dai disegni originali. In quest'ultimo caso un rilievo visivo a campione dovrà essere effettuato per verificare l'effettiva corrispondenza del costruito ai disegni.

Dettagli costruttivi: i dettagli sono noti da un'estesa verifica in-situ oppure parzialmente noti dai disegni costruttivi originali incompleti.

Proprietà dei materiali: informazioni sulle caratteristiche meccaniche dei materiali sono disponibili in base ai disegni costruttivi o ai certificati originali di prova, o da estese verifiche in-situ.



LC3: LIVELLO DI CONOSCENZA ACCURATA

Geometria: la geometria della struttura è nota o in base a un rilievo o dai disegni originali. In quest'ultimo caso un rilievo visivo a campione dovrà essere effettuato per verificare l'effettiva corrispondenza del costruito ai disegni.

Dettagli costruttivi: i dettagli sono noti o da un'esaustiva verifica in-situ oppure dai disegni costruttivi originali.

Proprietà dei materiali: informazioni sulle caratteristiche meccaniche dei materiali sono disponibili in base ai disegni costruttivi o ai certificati originali, o da esaustive verifiche in-situ.



PROVE ED INDAGINI SUL CLS

INFORMAZIONE DA ACQUISIRE	TIPO DI PROVA
Comportamento statico e resistenza elementi strutturali inflessi (solai e travi)	<ul style="list-style-type: none">• prove di carico con misura delle deformazioni e degli spostamenti• Prove di identificazione dinamica
Resistenza CLS	<ul style="list-style-type: none">• Carotaggi e microcarotaggi con prove di rottura a compressione• Metodi ultrasonici• Metodo sclerometrico• Prove di pull-out
Degrado CLS	<ul style="list-style-type: none">• Prove per la determinazione della profondità di carbonatazione• Analisi chimiche



PROVE ED INDAGINI SULL'ARMATURA

INFORMAZIONE DA ACQUISIRE	TIPO DI PROVA
Posizione e diametro	<ul style="list-style-type: none">• Prova con pachometro• Sondaggio con distruzione del ricoprimento
Resistenza ARMATURE	<ul style="list-style-type: none">• prelievo di campioni di barre di armatura da elementi strutturali significativi (preferibilmente in zone poco sollecitate);• prove di trazione (in laboratorio) con determinazione diretta della resistenza a trazione dell'acciaio e dell'allungamento a rottura.
Degrado ARMATURE	<ul style="list-style-type: none">• Prove per la determinazione della• profondità di carbonatazione• Analisi chimiche



METODI DI ANALISI E VERIFICHE DI SICUREZZA

Per quanto riguarda le **costruzioni esistenti in c.a. e in acciaio**, è evidenziato come in esse possa essere attivata la capacità di elementi con meccanismi resistenti sia "duttili" che "fragili"; a tale riguardo, l'analisi sismica globale deve utilizzare, per quanto possibile, metodi di analisi che consentano di valutare in maniera appropriata **sia la resistenza che la duttilità disponibile**, tenendo conto della possibilità di sviluppo di entrambi i tipi di meccanismo e adottando parametri di capacità dei materiali diversificati a seconda del tipo di meccanismo.

La valutazione delle capacità è subordinata allo stato limite (SL) richiesto e al tipo di elemento duttile/fragile.

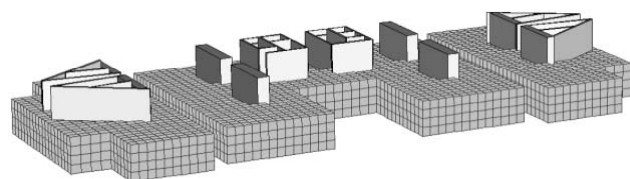
PER IL CALCOLO DELLE CAPACITÀ DEGLI ELEMENTI DUTTILI si utilizzano i valori medi delle proprietà dei materiali esistenti, divisi per il Fattore di Confidenza in relazione al livello di conoscenza raggiunto.

PER IL CALCOLO DELLE CAPACITÀ DEGLI ELEMENTI FRAGILI si utilizzano i valori medi delle proprietà dei materiali esistenti, divisi per il Fattore di Confidenza in relazione al livello di conoscenza raggiunto, e divisi per il coefficiente parziale relativo.



FATTORI DI CONFIDENZA E LIVELLO DI CONOSCENZA DEL COSTRUITO IN C.A.: IL GRATTACIELO PIRELLI

37





INFORMAZIONI DISPONIBILI

1. Documenti di progetto
2. Rilievo strutturale
3. Prove in situ e in laboratorio

INDAGINI E PROVE IN SITU eseguite per la
verifica a campione di consistenza strutturale degli elementi con riferimento a:
GEOMETRIA:

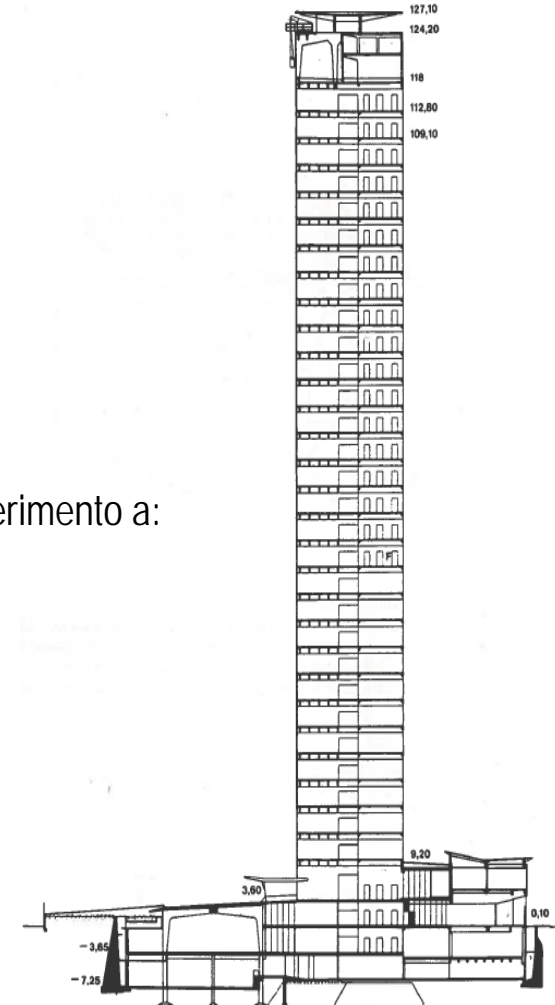
le caratteristiche geometriche degli elementi strutturali;

DETTAGLI COSTRUTTIVI:

quantità e disposizione delle armature;

MATERIALI:

proprietà dei materiali e stato di degrado.



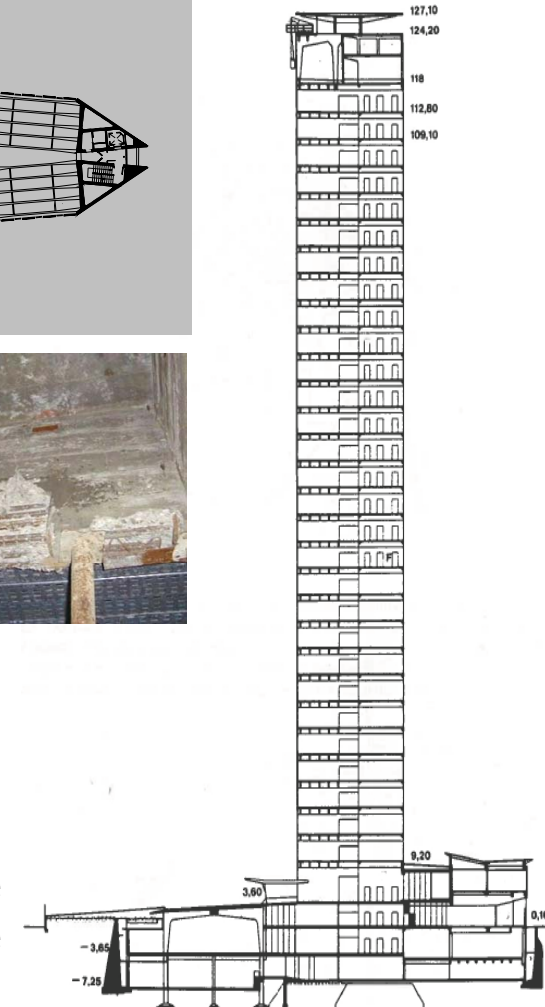
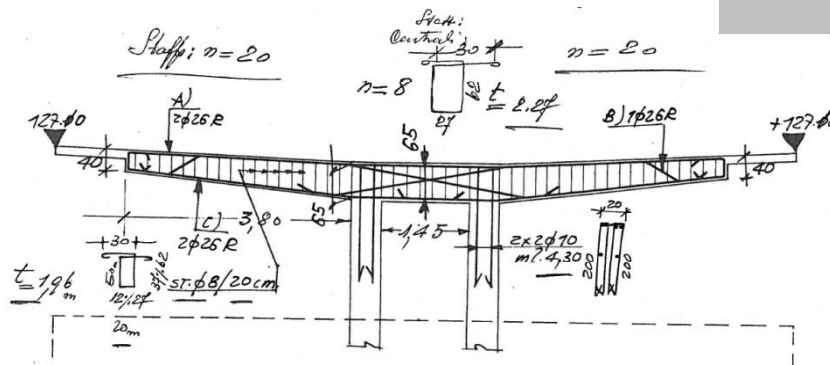
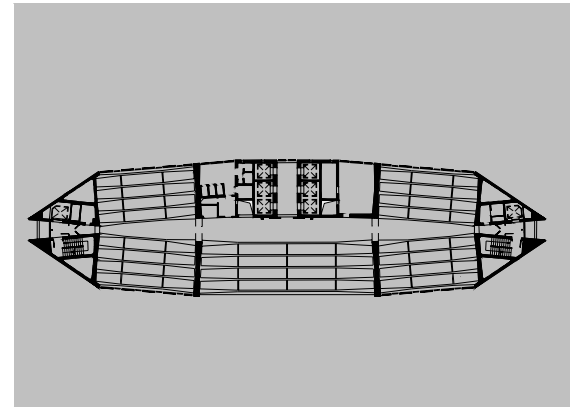


FATTORI DI CONFIDENZA E LIVELLO DI CONOSCENZA DEL COSTRUITO IN C.A.: IL GRATTACIELO PIRELLI

39

DOCUMENTI DI PROGETTO

- Geometria
- Materiali
- Dettagli Costruttivi



Nella COPERTURA i setti si trasformano in 3 portali , sui portali e sui corpi delle punte poggiano due travi rettangolari su cui poggia la copertura.

La copertura è ,in calcestruzzo armato, rinforzata attraverso nervature trasversali alle travi portanti e di rigidezza decrescente dai portali alle punte.



MATERIALI – PROVE SUI CALCESTRUZZI in sede di accettazione

Campioni estratti dai setti , dalle punte e dalle fondazioni tra il 1956 e il 1958:

cemento tipo 680 dosato con 400kg/m ³		cemento tipo 500 dosato con 300kg/m ³	
Valore medio carico di rottura	Deviazione standard	Valore medio carico di rottura	Deviazione standard
26,89MPa	5,14MPa	38,09MPa	4,57MPa

Le prove sono state integrate nel 2000 da prove non distruttive ad opera della tecno futur service srl:

- Analisi ultrasonica → $E_d = 257801,5 \text{ kg/cm}^2$
- Analisi ultrasonica + indice sclerometrico → $f_{cm} = 27,2 \text{ MPa}$
- Metodo di pull-out → $f_{cm} = 30,9 \text{ MPa}$
- Analisi colorimetrica → solette la carbonatazione è dell'ordine dei mm, mentre nei pilastri è dell'ordine dei cm



MATERIALI – MODULO ELASTICO ATTUALE DEL CALCESTRUZZO

Sono state seguite due diverse strade:

1- Metodo Eurocodice : $R_{cm} = 26,89 \text{ MPa} \rightarrow f_{cm} = R_{cm} \cdot 0,83 = 22,32 \text{ MPa}$.

