



Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici

Servizio Tecnico Centrale

***LINEE GUIDA PER SISTEMI COSTRUTTIVI A
PANNELLI PORTANTI BASATI SULL'IMPIEGO DI
BLOCCHI CASSERO E CALCESTRUZZO
DEBOLMENTE ARMATO GETTATO IN OPERA***

Versione approvata dalla Prima Sezione del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici con parere n.117 del 10.02.2011

Luglio 2011

Indice

1. OGGETTO	3
2. CARATTERIZZAZIONE SPERIMENTALE	3
3. CARATTERISTICHE MECCANICHE DEI MATERIALI IMPIEGATI ED ACCETTAZIONE DEI COMPONENTI	9
4. REGOLE DI ESECUZIONE	10
5. CRITERI PER LA VERIFICA DELLA SICUREZZA	10
6. ANALISI STRUTTURALE E MODELLI DI CALCOLO	10
7. RACCOMANDAZIONI PER LA PROGETTAZIONE STRUTTURALE IN ZONA SISMICA	11
7.1 <i>Fattore di struttura</i>	11
7.2 <i>Spessore delle pareti per il calcolo delle sollecitazioni di progetto</i>	12
7.3 <i>Verifica delle pareti</i>	13
7.4 <i>Verifica degli elementi di accoppiamento delle pareti</i>	14
7.5 <i>Verifiche agli stati limite di esercizio</i>	15
7.6 <i>Durabilità</i>	15
7.7 <i>Dettagli costruttivi</i>	15
7.8 <i>Limitazioni armatura</i>	15
8. DOCUMENTAZIONE TECNICA	16
8.1 <i>Scheda tecnica</i>	17
8.2 <i>Dettagli costruttivi</i>	17
8.3 <i>Certificazioni</i>	18
8.4 <i>Esempi di calcolo</i>	18
8.5 <i>Manuale progettuale, costruttivo e di montaggio</i>	18
9. VERIFICHE DI QUALITÀ IN OPERA DEL MANUFATTO	18
10. PROTOTIPI E SET-UP DI PROVA	19

1. Oggetto

Le presenti Linee Guida hanno lo scopo di fornire, ai sensi del capitolo 12 delle Norme Tecniche, ai progettisti, ai tecnici del settore e agli organi di controllo competenti, i riferimenti teorici e sperimentali e le indicazioni progettuali e costruttive, per la progettazione ed il calcolo di edifici realizzati con sistemi costruttivi a pannelli portanti basati sull'impiego di blocchi cassero e calcestruzzo debolmente armato gettato in opera.

Tali sistemi devono essere caratterizzati da uno sviluppo esteso a buona parte del perimetro della pianta strutturale ed essere inoltre dotati di idonei provvedimenti per garantire la continuità strutturale così da produrre un efficace comportamento scatolare.

I criteri di progetto contenuti nelle presenti linee guida non sono applicabili ai sistemi costruttivi basati sui pannelli sandwich di calcestruzzo armato con interposto materiale isolante.

Per ogni sistema costruttivo, comprendente un tipo particolare di pannello, dovrà essere studiata e proposta una procedura di verifica della sicurezza ai diversi stati limite, basata su criteri consolidati e sui risultati della sperimentazione specifica. Per i primi, si potranno considerare come riferimento ad esempio le CNR 10025/98, ove contemplano pannelli eseguiti in opera, fatti i dovuti adeguamenti compatibili con le NTC 08. Inoltre, dovranno essere esposti in dettaglio i particolari costruttivi specifici del sistema, e le modalità esecutive, basati sulle indicazioni delle presenti Linee Guida.

2. Caratterizzazione sperimentale

Il sistema costruttivo deve essere caratterizzato dal punto di vista strutturale mediante prove sperimentali di adeguata numerosità, nello spirito delle Norme Tecniche vigenti, al fine di dimostrare un efficace comportamento degli elementi portanti nei confronti delle azioni verticali e orizzontali anche cicliche.

Le principali prove sperimentali funzionali alla caratterizzazione del sistema costruttivo sono riportate nella successiva Tabella 1.

Prove tipo	Caratteristiche dei prototipi		Scopo delle prove	Applicazione dei carichi	Protocollo di prova	Numero di prototipi
1	Porzioni di pannello (indicativamente 1.0 m x 1.0 m) (Figura 10-1)		Valutazione dei moduli elastici	Compressione assiale centrata	Pseudo - statico, monotono	2
				Compressione diagonale	Pseudo - statico, monotono	2
2	Pannelli senza aperture h = altezza interpiano, $b \geq 1.0$ m (Figura 10-2)		Valutazione del carico di collasso per instabilità locale e globale del pannello	Compressione assiale centrata	Pseudo - statico, monotono	2
3	Pannelli in scala reale h = altezza interpiano $b \geq 3.0$ m (Figura 10-3)	Senza aperture $b:h = 1:1$ e $b:h=4:3$	Valutazione di: <ul style="list-style-type: none"> • resistenza • capacità di spostamento • dissipazione 	Compressione assiale costante e carico orizzontale nel piano del pannello	Pseudo - statico, ciclico (orizzontale)	2 per ogni rapporto di forma
		Con porta $b:h = 1:1$ o $b:h=4:3$				2
		Con finestra $b:h = 1:1$ o $b:h=4:3$				2
4	Porzioni di connessioni (almeno un metro di sviluppo lineare di connessione) (Figura 10-4)	ad L	Valutazione dell'efficienza dei vincoli	Compressione assiale costante e momento applicato alla connessione	Pseudo - statico, ciclico (orizzontale)	2
		a T				2

5	<p>Opzionale</p> <p>Pannelli in scala reale</p> <p>$h =$ altezza interpiano, $b \geq 3.0$ m</p> <p>$b:h = 1:1$ o $b:h=4:3$</p> <p>(Figura 10-5)</p>	<p>Valutazione della resistenza fuori piano del pannello. Interazione collasso nel piano e collasso fuori dal piano</p>	<p>Compressione assiale costante e combinazione di carichi nel piano e fuori dal piano</p>	<p>Pseudo - statico, ciclico (orizzontale)</p>	<p>2 per ogni rapporto di forma</p>
6	<p>Opzionale</p> <p>Edificio o porzione di edificio in grande scala o scala reale</p>	<p>Verifica dell'insieme e delle ipotesi di progetto</p>	<p>Edificio o porzione di edificio a 2 o più piani</p>	<p>Pseudo - statico o Pseudo - dinamico Ciclico o Dinamico (tavola vibrante)</p>	<p>1 o 2</p>

Tabella 1: Programma sperimentale tipo per lo studio di un sistema costruttivo (h =altezza dell'interpiano tipo, b =base del pannello di prova)

Le prove sperimentali devono essere svolte secondo le seguenti modalità:

Prove tipo 1: si svolgono su pannelli di dimensioni opportune (indicativamente 1.0 m x 1.0 m) in regime pseudo-statico con applicazione monotona di un carico di compressione normale e diagonale, vedi **Figura 10-1**. Le prove sono finalizzate alla determinazione del rapporto tra la rigidezza secante valutata in corrispondenza del carico massimo e la rigidezza secante al 30% del carico massimo.

Prove tipo 2: si svolgono su porzioni di pannello (indicativamente l'altezza della porzione dovrà essere assunta pari all'altezza dell'interpiano tipo e la base $b \geq 1.0$ m) in regime pseudo-statico con applicazione monotona di un carico assiale, vedi **Figura 10-2**. Le prove sono finalizzate alla determinazione del comportamento dei pannelli nei confronti dell'instabilità locale e globale.

Prove tipo 3: si svolgono su pannelli in scala reale in regime pseudo-statico con applicazione di un carico assiale monotono e di azioni orizzontali cicliche nel piano. Le prove devono essere svolte su pannelli con e senza aperture, sottoposti ad almeno due diversi carichi assiali di valore confrontabile a quelli minimi e massimi riscontrabili nei casi reali. I pannelli devono essere costruiti con un rapporto di forma $b:h=1:1$ assumendo l'altezza pari all'altezza dell'interpiano tipo, i pannelli senza apertura devono essere costruiti anche con il rapporto di forma 4:3, vedi **Figura 10-3**.

Le prove si svolgono applicando inizialmente un carico assiale monotono, in seguito si applica lo spostamento orizzontale di collasso nel piano del pannello per incrementi successivi ed eseguendo almeno tre cicli per ogni incremento. Gli incrementi dovranno consentire la valutazione della rigidezza elastica del pannello e le transizioni dovute alla comparsa della fessurazione (per flessione e per taglio), allo snervamento delle barre di armatura e agli altri fenomeni di degrado (schiacciamento del calcestruzzo, instabilità locale delle barre, rottura delle barre verticali, rottura delle barre orizzontali, scorrimento pannello-fondazione e pannello-cordolo, ecc.). I cicli di spostamento devono essere applicati simmetricamente (tiro e spinta) rispetto alla posizione di partenza della prova.

Il carico verticale dovrà essere mantenuto costante durante l'esecuzione dell'intera prova, il vincolo in sommità del pannello può consentire o impedire la rotazione.

Prove tipo 4: si svolgono su porzioni di connessioni pannello-pannello, pannello-solaio e pannello-fondazione applicando un carico assiale monotono ed una azione ciclica fino a collasso

sull'unione. Le geometrie dei provini e le modalità di applicazione dei carichi sono meglio specificate nella precedente Tabella 1.

La prova dovrà essere condotta in controllo di spostamento fino al raggiungimento del collasso della connessione. Lo spostamento verrà applicato per incrementi successivi eseguendo almeno tre cicli per ogni incremento. Gli incrementi dovranno consentire la valutazione della rigidità elastica della connessione, le transizioni dovute alla comparsa della fessurazione (per flessione e per taglio), lo snervamento dell'acciaio e gli altri fenomeni che determinano la rottura (schiacciamento del calcestruzzo, instabilità locale delle barre, rottura delle barre longitudinali e trasversali, scorrimento, ecc.). I cicli dovranno essere simmetrici mediante l'applicazione di spostamento positivo e negativo (tiro e spinta) rispetto alla posizione di partenza della prova.

Il carico verticale dovrà essere mantenuto costante durante l'esecuzione dell'intera prova.

Prove tipo 5 (opzionale): si svolgono su pannelli in scala reale in regime pseudo-statico con applicazione di un carico assiale monotono e di azioni orizzontali cicliche nel piano e fuori dal piano. Le prove devono essere svolte su pannelli senza aperture e sottoposti ad almeno due diversi carichi assiali di valore confrontabile a quelli minimi e massimi riscontrabili nei casi reali. I pannelli devono essere costruiti con un rapporto di forma $b:h=1:1$ assumendo l'altezza del pannello di prova pari all'altezza h dell'interpiano tipo, vedi Figura 10-5.