L'evoluzione della resistenza cilindrica si calcola come:

$$f_{cm}(t) = \beta_{cc}(t) \cdot f_{cm}$$

Dove il coefficiente $\beta_{cc}(t)$ che dipende dall'età del calcestruzzo è pari a :

$$\beta_{cc}(t) = \exp \left(s \left(1 - \left(\frac{28}{t} \right)^{\frac{1}{2}} \right) \right) = 1,44$$

con $s = 0,38$, valore dipendente dal tipo di calcestruzzo e $t = 18980$ giorni , ovvero l'età del calcestruzzo in giorni.

Da quanto fino qui scritto risulta $f_{cm}(t) = 32,16 \text{ MPa}$, per cui partendo da $E_{cm} = 200000 \text{ kg/cm}^2$:

$$E_{cm}(t) = \left(\frac{f_{cm}(t)}{f_{cm}} \right)^{0,3} E_{cm} = 223171,1 \text{ Kg/cm}^2$$

2- Dalle prove non distruttive si è trovato che $E_{dm} = 257801,5 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow E_{cm} = 232021 \text{ kg/cm}^2$.

Infine i due valori sono stati mediati per ottenere $E_{cm} = 227596,2 \text{ kg/cm}^2$



MATERIALI – PROVE SU ACCIAI IN SEDE DI ACCETTAZIONE MATERIALI

Le armature longitudinali degli elementi verticali dei setti sono costituite da ferri diametro $\Phi 30$.

Nel corpo delle punte vengono usati come armatura longitudinale ferri $\Phi 14$, $\Phi 20$, $\Phi 22$ e $\Phi 30$.

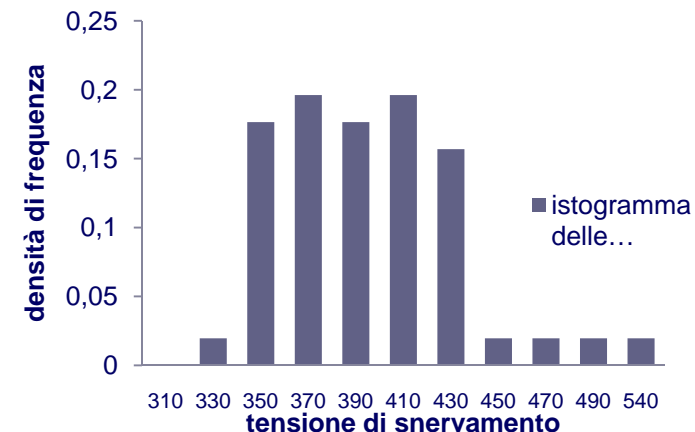
Le armature longitudinali delle travi sono realizzate con ferri di tipo Rumi che hanno una sezione quadrata con lati incavi.



Si dispone di prove di trazione sulle barre d'acciaio risalenti al periodo di realizzazione dell'opera:

ACCIAIO		
VALORE MEDIO DI f_y	VALORE MEDIO DI f_u	VALORE MEDIO % ALLUNGAMENTO
398,24MPa	563,33MPa	24,47

DEVIAZIONE STANDARD		
VALORE MEDIO DI f_y	VALORE MEDIO DI f_u	VALORE MEDIO % ALLUNGAMENTO
40,04MPa	38,33MPa	3,04



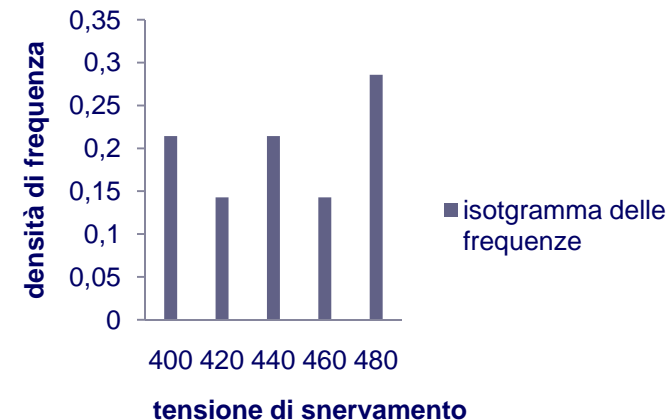


MATERIALI – PROVE SU ACCIAI

Anche per gli acciai di tipo Rumi disponiamo delle stesse prove:

ACCIAIO RUMI		
VALORE MEDIO DI f_y	VALORE MEDIO DI f_u	VALORE MEDIO % ALLUNGAMENTO
443,01MPa	658,8MPa	22,17

DEVIAZIONE STANDARD		
VALORE MEDIO DI f_y	VALORE MEDIO DI f_u	VALORE MEDIO % ALLUNGAMENTO
30,296MPa	57,86MPa	2,91



ACCIAIO RUMI			
	f_y	f_u	% ALLUNGAMENTO
LU 3 Rumi 4000	400÷430MPa	575÷650MPa	12
LU 3 Rumi 4400	440÷475MPa	600÷680MPa	12
LU 3 Rumi 5000	480÷575MPa	690÷780MPa	12

Da quanto riscontrato nelle prove e dalla tabella di fianco si deduce che nell'edificio sono presenti tutte e 3 le classi di acciaio Rumi.



MATERIALI – PROVE SU ACCIAI

La Circolare 23 maggio 1957 n°1472 introduce gli acciai di qualità: Aq.42, Aq.50 e Aq.60.

Normativa	R.D.L. n°2229/1939			LL.PP. n°1472/1957				D.M.30/05/1972					D.M. 30/05/1974			
	liscio			liscio			a.m.	liscio		aderenza migliorata (a.m)			liscio		a.m.	
Denominazione	Dolce	Semi duro	Duro	Aq42	Aq50	Aq60	/	FeB22	FeB32	A38	A41	FeB44	FeB22	FeB32	FeB38	FeB44
Snervamento (kgf/mm ²)	≥ 23	≥ 27	≥ 31	≥ 23	≥ 27	≥ 31	/	≥22	≥32	≥38	≥41	≥44	≥22	≥32	≥38	≥44
Rottura (kgf/mm ²)	42-50	50-60	60-70	42 - 50	50 - 60	60-70	/	≥34	≥50	≥46	≥50	≥55	≥34	≥50	≥46	≥55
Allungamento (%)	≥ 20	≥ 16	≥ 14	≥ 20	≥ 16	≥ 14	≥ 12	≥24	≥23	≥14	≥14	≥12	≥24	≥23	≥14	≥12

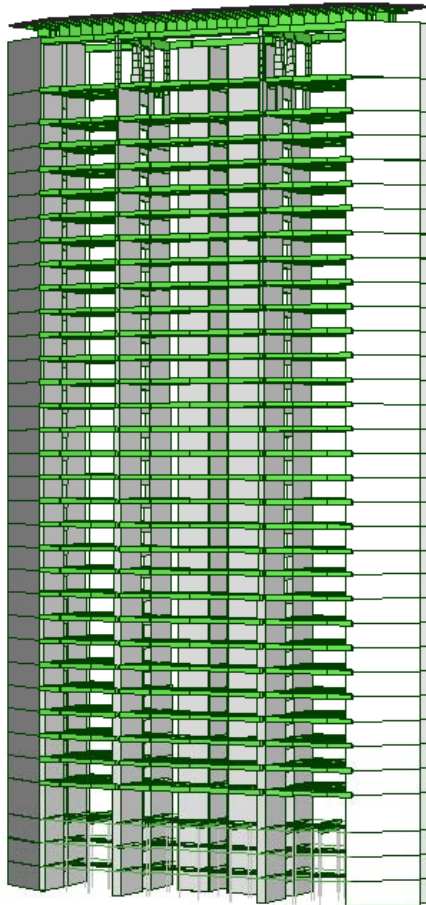
Figura 2. 18- Evoluzione temporale delle principali indicazioni normative relative alla classificazione degli acciai di armatura da [G.V. Verderame et al.]

Confrontando i risultati delle prove sugli acciai del Pirelli e la tabella in figura si riscontra che tale acciaio rientra nella tipologia di acciaio liscio di classe Aq50.

Gli acciai caratterizzati dalla classe Aq.50 sono caratterizzati da una tensione di snervamento f_y non inferiore a 270 N/mm², tensione di rottura f_u compresa tra 500 e 600 N/mm² e allungamento a rottura $A_{10\phi}$ non inferiore al 16%.



MODELLO NUMERICO



Modulo elastico e resistenza a compressione media:

Negli anni della costruzione:

$$\begin{array}{l} f_{cm} = 22,32 \text{ MPa} \qquad \qquad \qquad 32,14 \text{ MPa} \\ E = 20000 \text{ MPa} \qquad \longrightarrow \qquad 22393 \text{ MPa} \end{array}$$

Misurati negli anni 2000: \longrightarrow

$$\begin{array}{l} f_{cm} = 28,4 \text{ MPa} \\ E = 22991 \text{ MPa} \end{array}$$

Valori medi utilizzati:

$$\begin{array}{l} f_{cm} = 30,27 \text{ MPa} \\ E = 22750 \text{ MPa} \end{array}$$

LIVELLO DI CONOSCENZA: LC2/LC3

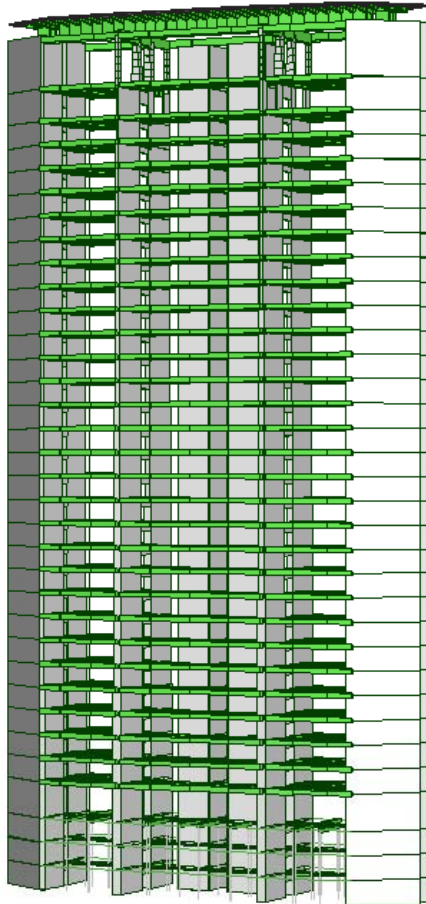
FATTORE DI CONFIDENZA: FC=1,2

$$f_d = \frac{f_m}{FC \cdot \gamma_M} \quad ? \text{ analisi statica lineare e modale con fattore } q$$

$$f_d = \frac{f_m}{FC} \quad ? \text{ analisi non lineari}$$



MODELLO NUMERICO



ANALISI LINEARE

- Analisi statica lineare
- Analisi dinamica modale
- Analisi Lineare con fattore di struttura q

ANALISI NON LINEARE

- Analisi Statica Non Lineare
- Analisi dinamica non lineare



METODI DI ANALISI E VERIFICHE DI SICUREZZA

LIVELLO DI CONOSCENZA: LC1/LC2/LC3

FATTORE DI CONFIDENZA: FC=1,35/1.2/1,0

$$f_d = \frac{f_m}{FC \cdot \gamma_M} \quad ? \text{ analisi statica lineare e modale con fattore}$$
$$f_d = \frac{f_m}{FC} \quad ? \text{ analisi non lineari}$$

In generale:

- **la verifica degli elementi "duttili"** viene eseguita confrontando gli effetti indotti dalle azioni sismiche in termini di deformazioni con le rispettive capacità espresse in termini di limiti di deformabilità;
- **la verifica degli elementi "fragili"** viene eseguita confrontando gli effetti indotti dalle azioni sismiche in termini di forze con le rispettive capacità espresse in termini resistenze.