Le prove si svolgono applicando inizialmente un carico assiale monotono, in seguito si applica lo spostamento orizzontale di snervamento nel piano del pannello per incrementi successivi ed eseguendo almeno tre cicli per ogni incremento. Al termine di tale fase si applica uno spostamento ciclico per incrementi successivi fuori dal piano del pannello. Gli incrementi dovranno consentire la valutazione del carico di collasso. I cicli di spostamento devono essere applicati simmetricamente (tiro e spinta) rispetto alla posizione di partenza della prova.

Il carico verticale dovrà essere mantenuto costante durante l'esecuzione dell'intera prova.

Prova tipo 6 (opzionale): prove sperimentali pseudo-statiche o pseudo-dinamiche o dinamiche con applicazione di azioni verticali e orizzontali cicliche su un edificio o una sua porzione in grande scala o in scala reale. Le prove hanno lo scopo di verificare il comportamento dell'insieme e le ipotesi di progetto.

Tutte le prove sperimentali descritte dovranno essere condotte fino al raggiungimento della condizione di collasso dell'elemento o dell'assemblaggio di elementi. Il raggiungimento del collasso

si identifica con una diminuzione del carico pari al 20% del valore massimo registrato nel corso della prova.

I carichi o gli spostamenti imposti durante l'esecuzione delle prove sperimentali pseudo-statiche dovranno essere applicati quasi-staticamente ovvero utilizzando una velocità di incremento tale da non indurre apprezzabili effetti dinamici sul pannello in prova. A tale scopo possono considerarsi accettabili velocità di incremento inferiori a 2 mm/sec nel caso si esegua la prova in controllo di spostamento oppure di $(N_r/500)/\text{sec}$ (N_r pari al carico di rottura stimato) nel caso si adotti il controllo di carico.

Ulteriori prove sperimentali come ad esempio quelle di tipo 5 e quelle su strutture in grande scala (tipo 6) oppure sottoinsiemi di significativa complessità o porzioni di edificio realizzate in regime ciclico pseudo-statico o pseudo-dinamico o su tavola vibrante potranno essere utilizzate per ottenere ulteriori informazioni sul comportamento del sistema costruttivo ed utilizzate per affinamenti nella tecnica di calcolo e progetto.

Le prove sperimentali descritte ai punti precedenti dovranno essere eseguite su pannelli conformi ai materiali e alle modalità costruttive prescritte nel manuale progettuale, costruttivo e di montaggio fornito dal Produttore e dovranno inoltre essere certificate da un Laboratorio di cui all'art.59 del DPR 380/2001 in possesso di competenze, organizzazione e attrezzature adeguate all'esecuzione delle prove descritte. Sulla base dei risultati delle prove sperimentali, e delle conseguenti elaborazioni numeriche, dovranno essere individuate, a cura del Produttore, le grandezze meccaniche necessarie a definire le principali caratteristiche di resistenza e deformabilità dei singoli pannelli, la capacità dissipativa del sistema costruttivo, nonché verificare le ipotesi fatte sul coefficiente di struttura previsto.

Il Produttore del sistema costruttivo in esame dovrà predisporre, a cura di tecnico incaricato, una relazione interpretativa dei dati sperimentali ottenuti.

Il Direttore dei Lavori ed il Collaudatore, per quanto di loro competenza, acquisiranno copia dei certificati di prova relativi al sistema costruttivo impiegato nonché verificheranno la rispondenza del materiale messo in opera alle prescrizioni del progettista. Tale certificazione sarà parte integrante del progetto esecutivo depositato presso l'ufficio territoriale competente.

Qualora nelle valutazioni numeriche di cui al capitolo 6, si faccia ricorso a modelli che fanno riferimento a sistemi a pannelli continui equivalenti, e l'equivalenza non sia dimostrata per via

numerica, essa sarà dimostrata per via sperimentale, ripetendo un adeguato numero delle prove sopra indicate anche sui pannelli continui equivalenti.

3. Caratteristiche meccaniche dei materiali impiegati ed accettazione dei componenti

I materiali e i componenti impiegati per la realizzazione dei pannelli sono:

- elementi blocchi cassero come previsto dal sistema costruttivo;
- calcestruzzo gettato in opera;
- acciaio di armatura;

Per quanto riguarda le proprietà meccaniche del calcestruzzo e dell'acciaio, nonché per i metodi di qualificazione e per i controlli di accettazione in cantiere per tali componenti, si applica quanto riportato nei pertinenti punti delle Norme Tecniche vigenti.

Per gli elementi blocchi cassero si richiede che questi siano in possesso di requisiti atti a garantire un adeguato livello qualitativo in fase di montaggio, in particolare dovranno garantire l'assenza di apprezzabili fuori piombo dei pannelli, l'assenza di vuoti nel getto e la corretta sovrapposizione delle armature verticali ed orizzontali.

In particolare essi dovranno essere in possesso di marcatura CE in conformità alle Norme Europee armonizzate EN 15435:2008¹ o EN 15498:2008², ovvero in conformità ad un benestare tecnico europeo (ETA) rilasciato sulla base della Linea Guida EOTA ETAG 009³. Inoltre il Produttore deve fornire un manuale di montaggio che illustri con dettaglio le fasi dell'assemblaggio dei blocchi, di posa delle armature e di getto del calcestruzzo nonché le procedure e i controlli necessari per la verifica della qualità dell'assemblaggio finale. Per ulteriori dettagli su tale manuale si veda il successivo capitolo 8.