La valutazione delle capacità è subordinata allo stato limite (SL) richiesto e al tipo di elemento duttile/fragile.



METODI DI ANALISI E VERIFICHE DI SICUREZZA

LIVELLO DI CONOSCENZA: LC1/LC2/LC3

FATTORE DI CONFIDENZA: FC=1,35/1,2/1,0

$$f_d = \frac{f_m}{FC \cdot \gamma_M} \quad ? \text{ analisi statica lineare e modale con fattore}$$
$$f_d = \frac{f_m}{FC} \quad ? \text{ analisi non lineari}$$

TIPO DI CRISI ELEMENTO STRUTTURALE	ANALISI LINEARE		ANALISI NON LINEARE	
	DOMANDA	CAPACITÀ	DOMANDA	CAPACITÀ
DUTTILE	DA AEL CON SPETTRO RIDOTTO CON q	RESISTENZA CON VALORI MEDI DIVISI PER FC	DA ANALISI	DEFORMAZIONE CON VALORI MEDI DIVISI PER FC
FRAGILE	DA AEL CON SPETTRO RIDOTTO CON q=1,5	RESISTENZA CON VALORI MEDI DIVISI PER FC E PER I COEFFICIENTI γ_M	DA ANALISI	DEFORMAZIONE CON VALORI MEDI DIVISI PER FC



L'ANALISI MODALE CON SPETTRO DI RISPOSTA (LINEARE)

Valori CLS medi utilizzati:

$$f_{cm} = 30,27 \text{ MPa}$$

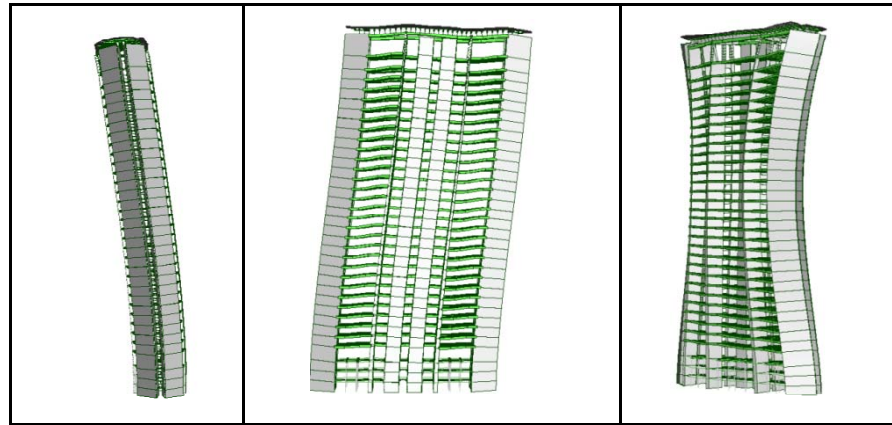
$$E = 22750 \text{ MPa}$$

LC2

$$FC=1,2$$

LC3

$$FC=1,0$$



a) b) c)
Figura 5. Modi di vibrare: a) modo 1, b) modo 2; c) modo 3

Resistenza di calcolo CLS:

$$f_{ck,pot} = f_{cm} - 8 = 22,27 \text{ MPa}$$

Per la valutazione delle **resistenze di calcolo** occorre considerare il valore del fattore di confidenza del livello di Confidenza LC2, pari a 1,20 (tabella C8A.1.2 della CM).

$$f_{cd}^* = f_{ck,pot} / (\gamma_c * FC) = f_{ck,pot} / (1,5 * 1,20) = 22,27 / (1,5 * 1,20) = 12,37 \text{ MPa} \text{ ?????}$$

$$f_{cd}^* = f_{cm,pot} / (\gamma_c * FC) = 30,27 / (1,5 * 1,2) = 16,8 \text{ MPa per NTC '08}$$

$$f_{cd}^* = f_{ck,pot} / (\gamma_{c1} * \gamma_{c3}) = 22,27 / (1,25 * 1,10) = 16,36 \text{ MPa}$$

Resistenza di calcolo lato ACCIAIO liscio:

$$f_{yk} = f_{ym} - k\sigma = 398 - 1,645 * 40 = 332,2 \text{ MPa}$$

$$f_{yd}^* = f_{yk} / (\gamma_s * FC) = f_{yk} / (1,3 * 1,20) = 212,9 \text{ MPa} \text{ ??????bla bla}$$



L'ANALISI DI PUSH-OVER PER I MATERIALI SI ASSUME:

$$f_d = \frac{f_m}{FC}$$

Diagrammi M-N-1/r sono costruiti sulla base di

- geometria della sezione e disposizione ferri armatura;
- effetti del confinamento sulla duttilità e sulla resistenza;
- valori di resistenza medi dei materiali.

I diagrammi sono costruiti discretizzando la sezione in strisce e considerando 3 diverse fasi:

- sezione interamente reagente;
- sezione parzializzata con acciaio in campo elastico;
- sezione parzializzata con acciaio in campo plastico.

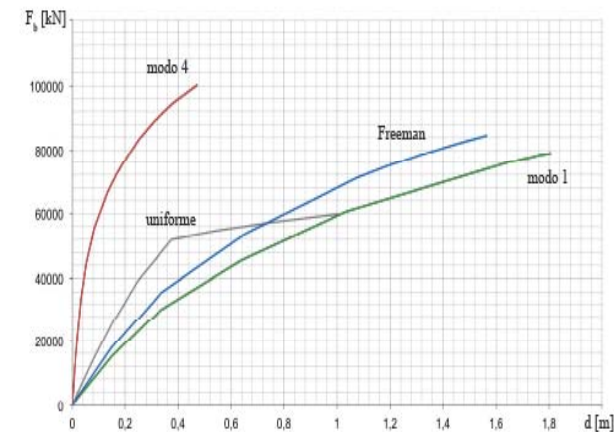
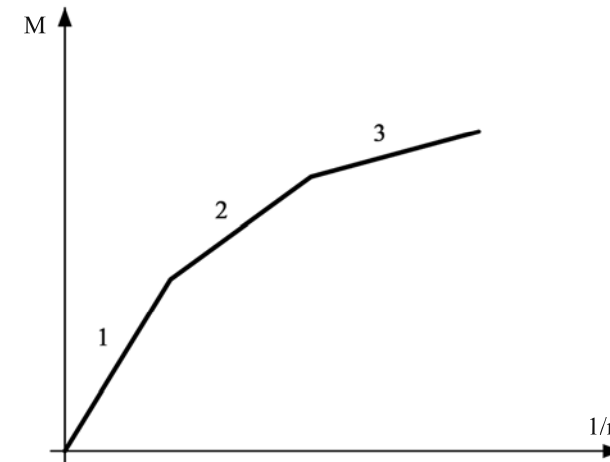


Figura 6. Curve di capacità lungo la direzione principale X



LATO CALCESTRUZZO

VISIONE A VANTAGGIO DI SICUREZZA

Dalle prove effettuate sulle carote di calcestruzzo prelevate dalle strutture esistenti si sono assunti i seguenti valori:

Resistenza cilindrica media carote:

$$f_{cm}=26,7 \text{ MPa}$$

Resistenza cilindrica caratteristica potenziale:

$$f_{ck,pot}=f_{cm}-8=18,7 \text{ MPa}$$

Resistenza cubica potenziale:

$$R_{ck,pot}=f_{ck,pot}/0,83=18,7/0,83=22,5 \text{ MPa.}$$

Per la valutazione delle resistenze di calcolo occorre considerare il valore del fattore di confidenza del livello di Confidenza LC1, pari a 1,35 (tabella C8A.1.2 della CM).

$$f_{cd}^*=f_{ck,pot}/(1,5*1,35) \text{ MPa} = 18,7/(1,5*1,35)=9,23 \text{ MPa}$$



BARRE D'ACCIAIO STRUTTURE ESISTENTI

VISIONE A VANTAGGIO DI SICUREZZA

Dalle prove effettuate sulle barre di acciaio prelevate dalle strutture esistenti si sono assunti i seguenti valori:

Resistenza media snervamento barre:

$$f_{ym}=298 \text{ MPa}$$

Resistenza media rottura barre:

$$f_{tm}=406 \text{ MPa}$$

Ai quali, con approccio statistico corrispondono i seguenti valori caratteristici:

Resistenza caratteristica snervamento barre:

$$f_{yk}=252 \text{ MPa}$$

Resistenza caratteristica rottura barre:

$$f_{tk}=285 \text{ MPa}$$

Assumendo un coefficiente $\gamma_m=1,3$ si ottengono i seguenti valori di resistenza di calcolo:

Resistenza media snervamento barre:

$$f_{yd}=193 \text{ MPa}$$

Per la valutazione delle resistenze di calcolo occorre considerare il valore del fattore di confidenza del livello di Confidenza LC1, pari a 1,35.

$$f_{yd}^*=193/1,35 \text{ MPa} = 142 \text{ MPa.}$$



PROGETTO CONOSCITIVO

LIVELLO SPEDITIVO

Per **livello di conoscenza *speditivo*** si fa riferimento a dati acquisiti mediante l'osservazione diretta delle qualità della fabbrica, una prima stima dimensionale della stessa e a fonti documentarie, quali indagini storiche sul manufatto e sull'ambito.

LIVELLO APPROFONDITO (ANALITICO)

per **livello di conoscenza *analitico*** si fa invece riferimento all'affinamento della conoscenza geometrica e materico-costruttiva della fabbrica, a dati indiretti quali valutazioni eseguite per analogia su studi e ricerche certificati, analisi in *situ* o in laboratorio.

PERCORSO METODOLOGICO

L'approccio conoscitivo ad una fabbrica storica rappresenta un percorso metodologico "inverso" rispetto agli edifici di nuova costruzione: dall'analisi della realtà materica della costruzione, attraverso successivi livelli di approfondimento, al riconoscimento del funzionamento strutturale accertato per la verifica della sicurezza sismica ai fini della definizione degli interventi.



PROGETTO CONOSCITIVO

Le fasi di tale processo sono così sintetizzabili:

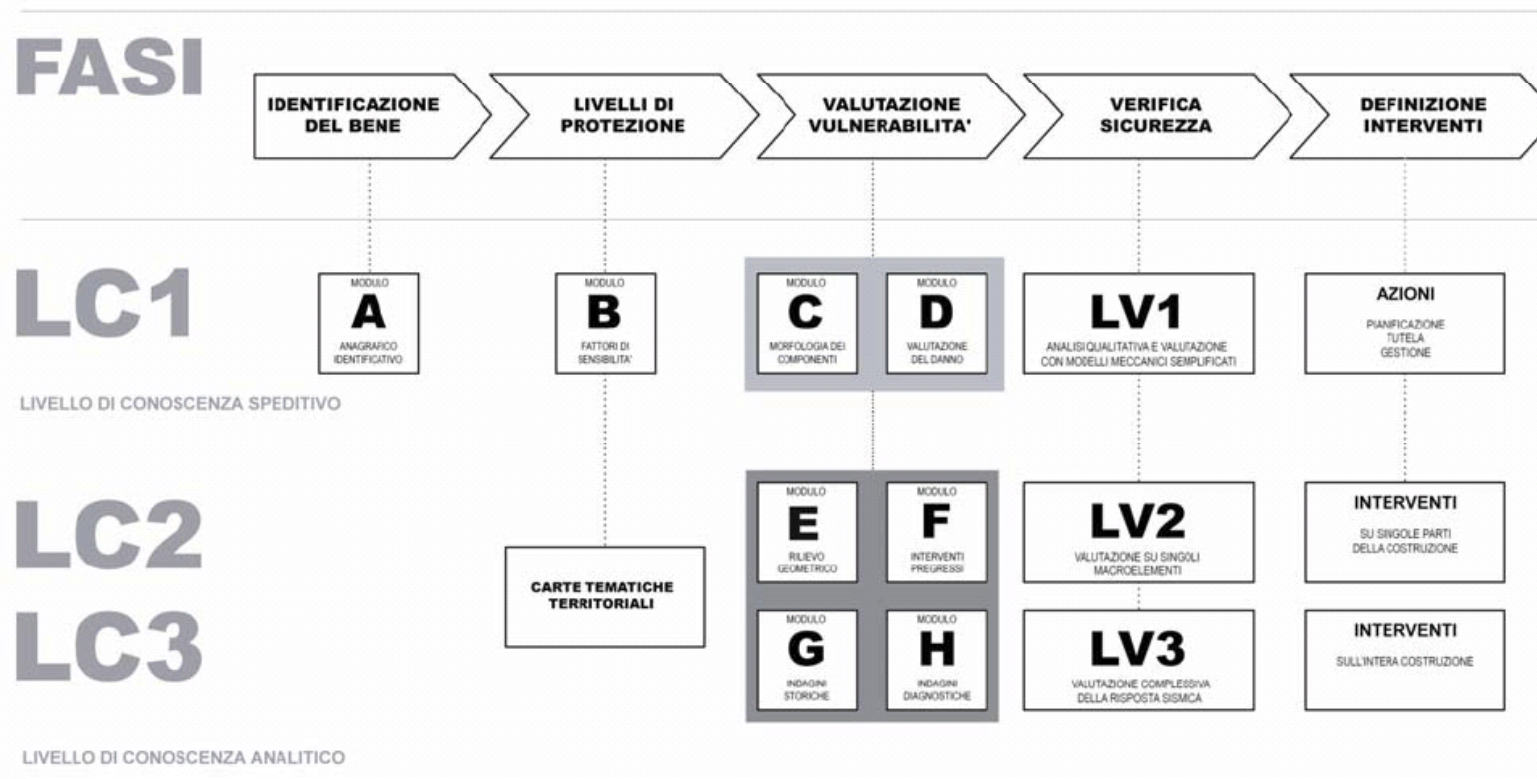
- IDENTIFICAZIONE DEL BENE
- FATTORI DI SENSIBILITA'
- VALUTAZIONE DELLA VULNERABILITA'
- VERIFICA DELLA SICUREZZA
- DEFINIZIONE DEGLI INTERVENTI

La scelta tra i diversi moduli schedografici costituisce il **PROGETTO CONOSCITIVO** da attuare in relazione agli obiettivi dell'indagine, ai contesti territoriali, alla disponibilità delle risorse.

La corrispondenza tra moduli schedografici, livelli di conoscenza e livelli di verifica, così come definiti nelle Linee Guida, è rappresentata nel seguente schema logico:



La corrispondenza tra moduli schedografici, livelli di conoscenza e livelli di verifica, così come definiti nelle Linee Guida, è rappresentata nel seguente schema logico:





CRITERI PER LA VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA E DELL'EFFICACIA DELL'INTERVENTO

Strumenti per la valutazione della sicurezza sismica a scala territoriale

Il **livello LV1** consente la valutazione dell'accelerazione di collasso attraverso metodi semplificati, basati su un numero limitato di parametri geometrici e meccanici o che utilizzano strumenti qualitativi (interrogazione visiva, lettura dei caratteri costruttivi, rilievo critico e stratigrafico).

Strumenti per la valutazione della sicurezza sismica a scala del singolo manufatto

Gli interventi possono riguardare singole parti del manufatto o interessare l'intera struttura; vengono quindi introdotti due diversi livelli di valutazione:

Livello LV2 - valutazioni da adottare in presenza di interventi locali su zone limitate del manufatto, che non alterano in modo significativo il comportamento strutturale accertato, per le quali sono suggeriti metodi di analisi locale; in questo caso la valutazione dell'accelerazione di collasso dell'intero manufatto, comunque richiesta, viene effettuata con gli strumenti del livello LV1;

Livello LV3 - progetto di interventi che modificano il funzionamento strutturale accertato o quando venga comunque richiesta un'accurata valutazione della sicurezza sismica del manufatto; in questo caso le valutazioni devono riguardare l'intero manufatto, e possono utilizzare i modelli locali previsti per il livello LV2, però applicati in modo generalizzato sui diversi elementi della costruzione, o un modello strutturale globale, nei casi in cui questi possano essere ritenuti attendibili. L'esperienza, acquisita a seguito dei passati eventi sismici, ha infatti mostrato come, per gli edifici storici in muratura, il collasso sia raggiunto, nella maggior parte dei casi, per perdita di equilibrio di porzioni limitate della costruzione (definite nel seguito macroelementi).



DEFINIZIONE DI STATI LIMITE DI RIFERIMENTO PER IL PATRIMONIO CULTURALE

Gli stati limite considerati sono:

SLU (stato limite ultimo) – Sotto l'effetto della azione sismica di riferimento, caratterizzata da una probabilità di superamento del 10% in 50 anni e opportunamente modulata in termini di differenti probabilità di eccedenza o di coefficiente di importanza (v. tab. 2.1 LG), la struttura, pur subendo danni di grave entità, mantiene una residua resistenza e rigidità nei confronti delle azioni orizzontali e l'intera capacità portante nei confronti dei carichi verticali.

SLD (stato limite di danno) – Sotto l'effetto della azione sismica, caratterizzata da una probabilità di superamento del 50% in 50 anni, opportunamente modulata in termini di differenti probabilità di eccedenza o di coefficiente di importanza (v. tab. 2.2), il manufatto nel suo complesso non subisce danni gravi che ne giustificano l'interruzione d'uso in conseguenza di eventi sismici che abbiano una maggiore probabilità di occorrenza rispetto a quella della azione sismica di riferimento per lo stato limite ultimo.



SLA (stato limite di danno ai beni artistici) – I beni artistici contenuti nel manufatto (apparati decorativi, ecc.) subiscono, in occasione di un terremoto di livello opportuno (in genere quello preso in considerazione per lo stato limite di danno), danni di modesta entità, tali da poter essere restaurati senza una significativa perdita del valore culturale.

la valutazione nei riguardi dello SLU è richiesta per ciascun manufatto tutelato, anche se non soggetto ad uso, in quanto garantisce la salvaguardia degli occupanti e la conservazione del manufatto;

la valutazione nei riguardi dello SLD è richiesta nei seguenti casi: o a livello complessivo, per i manufatti tutelati di cui si vuole garantire la funzionalità dopo il terremoto, in relazione al loro uso; o esclusivamente a livello locale, nelle parti in cui sono presenti beni tutelati di valore artistico; in presenza di beni artistici di particolare rilevanza, gli organi di tutela potrebbero richiedere un livello di protezione sismica più elevato, al limite corrispondente al raggiungimento dello SLD per un'azione sismica per la quale è in genere richiesto il rispetto dello SLU.

la valutazione nei riguardi dello SLA è richiesta nelle situazioni specifiche definite dall'Amministrazione competente (ad esempio quando il danno agli apparati decorativi ritenuti particolarmente significativi dall'Amministrazione può verificarsi anche in assenza di un danno strutturale).



LIVELLI DI PROTEZIONE SISMICA

Nel paragrafo 2.1 delle LG si introduce il concetto di indice di sicurezza sismica, definito dal rapporto fra l'accelerazione che porta l'opera a raggiungere uno stato limite e l'accelerazione attesa nel sito, corrispondente ad una determinata probabilità di eccedenza in 50 anni⁵. Il livello di protezione sismica di una determinata opera dipende dunque dal valore dell'accelerazione attesa, e quindi dalla probabilità di eccedenza accettata.

Per i manufatti architettonici di interesse storico artistico appare comunque opportuno confrontare l'indice di sicurezza sismica nella situazione attuale e quello eventualmente ottenibile realizzando interventi di miglioramento, compatibili con le esigenze di tutela del bene, con un livello di protezione sismica differenziato in funzione della loro rilevanza e del loro uso, e quindi delle conseguenze più o meno gravi di un loro danneggiamento per effetto di un evento sismico.



LIVELLI DI PROTEZIONE SISMICA

A tale scopo si istituiscono: tre diverse “categorie di rilevanza” (limitata, media, elevata), che possono essere definite sulla base della conoscenza del manufatto ottenuta con la metodologia sviluppata dal Ministero per i Beni e le Attività Culturali (Allegato A, punto A.15), attraverso un procedimento interdisciplinare;

tre diverse “categorie d’uso” (saltuario o non utilizzato, frequente, molto frequente; (Allegato A, punto B.6).

Tabella 2.1 – Probabilità di eccedenza in 50 anni dell’azione sismica (P) e fattori di importanza γ_I per la verifica allo SLU dei beni culturali tutelati

Categoria d’uso	Categoria di rilevanza					
	Limitata		Media		Elevata	
	P eccedenza	γ_I	P eccedenza	γ_I	P eccedenza	γ_I
Saltuario o non utilizzato	40%	0.50	25%	0.65	17%	0.80
Frequente	25%	0.65	17%	0.80	10%	1.00
Molto frequente	17%	0.80	10%	1.00	6,5%	1.20

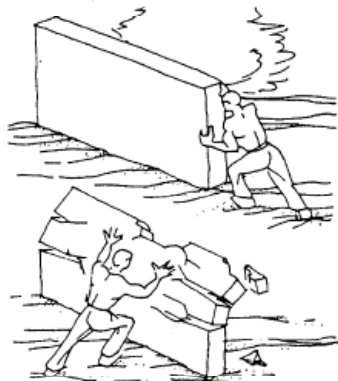
Tabella 2.2 – Probabilità di eccedenza in 50 anni dell’azione sismica (P) e fattori di importanza γ_I per la verifica allo SLD dei beni culturali tutelati

Categoria d’uso	Categoria di rilevanza					
	Limitata		Media		Elevata	
	P eccedenza	γ_I	P eccedenza	γ_I	P eccedenza	γ_I
Saltuario o non utilizzato	90%	0.50	80%	0.65	65%	0.80
Frequente	80%	0.65	65%	0.80	50%	1.00
Molto frequente	65%	0.80	50%	1.00	40%	1.20

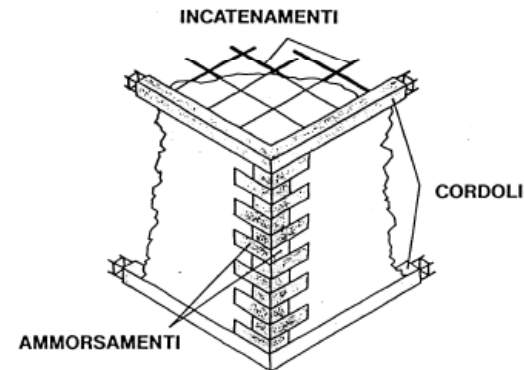
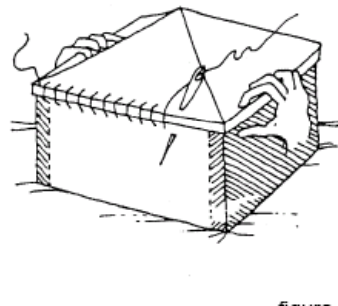


SICUREZZA COSTRUITO IN MURATURA

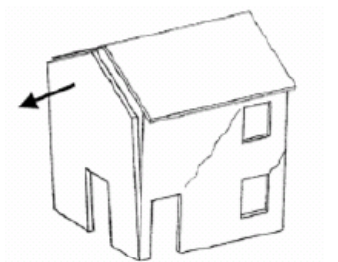
Per quanto riguarda le costruzioni esistenti in muratura, si distingue fra **meccanismi di collasso locali** e **meccanismi d'insieme**, stabilendo che la sicurezza della costruzione deve essere valutata nei confronti di entrambi.