¹ EN 15435:2008: Prodotti prefabbricati di calcestruzzo - Blocchi cassero di calcestruzzo normale e alleggerito - Proprietà e prestazioni dei prodotti

² EN 15498:2008: Prodotti prefabbricati di calcestruzzo - Blocchi cassero di calcestruzzo con trucioli di legno - Proprietà e prestazioni dei prodotti

³ ETAG 009: *Guideline for European Technical Approval of Non load-bearing permanent shuttering kits/systems based on hollow blocks or panels of insulating materials and sometimes concrete.* Edition June 2002.

4. Regole di esecuzione

Al fine di garantire un adeguato livello qualitativo di realizzazione del pannello il diametro massimo dell'inerte del calcestruzzo deve essere limitato a 16 mm. Il calcestruzzo dovrà inoltre avere adeguata lavorabilità allo scopo di compensare l'eventuale carenza di vibrazione, a tale scopo è accettabile una classe di consistenza non inferiore a S4.

Per le armature il valore della lunghezza di sovrapposizione prescritto dalle Norme Tecniche vigenti deve essere amplificato di almeno il 50%.

I dettagli relativi alle regole di esecuzione dovranno essere forniti all'interno della documentazione tecnica del sistema costruttivo con particolare riguardo alla sovrapposizione delle barre e alle loro deviazioni, si vedano anche le indicazioni del successivo capitolo 8.

5. Criteri per la verifica della sicurezza

L'approccio per le verifiche di sicurezza delle strutture in oggetto è quello previsto dalle Norme Tecniche vigenti per le strutture in c.a., in particolare si devono considerare le stesse procedure che hanno lo scopo di garantire la sicurezza nei confronti del collasso, della prestazione in servizio e la durabilità nel corso della vita nominale.

Si applicano integralmente le regole e i criteri relativi al calcolo agli stati limite con particolare riferimento a:

- azioni di calcolo
- combinazioni delle azioni
- coefficienti parziali di sicurezza

6. Analisi strutturale e modelli di calcolo

Il calcolo delle sollecitazioni di progetto dovrà essere eseguito con un modello idoneo a rappresentare correttamente la distribuzione delle rigidità e delle masse dell'edificio nel rispetto

del comportamento scatolare dell'insieme e dei risultati delle prove sperimentali eseguite per il sistema costruttivo che si intende adottare. Si potranno utilizzare, ad esempio, modelli ad elementi finiti bidimensionali o in alternativa monodimensionali a telaio equivalente.

Possono essere utilizzati tutti i metodi di analisi previsti nelle Norme Tecniche vigenti.

L'uso di tecniche di analisi quali push-over o dinamica non lineare è ammesso solo in presenza di un adeguato ed esaustivo studio preliminare dei modelli costitutivi.

Nella modellazione delle strutture in oggetto, oltre agli aspetti relativi alle strutture tradizionali, occorre valutare gli effetti di:

- eventuale presenza di vuoti o interposizione di materiale di minore resistenza (quali i setti dei blocchi cassero);
- tipo e grado di vincolo tra gli elementi nelle connessioni parete-parete (a T, L e a croce), parete-solaio e parete-fondazione.

L'uso di modelli che fanno riferimento a sistemi a pannelli continui equivalenti deve basarsi su una validazione sperimentale della equivalenza, come indicato al capitolo 2, qualora essa non possa dimostrarsi per via numerica.

7. Raccomandazioni per la progettazione strutturale in zona sismica

La concezione strutturale deve garantire un efficace comportamento scatolare. Poiché i meccanismi di collasso delle strutture in oggetto sono prevalentemente legati ai meccanismi di rottura per taglio o taglio-flessione, tali strutture si devono considerare appartenenti ad una classe di bassa duttilità.

7.1 Fattore di struttura

Per i sistemi costruttivi in esame il coefficiente di struttura di base q_0 si assume non superiore a 2.0 .

Il coefficiente di struttura finale, in accordo a quanto stabilito dalle Norme Tecniche vigenti, si esprimerà come segue:

$$q = q_0 K_s K_r$$

$K_s = \alpha_u / \alpha_1$ è il fattore di sovraresistenza che in assenza di specifiche determinazioni analitiche può essere assunto pari 1.2 per strutture regolari in pianta e 1.1 per quelle irregolari.

K_r è il fattore riduttivo legato alle condizioni d'irregolarità in elevazione secondo quanto stabilito dalle Norme Tecniche vigenti, e viene assunto pari ad 1 nel caso di strutture regolari in altezza e 0.8 nel caso di strutture irregolari.

Valori superiori del coefficiente di struttura di base q_0 sono ammessi solo se giustificati dai risultati sperimentali ottenuti dagli studi sperimentali e supportati da un'adeguata analisi numerica. In ogni caso il valore del coefficiente di struttura di base q_0 non potrà essere superiore a 3.

7.2 Spessore delle pareti per il calcolo delle sollecitazioni di progetto

Agli spessori nominali delle porzioni di calcestruzzo gettato in opera si applicano le stesse limitazioni previste dalle Norme Tecniche vigenti per il caso delle pareti in c.a.