TOULIATOS 1996



Elementi che consentono l'instaurarsi di un comportamento d'insieme

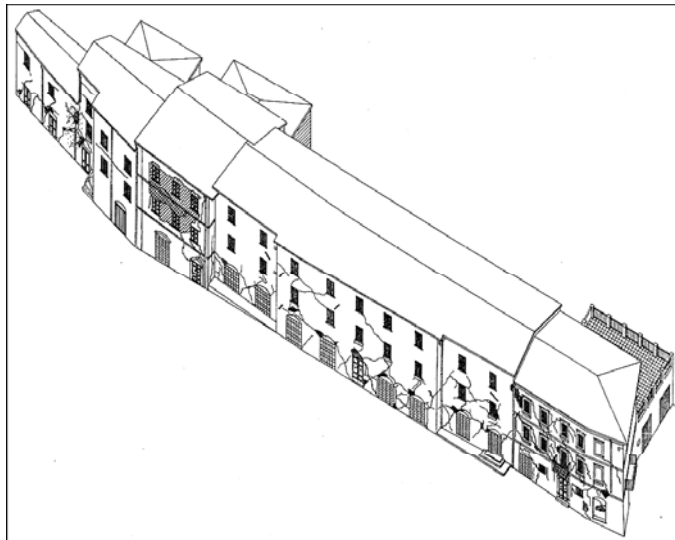


meccanismi di collasso locali



UNITÀ STRUTTURALI E AGGREGATO

Per le tipologie in **aggregato**, particolarmente frequenti nei centri storici, sono definiti i criteri per l'individuazione delle unità strutturali analizzabili separatamente e per la loro analisi strutturale, tenuto conto della complessità del comportamento, delle inevitabili interazioni con unità strutturali adiacenti e delle possibili semplificazioni apportabili al calcolo.



Binda e Saisi





LIVELLO DI CONOSCENZA E FATTORI DI CONFIDENZA: COSTRUITO IN MURATURA

Tabella C8A.1.1 – Livelli di conoscenza in funzione dell'informazione disponibile e conseguenti valori dei fattori di confidenza per edifici in muratura

Livello di Conoscenza	Geometria	Dettagli costruttivi	Proprietà dei materiali	Metodi di analisi	FC
LC1	Rilievo muratura, volte, solai, scale. Individuazione carichi gravanti su ogni elemento di parete	verifiche in situ limitate	Indagini in situ limitate <ul style="list-style-type: none">Resistenza: valore minimo di Tabella C8A.2.1Modulo elastico: valore medio intervallo di Tabella C8A.2.1	TUTTI	1,35
LC2	Individuazione tipologia fondazioni.	verifiche in situ estese ed esaustive	Indagini in situ estese <ul style="list-style-type: none">Resistenza: valore medio intervallo di Tabella C8A.2.1Modulo elastico: media delle prove o valore medio intervallo di Tabella C8A.2.1		1,20
LC3	Rilievo eventuale quadro fessurativo e deformativo		Indagini in situ esaustive <ul style="list-style-type: none">-caso a) (disponibili 3 o più valori sperimentali di resistenza)<ul style="list-style-type: none">Resistenza: media dei risultati delle proveModulo elastico: media delle prove o valore medio intervallo di Tabella C8A.2.1-caso b) (disponibili 2 valori sperimentali di resistenza)<ul style="list-style-type: none">Resistenza: se valore medio sperimentale compreso in intervallo di Tabella C8A.2.1, valore medio dell'intervallo di Tabella C8A.2.1; se valore medio sperimentale maggiore di estremo superiore intervallo, quest'ultimo; se valore medio sperimentale inferiore al minimo dell'intervallo, valore medio sperimentale.Modulo elastico: come LC3 – caso a).-caso c) (disponibile 1 valore sperimentale di resistenza)<ul style="list-style-type: none">Resistenza: se valore sperimentale compreso in intervallo di Tabella C8A.2.1, oppure superiore, valore medio dell'intervallo; se valore sperimentale inferiore al minimo dell'intervallo, valore sperimentale.Modulo elastico: come LC3 – caso a).		1,00



PROPRIETA' MECCANICHE MATERIALI

Nella Tabella C8A.2.1 sono indicati i valori di riferimento che possono essere adottati nelle analisi, secondo quanto indicato al § C8A.1.A.4 in funzione del livello di conoscenza acquisito.

Il riconoscimento della **tipologia muraria** è condotto attraverso un dettagliato rilievo degli aspetti costruttivi (§ C8A.1.A.2).

E' noto che la muratura presenta, a scala nazionale, una **notevole varietà per tecniche costruttive e materiali impiegati** ed un inquadramento in tipologie precostituite può risultare problematico. I **moduli di elasticità normale E e tangenziale G** sono da considerarsi relativi a condizioni non fessurate, per cui le rigidzze dovranno essere opportunamente ridotte.



PROPRIETA' MECCANICHE MATERIALI DEL COSTRUITO IN MURATURA

65

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

TIPOLOGIA DI MURATURA	f_m (N/cm ²)	τ_0 (N/cm ²)	E (N/mm ²)	G (N/mm ²)	W (kN/m ³)
	Min-max	Min-max	Min-max	Min-max	
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	100 180	2,0 3,2	690 1050	230 350	19
Muratura a conci sbozzati, con paramento di limitato spessore e nucleo interno	200 300	3,5 5,1	1020 1440	340 480	20
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	260 380	5,6 7,4	1500 1980	500 660	21
Muratura a conci di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)	140 240	2,8 4,2	900 1260	300 420	16
Muratura a blocchi lapidei squadrati	600 800	9,0 12,0	2400 3200	780 940	22
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	240 400	6,0 9,2	1200 1800	400 600	18
Muratura in mattoni semipieni con malta cementizia (es.: doppio UNI foratura 40%)	500 800	24 32	3500 5600	875 1400	15
Muratura in blocchi laterizi semipieni (perc. foratura < 45%)	400 600	30,0 40,0	3600 5400	1080 1620	12
Muratura in blocchi laterizi semipieni, con giunti verticali a secco (perc. foratura < 45%)	300 400	10,0 13,0	2700 3600	810 1080	11
Muratura in blocchi di calcestruzzo o argilla espansa (perc. foratura tra 45% e 65%)	150 200	9,5 12,5	1200 1600	300 400	12
Muratura in blocchi di calcestruzzo semipieni (foratura < 45%)	300 440	18,0 24,0	2400 3520	600 880	14



CONDIZIONI DELLA MURATURA

Nel caso delle **MURATURE STORICHE**, i valori indicati nella Tabella C8A.2.1 (relativamente alle prime sei tipologie) sono da riferirsi a condizioni di muratura con malta di scadenti caratteristiche, giunti non particolarmente sottili ed in assenza di ricorsi o listature che, con passo costante. Inoltre si assume che, per le murature storiche, queste siano a **paramenti scollegati**, ovvero manchino sistematici elementi di connessione trasversale (o di ammorsamento per ingranamento tra i paramenti murari).



1



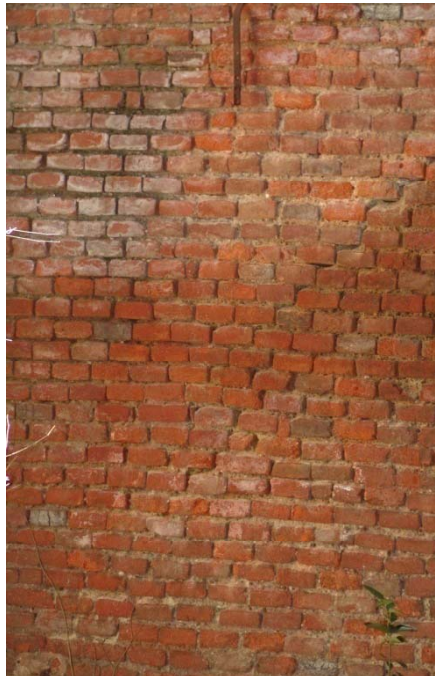
2

- 1 - Torre dei Modenesi
- 2 - Torre dei Modenesi



CONDIZIONI DELLA MURATURA

I valori indicati per le murature regolari sono relativi a casi in cui la tessitura rispetta la regola dell'arte. Nei casi di tessitura scorretta (giunti verticali non adeguatamente sfalsati, orizzontalità dei filari non rispettata), i valori della tabella devono essere adeguatamente ridotti.



1



2

- 1 - Muratura Cavallerizze
- 2 - Murature Palazzo Ghisi
- 3 - Muratura Rocca di Finale



3



Nel caso in cui la muratura presenti caratteristiche migliori rispetto ai suddetti elementi di valutazione, le caratteristiche meccaniche saranno ottenute, a partire dai valori di Tabella C8A.2.1, applicando coefficienti migliorativi fino ai valori indicati nella Tabella C8A.2.2, secondo le seguenti modalità:

- **malta di buone caratteristiche:** si applica il coefficiente indicato in Tabella C8A.2.2, diversificato per le varie tipologie, sia ai parametri di resistenza (f_m e τ_0), sia ai moduli elastici (E e G);
- **giunti sottili (< 10 mm):** si applica il coefficiente, diversificato per le varie tipologie, sia ai parametri di resistenza (f_m e τ_0), sia ai moduli elastici (E e G); nel caso della resistenza a taglio l'incremento percentuale da considerarsi è metà rispetto a quanto considerato per la resistenza a compressione; nel caso di murature in pietra naturale è opportuno verificare che la lavorazione sia curata sull'intero spessore del paramento.
- **presenza di ricorsi (o listature):** si applica il coefficiente indicato in tabella ai soli parametri di resistenza (f_m e τ_0); tale coefficiente ha significato solo per alcune tipologie murarie, in quanto nelle altre non si riscontra tale tecnica costruttiva;
- **presenza di elementi di collegamento trasversale tra i paramenti:** si applica il coefficiente indicato in tabella ai soli parametri di resistenza (f_m e τ_0); tale coefficiente ha significato solo per le murature storiche, in quanto quelle più recenti sono realizzate con una specifica e ben definita tecnica costruttiva ed i valori in Tabella C8A.2.1 rappresentano già la possibile varietà di comportamento.



Le diverse tipologie di Tabella C8A.2.1 assumono che la muratura sia costituita da due paramenti accostati, o con un nucleo interno di limitato spessore (inferiore allo spessore del paramento); **fanno eccezione il caso della muratura a conci sbozzati**, per la quale è implicita la presenza di un nucleo interno (anche significativo ma di discrete caratteristiche), e **quello della muratura in mattoni pieni**, che spesso presenta un nucleo interno con materiale di reimpiego reso coeso.

Nel caso in cui il nucleo interno sia ampio rispetto ai paramenti e/o particolarmente scadente, è opportuno ridurre opportunamente i parametri di resistenza e deformabilità, attraverso una omogeneizzazione delle caratteristiche meccaniche nello spessore.

In assenza di valutazioni più accurate è possibile penalizzare i suddetti parametri meccanici attraverso il coefficiente indicato in Tabella C8A.2.2.



MURATURE CONSOLIDATE

In presenza di murature consolidate, o nel caso in cui si debba valutare la sicurezza dell'edificio rinforzato, è **possibile valutare le caratteristiche meccaniche per alcune tecniche di intervento**, attraverso i coefficienti indicati in Tabella C8A.2.2, secondo le seguenti modalità:

- **consolidamento con iniezioni di miscele leganti**: si applica il coefficiente indicato in tabella, diversificato per le varie tipologie, sia ai parametri di resistenza (f_m e τ_0), sia ai moduli elastici (E e G); nel caso in cui la muratura originale fosse stata classificata con malta di buone caratteristiche, il suddetto coefficiente va applicato al valore di riferimento per malta di scadenti caratteristiche, in quanto il risultato ottenibile attraverso questa tecnica di consolidamento è, in prima approssimazione, indipendente dalla qualità originaria della malta (in altre parole, nel caso di muratura con malta di buone caratteristiche, l'incremento di resistenza e rigidezza ottenibile è percentualmente inferiore);

.....