Lo spessore equivalente del pannello può essere calcolato, in prima istanza, diffondendo nella lunghezza della base b del pannello le aree del calcestruzzo A_{ci} gettato in opera, ossia con la relazione $t = (A_{c,eff} / b)$ essendo $A_{c,eff} = \sum A_{ci}$ pari alla totale area del calcestruzzo gettato in opera nella sezione trasversale.

Tuttavia sarà cura e responsabilità del produttore indicare nel suo manuale progettuale costruttivo e di montaggio le possibili modellazioni sia per la verifica gli stati limite di esercizio che per gli stati limite ultimi attraverso i risultati ottenuti nelle necessarie prove sperimentali che daranno l'esatta misura del comportamento tensio-deformativo del pannello del sistema costruttivo specifico (ad esempio la riduzione di rigidità per fessurazione).

7.3 Verifica delle pareti

FLESSIONE E PRESSOFLESSIONE

Per la verifica delle pareti si utilizzeranno i metodi previsti nelle Norme Tecniche vigenti per le pareti appartenenti alla classe di duttilità bassa.

Per tali elementi la forza normale di compressione non deve eccedere il 40% del carico limite per compressione semplice $f_{cd} A_{c,eff}$, essendo $A_{c,eff} = \sum A_{ci}$ (somma delle aree del calcestruzzo gettato in opera nella sezione trasversale). Tale limitazione (40%) va ridotta al 25%, nel caso si utilizzino armature disposte su un solo strato nello spessore della sezione.

TAGLIO

La verifica di resistenza a taglio si effettuerà in accordo a quanto stabilito nelle Norme Tecniche vigenti considerando diverse modalità di rottura:

- ✓ per taglio-compressione;
- ✓ per taglio-trazione;
- ✓ per taglio-scorrimento.

Nel calcolo della resistenza a taglio si dovrà fare riferimento allo spessore equivalente come definito in precedenza al punto 7.2.

Comunque deve essere effettuata una verifica di resistenza locale delle nervature componenti utilizzando le formule di verifica stabilite nelle Norme Tecniche vigenti.

INSTABILITÀ

Al fine di prevenire i fenomeni di instabilità delle pareti fuori piano, in prima istanza, si dovrà rispettare il seguente limite:

$$\lambda \leq \lambda_{lim}$$

essendo

$$\lambda_{lim} = 15.4 \frac{C}{\sqrt{\nu}}$$

dove

- $v=N_{ed}/(A_{c,eff}f_{cd})$ è l'azione assiale adimensionale, N_{ed} è il carico assiale ottenuto dalla combinazione più gravosa e comprensiva dell'azione sismica;
- $C=1.7-r_m$ dipende dalla distribuzione dei momenti ($0.7 \leq C \leq 2.7$);
- $r_m=M_{01}/M_{02}$ è il rapporto tra i momenti flettenti del primo ordine all'estremità della parete

Il valore della snellezza è dato dal rapporto tra la lunghezza libera d'inflexione e il raggio giratore d'inerzia della sezione effettiva del pannello $i_{eff}=(J_{eff}/A_{c,eff})^{0.5}$, ove J_{eff} è il momento di inerzia minimo della sezione in calcestruzzo gettato in opera. Quindi

$$\lambda = \frac{l_0}{i_{eff}}$$

in cui l_0 vale $0.7 h$ nel caso di armatura su doppio strato e h nel caso di armatura su singolo strato dove h è l'altezza interpiano.

7.4 Verifica degli elementi di accoppiamento delle pareti

Per tale verifica i modelli di calcolo dovranno riflettere il comportamento meccanico ipotizzato per l'elemento di accoppiamento. Tuttavia, solo le indicazioni del Produttore, contenute nel relativo suo manuale, attraverso i risultati ottenuti nelle necessarie prove sperimentali possono dare l'esatta misura di tale verifica.

Qualora si prevedano elementi di accoppiamento in grado di trasmettere le forze di taglio si procederà alla verifica secondo quanto previsto delle Norme Tecniche vigenti per le travi di accoppiamento dei sistemi a pareti. Nel caso in cui il sistema costruttivo non consenta di disporre l'armatura a X si procederà ad una verifica a taglio locale delle nervature degli elementi.

Nel caso in cui gli elementi non siano in grado di svolgere la funzione di accoppiamento, essi avranno la sola funzione di bielle di collegamento fra le pareti. Tale funzione potrà anche essere demandata al cordolo di piano opportunamente dimensionato.

7.5 Verifiche agli stati limite di esercizio

Gli spostamenti di interpiano ottenuti dall'analisi strutturale in presenza dell'azione sismica di progetto relativa allo SLD devono soddisfare la seguente limitazione:

$$d_r < 0,002 h$$

dove:

d_r è lo spostamento interpiano, cioè la differenza tra gli spostamenti al solaio superiore ed inferiore e h è l'altezza del piano.

7.6 Durabilità

Allo scopo di garantire un'adeguata durabilità delle costruzioni, tutte le armature dei pannelli dovranno in ogni caso avere un ricoprimento di calcestruzzo gettato in opera pari a quello previsto nelle Norme Tecniche vigenti. Nel manuale operativo di montaggio i Produttori dovranno indicare le modalità per garantire il rispetto di tali limiti e le procedure per il controllo sul pannello finito.

7.7 Dettagli costruttivi

Al fine di garantire il comportamento scatolare d'insieme il progettista dovrà specificare i dettagli che assicurino un efficace collegamento tra gli elementi.

Per ciascun dettaglio si devono definire posizione, piegatura e lunghezza di ancoraggio delle barre di armatura.

7.8 Limitazioni armatura

Le armature, sia orizzontali che verticali, devono avere diametro non superiore ad 1/10 dello spessore della parete e possono essere disposte su entrambe le facce della parete oppure su un solo strato in posizione centrata sullo spessore del calcestruzzo gettato in opera. In ogni caso l'interasse fra le barre (passo) non deve essere superiore a 30 cm in entrambe le direzioni.

Al fine di garantire un corretto comportamento nei riguardi degli stati limite di esercizio ed ultimi e nei confronti dei fenomeni di instabilità locali e globali si devono rispettare i seguenti limiti per le armature:

$$\rho_v \geq 0.20\%$$

$$\rho_o \geq 0.20\%$$

$$\phi_v, \phi_o \geq 8 \text{ mm}$$

dove

- ρ_v è la percentuale geometrica di armatura verticale ottenuta dividendo l'area delle barre di armatura verticali per l'area della sezione orizzontale del calcestruzzo gettato in opera;
- ρ_o è la percentuale geometrica di armatura orizzontale ottenuta dividendo l'area delle barre di armatura orizzontali per l'area della sezione verticale del calcestruzzo gettato in opera;
- ϕ_v, ϕ_o sono i diametri delle barre rispettivamente in direzione verticale e orizzontale.

Per le travi che si determinano al disopra e al disotto di eventuali aperture, le armature devono rispettare le limitazioni relative alle pareti qualora risulti dai calcoli che tali elementi non hanno funzione di accoppiamento. In ogni caso, in tali travi, si deve predisporre un'armatura minima opportunamente ancorata non inferiore ad $2\phi_{12}$ al lembo inferiore e $2\phi_{12}$ al lembo superiore dell'elemento di collegamento.

Viceversa se si tratta di travi con funzione strutturale di accoppiamento tra le pareti, secondo quanto descritto nel precedente paragrafo 7.4, si devono adottare le limitazioni previste nelle Norme Tecniche vigenti per le travi di accoppiamento.

8. Documentazione tecnica

A cura del Produttore dovrà essere predisposta e resa disponibile la seguente documentazione:

- Scheda tecnica;
- Dettagli costruttivi;

- Certificazioni delle prove.
- Relazione interpretativa
- Esempi di calcolo
- Manuale progettuale, costruttivo e di montaggio

8.1 Scheda tecnica

La scheda tecnica dovrà contenere almeno:

1. caratteristiche fisico-chimiche degli componenti specifici (ad esempio blocchi cassero) del sistema costruttivo;
2. caratteristiche meccaniche dei componenti specifici del sistema;
3. caratteristiche meccaniche necessarie per la modellazione della struttura e la verifica degli elementi strutturali.

8.2 Dettagli costruttivi

I dettagli costruttivi dovranno essere descritti in apposite schede illustrative.

Tali schede dovranno riportare almeno le indicazioni relative ai seguenti aspetti:

- disposizione delle armature di parete (orizzontali e verticali);
- collegamento tra parete e fondazione;
- collegamento tra parete e cordoli di piano;
- collegamento tra pareti ad angolo (collegamento ad L);
- collegamento tra pareti ortogonali (collegamento a T e a croce);
- architravi;
- dettagli costruttivi in prossimità delle aperture;
- elementi di accoppiamento tra pareti.

8.3 *Certificazioni*

Le certificazioni dovranno riguardare le prove sperimentali previste al capitolo 2 e la qualificazione dei componenti.

8.4 *Esempi di calcolo*

Il Produttore dovrà fornire esaurienti esempi di calcolo rappresentativi della tipologia strutturale con riferimento alla modellazione e alla verifica.

8.5 *Manuale progettuale, costruttivo e di montaggio*

Il manuale operativo di montaggio dovrà comprendere almeno:

1. descrizione del sistema e dei suoi componenti;
2. modalità di messa in opera del sistema costruttivo;
 - a) modalità di controllo della corretta messa in opera (verticalità, orizzontalità, planarità, ecc.)
 - b) modalità di controllo della messa in opera delle armature (corretta sovrapposizione, copriferro, ecc.)
 - c) modalità di esecuzione dei getti di calcestruzzo, ivi compresa la resistenza minima e le classi di consistenza;

9. Verifiche di qualità in opera del manufatto

Oltre ai controlli di accettazione previsti nelle Norme Tecniche vigenti per i materiali da costruzione si procederà, sotto la responsabilità del Direttore dei Lavori, all'esecuzione di un protocollo di controlli in cantiere al fine di stabilire la qualità finale della costruzione.

In particolare si dovranno eseguire le seguenti verifiche:

- qualità del getto: verifica di compattezza del calcestruzzo gettato in opera mediante rimozione della corteccia (blocco cassero) per una superficie di 0.1 mq per ogni 50 mq di parete valutata vuoto per pieno con l'eventuale aggiunta di carotaggi;
- sovrapposizione delle barre: in corrispondenza delle connessioni con le fondazioni o delle riprese di getto dovranno essere controllate attraverso tecniche idonee (demolizione locale, carotaggio, pachometro e georadar);
- allineamento dei giunti verticali: il controllo ha lo scopo di verificare la regolarità geometrica delle casseforme e quindi dei prismi di calcestruzzo risultanti, è richiesto a tale scopo che i giunti verticali non si discostino dalla verticale per più 10 mm sull'altezza di interpiano.
- controllo del ricoprimento delle armature.