MURATURE CONSOLIDATE

.....

-**consolidamento con intonaco armato**: per definire parametri meccanici equivalenti è possibile applicare il coefficiente indicato in tabella, diversificato per le varie tipologie, sia ai parametri di resistenza (f_m e τ_0), sia ai moduli elastici (E e G); per i parametri di partenza della muratura non consolidata non si applica il coefficiente relativo alla connessione trasversale, in quanto l'intonaco armato, se correttamente eseguito collegando con barre trasversali uncinato i nodi delle reti di armatura sulle due facce, realizza, tra le altre, anche questa funzione. Nei casi in cui le connessioni trasversali non soddisfino tale condizione, il coefficiente moltiplicativo dell'intonaco armato deve essere diviso per il coefficiente relativo alla connessione trasversale riportato in tabella;

- **consolidamento con diafani artificiali**: in questo caso si applica il coefficiente indicato per le murature dotate di una buona connessione trasversale.

I valori sopra indicati per le murature consolidate possono essere considerati come riferimento nel caso in cui non sia comprovata, con opportune indagini sperimentali, la reale efficacia dell'intervento e siano quindi misurati, con un adeguato numero di prove, i valori da adottarsi nel calcolo.



LIVELLO DI CONOSCENZA E FATTORI DI CONFIDENZA: COSTRUITO IN MURATURA

72

COEFFICIENTI CORRETTIVI MURATURE CONSOLIDATE O DI BUONA QUALITA'

Tabella C8A.2.2 - Coefficienti correttivi dei parametri meccanici (indicati in Tabella C8A.2.1) da applicarsi in presenza di: malta di caratteristiche buone o ottime; giunti sottili; ricorsi o listature; sistematiche connessioni trasversali; nucleo interno particolarmente scadente e/o ampio; consolidamento con iniezioni di malta; consolidamento con intonaco armato.

TIPOLOGIA DI MURATURA	Malta buona	Giunti Sottili (<10 mm)	Ricorsi o listature	Connessione trasversale	Nucleo scadente e/o ampio	Iniezione di miscele leganti	Intonaco armato *
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	1,5	-	1,3	1,5	0,9	2	2,5
Muratura a conci sbozzati, con parametro di limitato spessore e	1,4	1,2	1,2	1,5	0,8	1,7	2
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	1,3	-	1,1	1,3	0,8	1,5	1,5
Muratura a conci di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)	1,5	1,5	-	1,5	0,9	1,7	2
Muratura a blocchi lapidei squadrati	1,2	1,2	-	1,2	0,7	1,2	1,2
Muratura in mattoni pieni e malta di Calce	1,5	1,5	-	1,3	0,7	1,5	1,5

* Valori da ridurre convenientemente nel caso di pareti di notevole spessore (p.es. > 70 cm).



COEFFICIENTI CORRETTIVI MURATURE CONSOLIDATE O DI BUONA QUALITA'

Per le verifiche della muratura si sono assunti i seguenti valori:

- muratura rinforzato con intonaco strutturale su un solo lato e collegato alla muratura:
- resistenza media muratura $f_m=24$ MPa
- fattori correttivi buona malta pari a 1,5
- fattore correttivo giunti < 10 mm pari a 1,5
- fattore correttivo connessione trasversale su un solo lato 1/1,3
- fattore correttivo intonaco strutturale 1,5

In tal modo nelle verifiche delle murature si è assunto una resistenza pari a 6,2 MPa.



LA RESISTENZA DI CALCOLO SI DIFFERENZIA IN RELAZIONE AL TIPO DI ANALISI

Nel caso di **analisi elastica con il fattore q** (analisi lineare statica ed analisi dinamica modale con coefficiente di struttura), i valori di calcolo delle resistenze sono ottenuti dividendo i valori medi per i rispettivi fattori di confidenza e per il coefficiente parziale di sicurezza dei materiali (C8.7.1.5):

$$f_d = \frac{f_m}{FC \cdot \gamma_M}$$

Nel caso di **analisi non lineare**, i valori di calcolo delle resistenze da utilizzare sono ottenuti dividendo i valori medi per i rispettivi fattori di confidenza:

$$f_d = \frac{f_m}{FC}$$

PERTANTO, per la verifica degli elementi e meccanismi fragili, oltre al fattore di confidenza bisogna tenere in conto anche del coefficiente di sicurezza parziale sui materiali, mentre per le verifiche degli elementi e meccanismi duttili questo non verrà considerato, in accordo con quanto esposto nel paragrafo C8.7.2 della Circolare 02/02/09 n. 617 del CSLP.



IL COEFFICIENTE PARZIALE γ_M VARIA IN RELAZIONE ALLO STATO LIMITE ED AL TIPO DI VERIFICA

Il numero di prove effettuate, unite alle indicazioni progettuali portano (Tabella C8A.1.1 della Circolare 02/02/09 n. 617 del CSLP) a un livello di conoscenza LC2 (conoscenza adeguata) a cui corrisponde un fattore di confidenza: **FC=1,20**.

Il coefficiente parziale di sicurezza da utilizzare per il progetto sismico di strutture in muratura $\gamma_M=2,0$ (par. 7.8.1.1).

Il coefficiente parziale di sicurezza da impiegare per le verifiche a compressione, pressoflessione e a taglio, con riferimento a “*muratura con elementi resistenti di categoria II e ogni tipo di malta*” (tab. 4.5.II) $\gamma_M=3,0$.

Per le verifiche secondo la formulazione semplificata in condizioni di esercizio, il coefficiente parziale di sicurezza $\gamma_M=4,2$ (par. 4.5.6.4).

In definitiva, si assume un coefficiente di sicurezza complessivo sul valore medio delle resistenze pari a:

S.L.V.	$SF = FC \cdot \gamma_M = 1,20 \cdot 2,0 = 2,40$
S.L.U.	$SF = FC \cdot \gamma_M = 1,20 \cdot 3,0 = 3,60$
S.L.E.	$SF = FC \cdot \gamma_M = 1,20 \cdot 4,2 = 5,04$



PROGETTO CONOSCENZA

SIGLA	INDAGINE	N. prove
US	Indagini ultrasoniche	4
SO	Indagini soniche	8
JS	Prova con singolo martinetto piatto	2
JD	Prova con doppio martinetto piatto	2

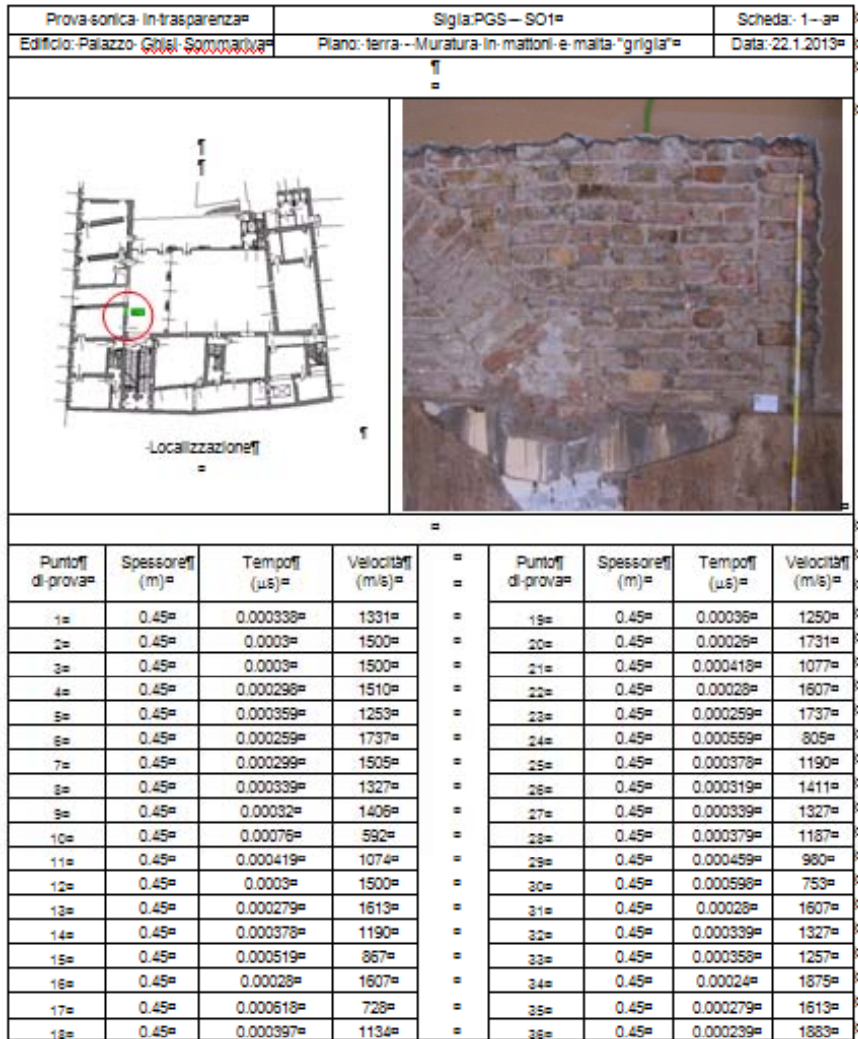
Tabella riassuntiva delle indagini eseguite sulle strutture murarie



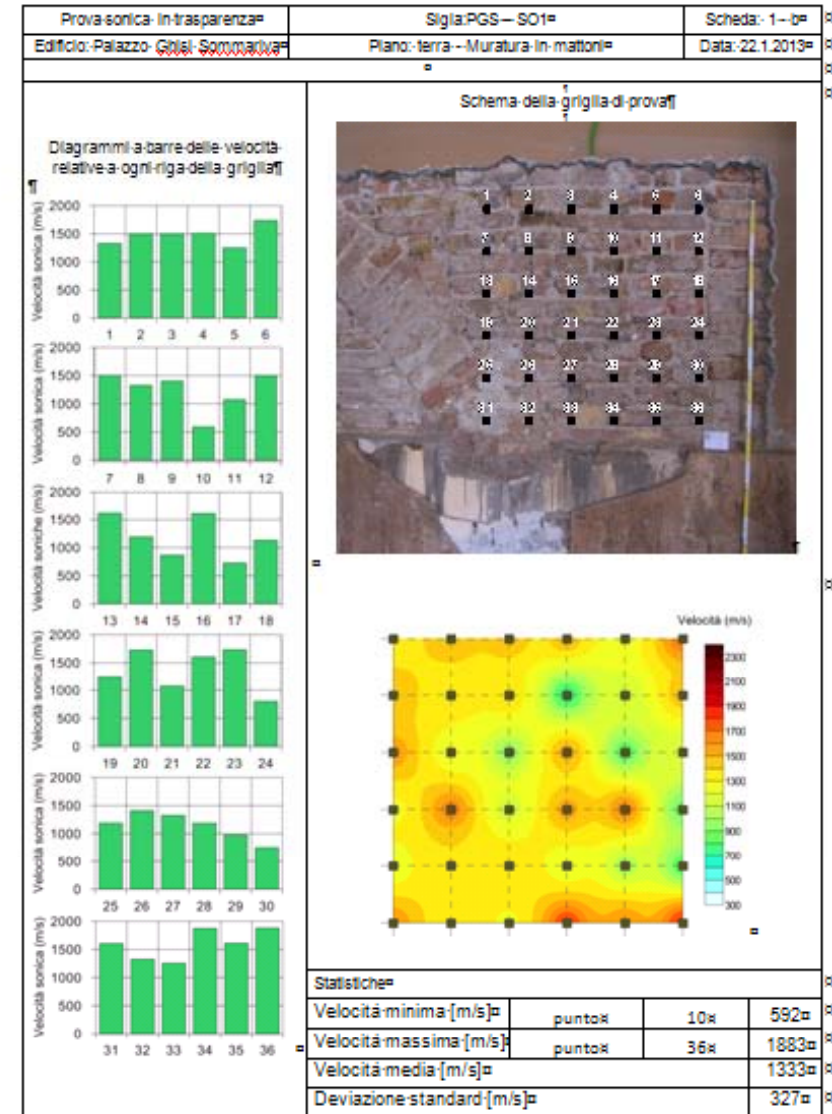


LIVELLO DI CONOSCENZA E FATTORI DI CONFIDENZA: COSTRUITO IN MURATURA: PALAZZO GHISI

77



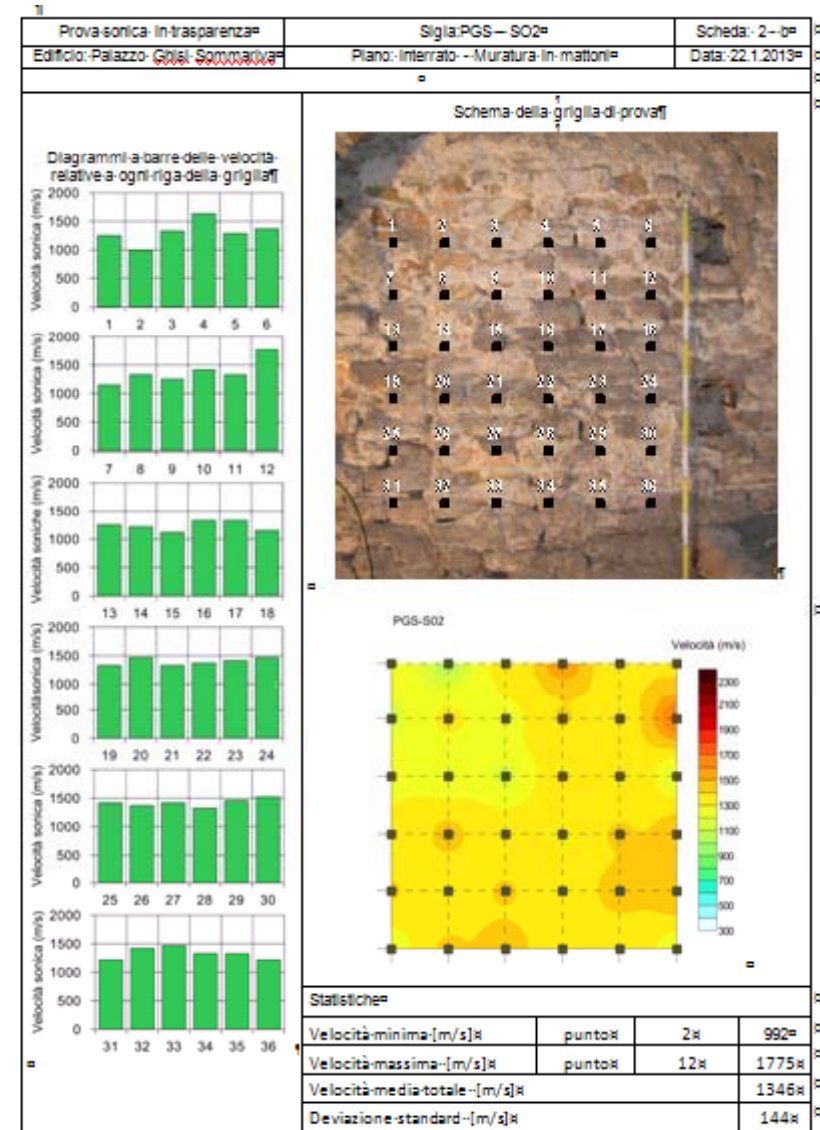
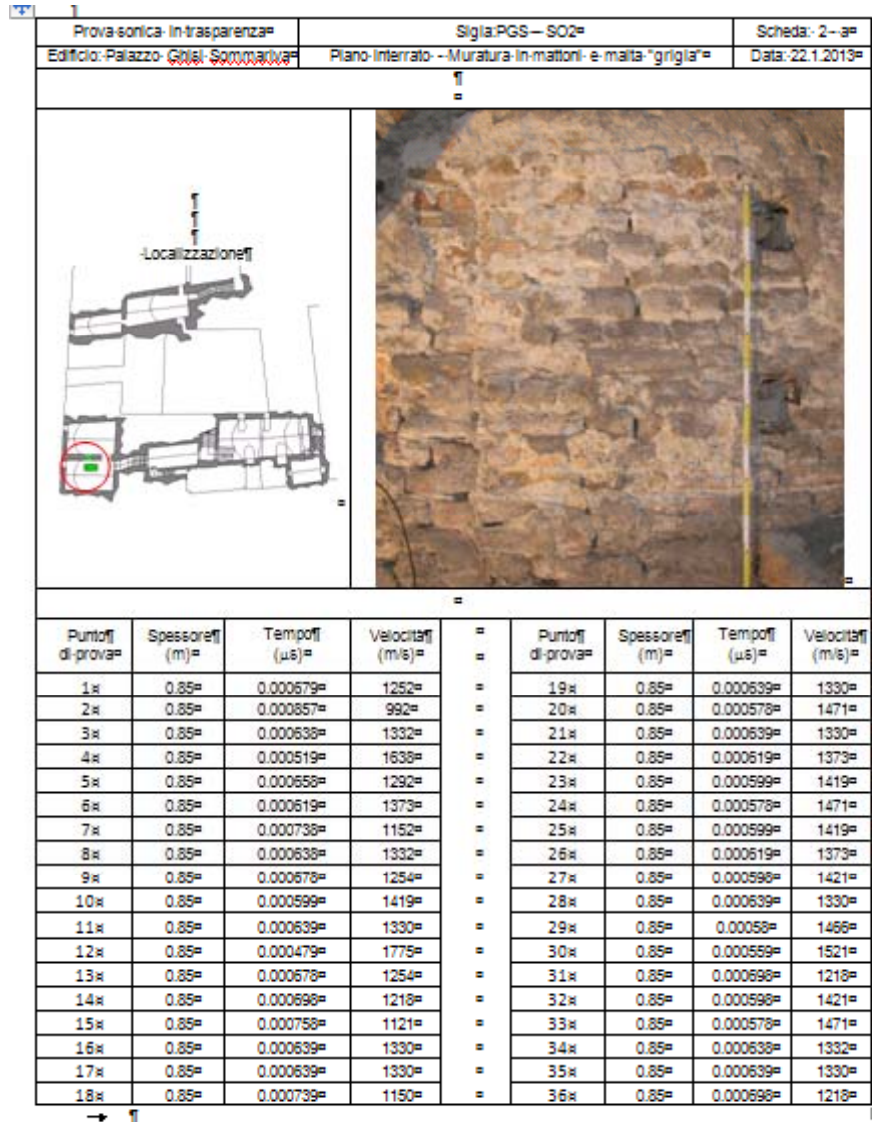
interruzione pagina





LIVELLO DI CONOSCENZA E FATTORI DI CONFIDENZA: COSTRUITO IN MURATURA: PALAZZO GHISI

78





LIVELLO DI CONOSCENZA E FATTORI DI CONFIDENZA: COSTRUITO IN MURATURA: PALAZZO GHISI

Prove con martinetti piatto doppio	Sigla: PGS-J1d	Scheda: 1c
Edificio: Palazzo Ghisi - via Spumazza - Lodi	Piano terra - Mureture in mattoni pieni e malta 'grigia'	Data: Gennaio 2013

Tessiture murarie tra i due martinetti

Disposizione delle basi di misura con adattamenti locali

Fase di prove

Grafico sforzi-deformazioni delle singole basi

Disposizione delle basi di misura

Distanza tra i martinetti: 470 mm				
Lunghezza delle basi di misura [mm]				
L1=	L2=	L3=	L4=	L5=
306	306	310	301	398

Osservazioni: La prova è stata interrotta in seguito alla formazione di fessure nella zona centrale e ai lati del martinetto superiore (v. fotografie). Si ipotizza che le fessure centrali si siano generate a un livello di pressione pari a circa 1.4 MPa (dedotto dall'incremento degli spostamenti in direzione orizzontale di alcune mire di un sistema ottico applicato in aggiunta ai trasduttori di spostamento).

Prove con martinetti piatto doppio	Sigla: PGS-J1d	Scheda: 1d
Edificio: Palazzo Ghisi - via Spumazza - Lodi	Piano terra - Mureture in mattoni pieni e malta 'grigia'	Data: Gennaio 2013

Grafico sforzi-deformazioni (deformazioni medie)

Tessiture murarie

Disposizione delle basi con adattamenti locali e dei martinetti

Intervallo di riferimento $\Delta\sigma$ [N/mm ²]	Modulo elastico [N/mm ²] $\Delta\sigma / \Delta\epsilon$					Coefficiente di dilatazione trasversale $\Delta\epsilon_x / \Delta\epsilon_y$					
	Basi di misura (LVDT)					Basi di misura					
	1=	2=	3=	4=	media LVDT	5,1=	5,2=	5,3=	5,4=	5,media LVDT	
0.10	0.61	1700	1250	1325	1675	1450	0.41	0.30	0.32	0.39	0.35
0.61	1.01	700	550	575	750	650	0.56	0.45	0.47	0.61	0.51
1.01	1.39	225	175	175	225	200	0.56	0.44	0.45	0.56	0.50
1.39	1.95	175	125	100	150	125	1.00	0.68	0.64	0.89	0.78



LIVELLO DI CONOSCENZA E FATTORI DI CONFIDENZA: COSTRUITO IN MURATURA: PALAZZO GHISI

80

Prova sonica - In trasparenza Sigla: PGS - SO3 Scheda: 3 - a

Edificio: Palazzo Ghisi - Sommariva Piano: terra - Muratura in mattoni e malta "griglia" Data: 22.1.2013

Localizzazioni

Puntoli di prova	Spessore (m)	Tempi (μ s)	Velocità (m/s)
1x	0.45	0.001057	426
2x	0.45	0.000918	490
3x	0.45	0.001018	442
4x	0.45	0.000819	549
5x	0.45	0.00054	833
6x	0.45	0.000639	704
7x	0.45	0.000557	808
8x	0.45	0.000618	728

Diagrammi a barre delle velocità relative a ogni riga della griglia

Schema della griglia di provati

Statistiche

Velocità minima (m/s)	puntoli	1x	426
Velocità massima (m/s)	puntoli	5x	833
Velocità media (m/s)			623
Deviazione standard (m/s)			165

Prova sonica - In trasparenza Sigla: PGS - SO4 Scheda: 4 - a

Edificio: Palazzo Ghisi - Sommariva Pianoterra - Muratura in mattoni e malta "bruna" Data: 22.1.2013

Localizzazioni

Puntoli di prova	Spessore (m)	Tempi (μ s)	Velocità (m/s)
1x	0.44	0.001038	424
2x	0.44	0.001099	400
3x	0.44	0.000699	629
4x	0.44	0.000738	596
5x	0.44	0.001278	344
6x	0.44	0.001079	408
7x	0.44	0.001098	401
8x	0.44	0.001498	294
9x	0.44	0.001198	367
10x	0.44	0.000918	479
11x	0.44	0.000998	441
12x	0.44	0.001518	290
13x	0.44	0.000818	538
14x	0.44	0.000859	512
15x	0.44	0.000898	490
16x	0.44	0.000678	649
17x	0.44	0.000798	551
18x	0.44	0.00032	1375