10. Prototipi e set-up di prova

Nel seguito si riportano alcuni schemi relativi ai prototipi ed al set-up delle prove di cui al precedente capitolo 2.

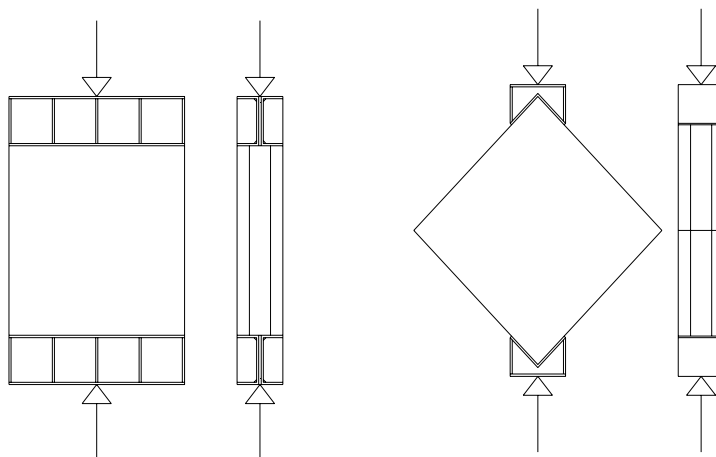


Figura 10-1: Prove tipo 1 - Prototipi di dimensioni ridotte (indicativamente 1.0 m x 1.0 m), determinazione del modulo elastico

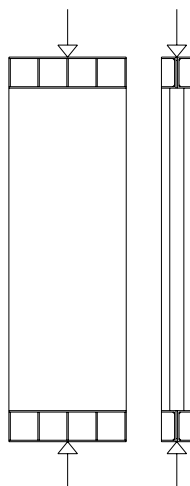


Figura 10-2: Prove tipo 2 - Prototipi di pannelli in scala reale (indicativamente h =altezza interpiano tipo, $b \geq 1.0$ m), valutazione del carico di collasso per instabilità locale e globale del pannello

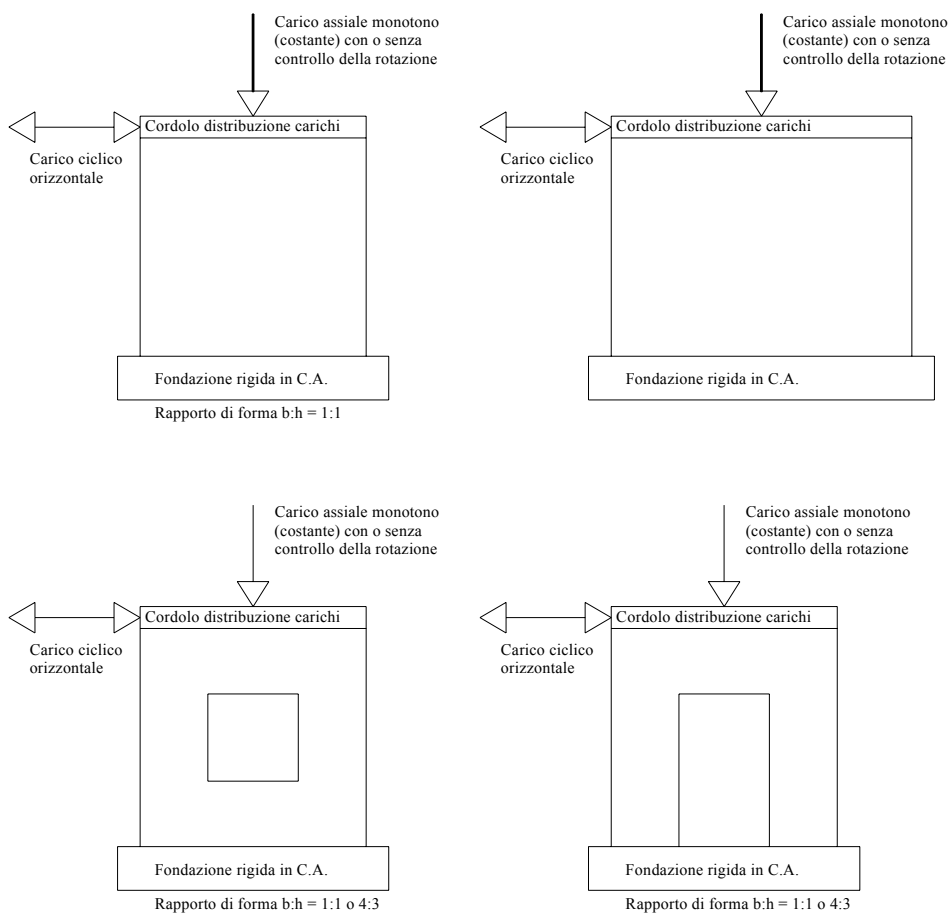


Figura 10-3: Prove tipo 3 - Prototipi per prove sperimentali sui pannelli in scala reale su pannelli senza apertura ($b:h=1:1$ e $4:3$) e con apertura ($b:h=1:1$), h = altezza interpiano tipo, valutazione di resistenza, capacità di spostamento, dissipazione. Si noti che nella figura i cordoli e gli elementi di fondazione hanno il solo scopo di consentire l'applicazione del carico in fase di prova e non sono parte integrante dell'elemento strutturale considerato nello studio.