Puntoli di prova	Spessore (m)	Tempi (μ s)	Velocità (m/s)
19x	0.44	0.000498	884
20x	0.44	0.000818	538
21x	0.44	0.000618	712
22x	0.44	0.000839	524
23x	0.44	0.001059	415
24x	0.44	0.000639	689
25x	0.44	0.000378	1164
26x	0.44	0.000598	736
27x	0.44	0.001099	400
28x	0.44	0.000738	596
29x	0.44	0.000677	650
30x	0.44	0.000877	502
31x	0.44	0.001439	306
32x	0.44	0.000799	551
33x	0.44	0.001098	401
34x	0.44	0.001298	339
35x	0.44	0.001059	415
36x	0.44	0.000858	513

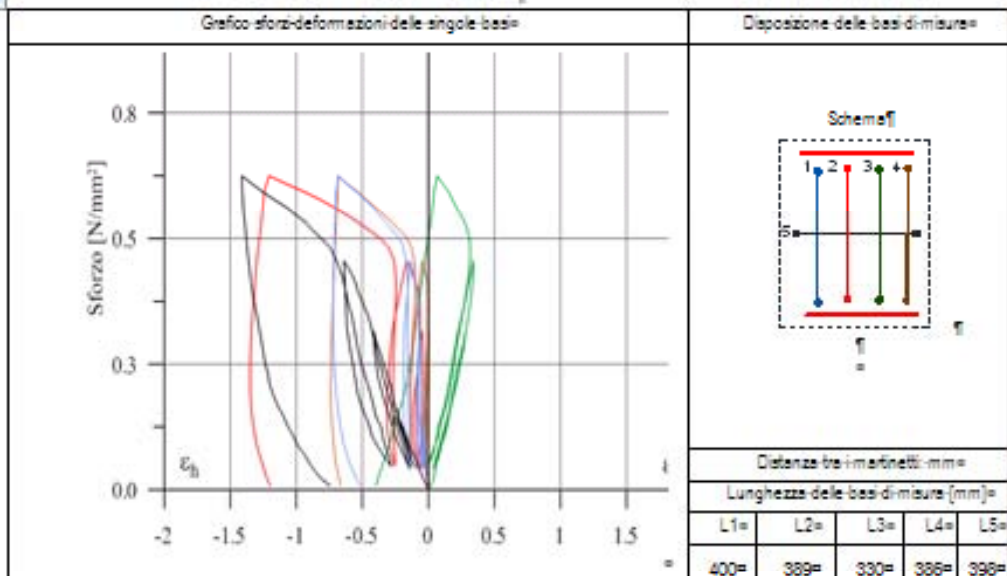
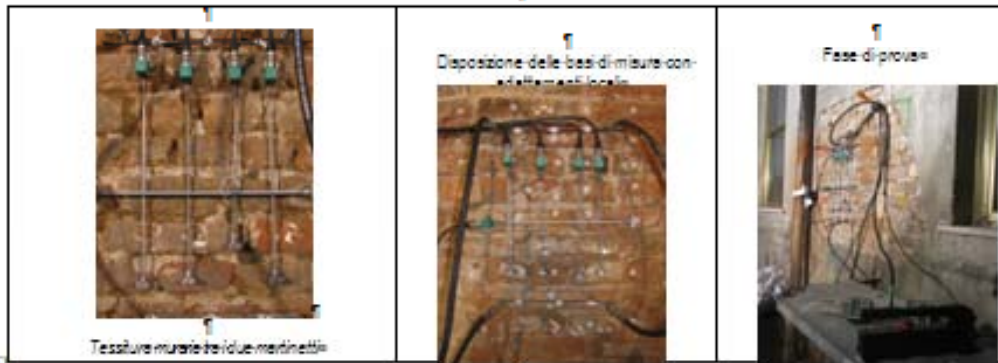
.....interruzione pagina.....



LIVELLO DI CONOSCENZA E FATTORI DI CONFIDENZA: COSTRUITO IN MURATURA: PALAZZO GHISI

81

Prove con martinetto piatto doppio	Sigla: PGS-J2d	Scheda: 2c
Edificio: Palazzo Ghisi - Scrima - Lodi	Piano: terra - Muratura in mattoni pieni malta "bruna"	Data: Gennaio 2013





LIVELLO DI CONOSCENZA E FATTORI DI CONFIDENZA: COSTRUITO IN MURATURA: MUSEO, CAVALLERIZZE

82





LIVELLO DI CONOSCENZA E FATTORI DI CONFIDENZA: COSTRUITO IN MURATURA: MUSEO CAVALLERIZZE

83

Prova: MSP-J7D
Cantiere: Siloteca - Museo della Scienza
Data: 16-05-2007

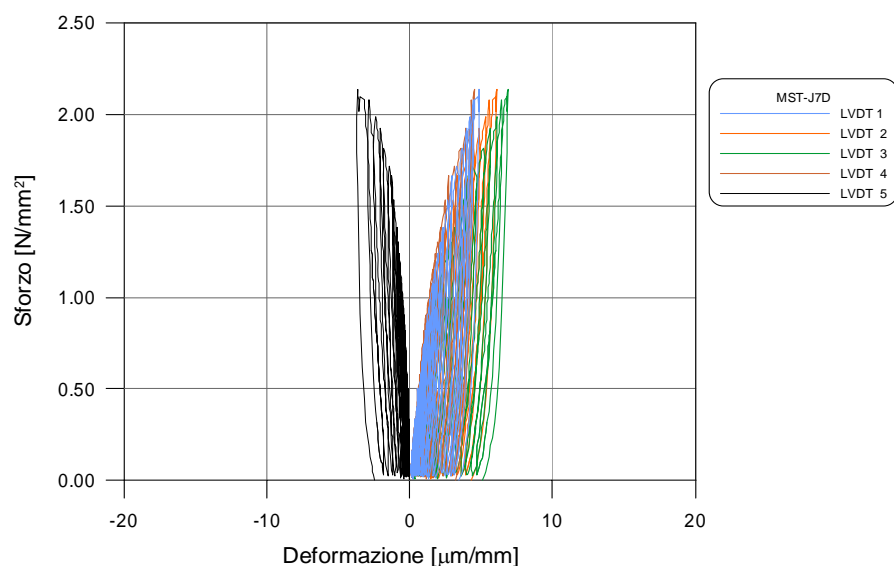


Diagramma sforzi deformazioni ottenuto dalla prova MST-J7D - SILOTECA

Prova: MSP-J6D
Cantiere: Cavallerizza - Museo della Scienza
Data: 186-05-2007

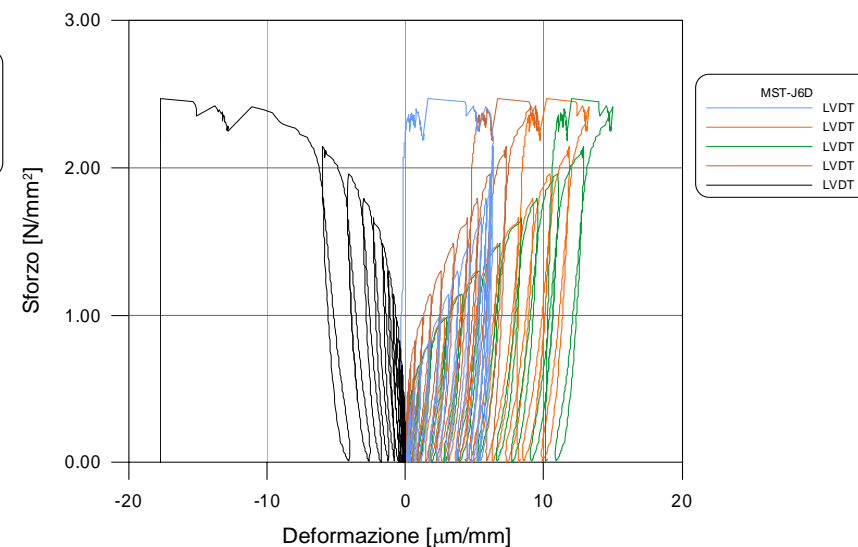
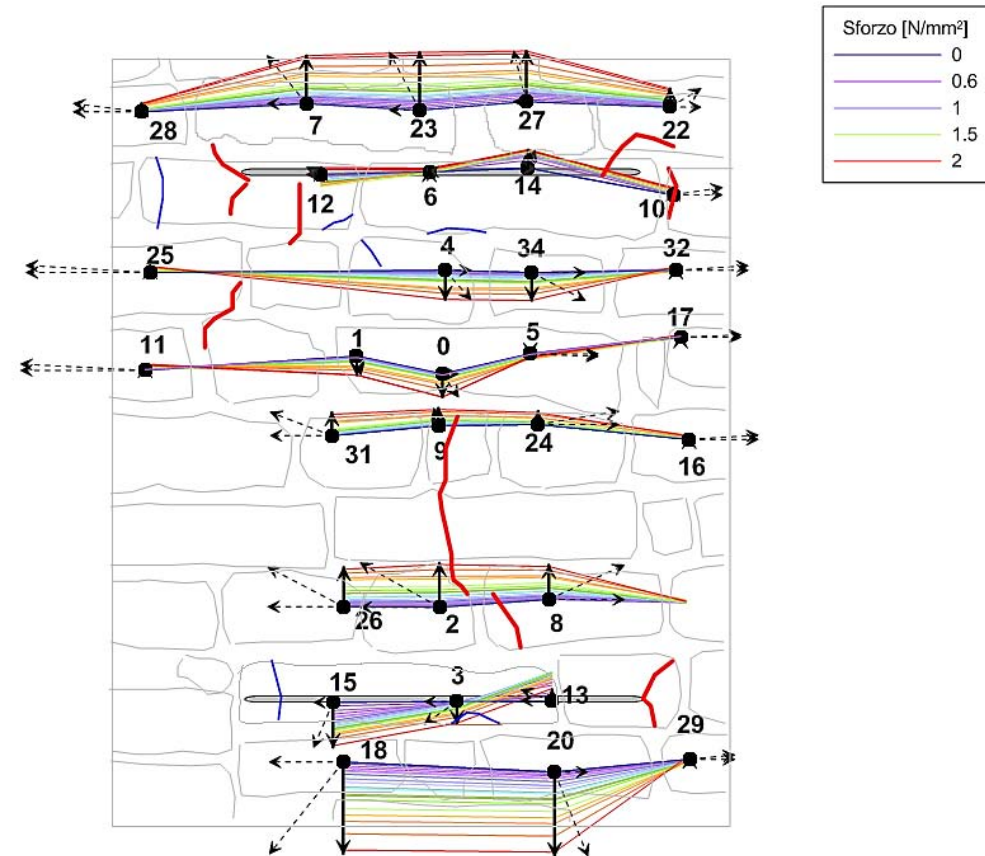


Diagramma sforzi deformazioni ottenuto dalla prova MST-J6D - CAVALLERIZZE



LIVELLO DI CONOSCENZA E FATTORI DI CONFIDENZA: COSTRUITO IN MURATURA: PALAZZO GHISI

84





RIFERIMENTI

- OPCM, n° 3362, 8 Luglio 2004. Gazzetta Ufficiale n° 165 del 16 luglio 2004.
- Norme tecniche per le costruzioni – D.M. 14 gennaio 2008, (G.U. n. 29 del 4.02.2008 suppl. ord. n° 30).
- Circolare 2 febbraio 2009, n° 617, C.S.LL.PP, Istruzioni per l'applicazione delle Norme tecniche per le costruzioni di cui al DM 14 gennaio 2008
- Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri del 2011 (*Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale*).
- M. Acito (2000) – "La misura FUZZY della vulnerabilità di manufatti stradali e ferroviari in c.a.", 13° Congresso CTE, Pisa 9-10-11 Novembre 2000.
- M. Acito, A. Migliacci, A. Ponzone – "La fuzzy sets theory nella misura di sicurezza di costruzioni esistenti in c.a." 13° Congresso CTE, Pisa 9-10-11 Novembre 2000.