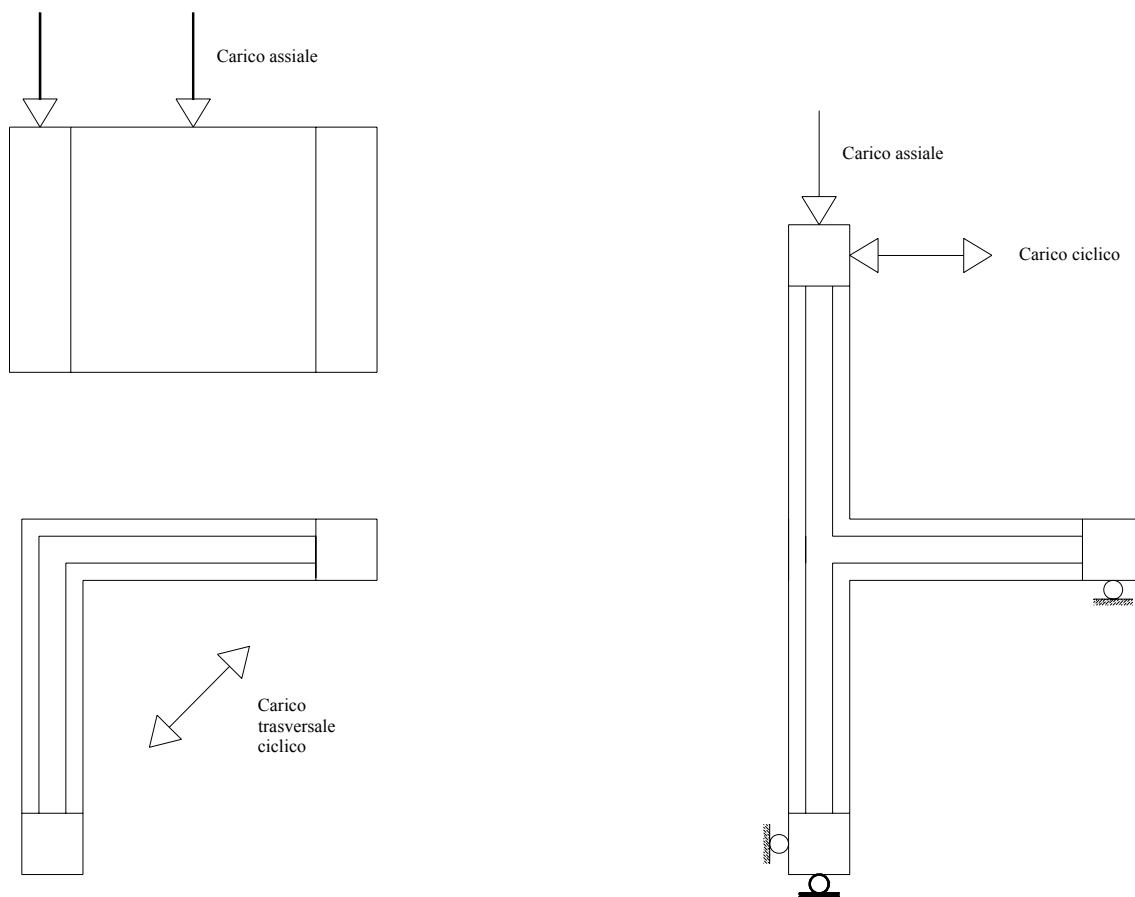


Figura 10-4: Prove tipo 4 - Prototipi per prove sperimentali sulle connessioni ad L e T.

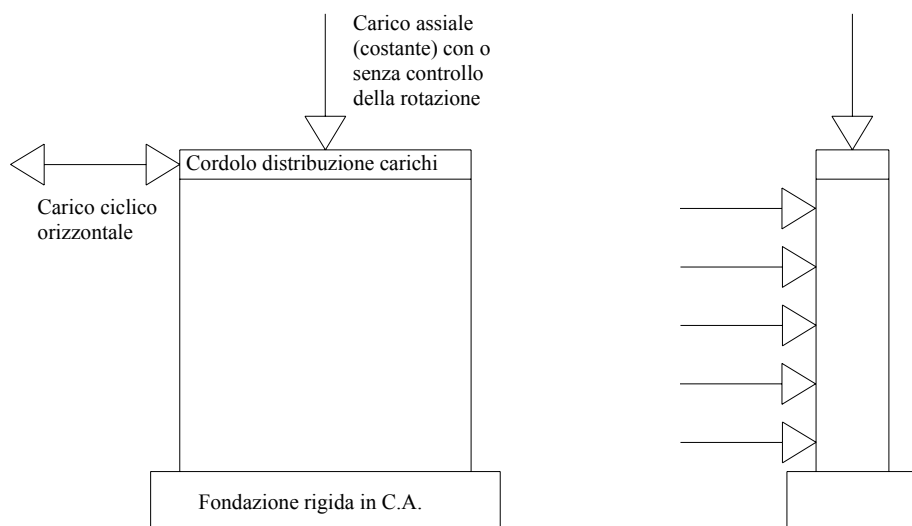


Figura 10-5: Prove tipo 5 (opzionale) - Prototipi per prove sperimentali con applicazione combinata delle azioni nel piano e fuori piano. Si noti che nella figura i cordoli e gli elementi di fondazione hanno il solo scopo di consentire l'applicazione del carico in fase di prova e non sono parte integrante dell'elemento strutturale considerato nello studio