

Antonio Cirillo

SISMABONUS FACILE CAPANNONI INDUSTRIALI

1^a edizione

 Legislazione Tecnica

© Copyright Legislazione Tecnica 2017

La riproduzione, l'adattamento totale o parziale, la riproduzione con qualsiasi mezzo, nonché la memorizzazione elettronica, sono riservati per tutti i paesi.

Finito di stampare nel mese di novembre 2017 da

Press Up S.r.L. - Sede Legale: Via Catone, 6 - 00192 Roma (Rm)

Sede Operativa: Via Cassia Km 36,300 Zona Ind.le Settevene - 01036 Nepi (Vt)

Legislazione Tecnica S.r.L.

00144 Roma, Via dell'Architettura 16

Servizio Clienti

Tel. 06/5921743 - Fax 06/5921068

servizio.clienti@legislazionetecnica.it

Portale informativo: www.legislazionetecnica.it

Shop: ltshop.legislazionetecnica.it

I contenuti e le soluzioni tecniche proposte sono espressioni dell'esperienza maturata nel corso degli anni dagli Autori. Esse possono, quindi, soltanto essere fatte proprie dal lettore, o semplicemente rigettate, ed hanno l'intento di indirizzare e supportare il tecnico nella scelta della soluzione che maggiormente si adatta alla situazione oggetto di analisi. Rimane, pertanto, a carico del tecnico la selezione della soluzione da adottare. Il lettore utilizza il contenuto del testo a proprio rischio, ritenendo indenne l'Editore e gli Autori da qualsiasi pretesa risarcitoria.

INDICE

LA “CASSETTA DEGLI ATTREZZI”

Indice dei contenuti aggiuntivi forniti, disponibili tramite l'Area download collegata al volume 5

CAPITOLO 1 - GENERALITÀ SUI CAPANNONI INDUSTRIALI MONOPIANO 7

- 1.1 Proprietà dei materiali dei capannoni prefabbricati in C.A. 7
 - 1.1.1 Il calcestruzzo (sez. 3 EC2.1) 7
 - 1.1.2 Acciaio per cemento armato 8
- 1.2 Richiami calcolo agli stati limite 8
 - 1.2.1 Stati limite di esercizio 8
 - 1.2.1.1 *Deformazioni massime tollerate* 9
 - 1.2.1.2 *Fessurazione principale* 10
 - 1.2.2 Stato limite ultimo 10
 - 1.2.2.1 *Pilastrì: caso con compressione semplice* 10
 - 1.2.2.2 *Travi: stati limite ultimi* 12
- 1.3 Tipologie di capannoni industriali prefabbricati 16

CAPITOLO 2 - RICHIAMI NORMATIVI ALLE NTC17 21

CAPITOLO 3 - CAPANNONI E SISMA 33

- 3.1 Calcolo azioni sismiche capannone 33
- 3.2 Interventi di riduzione del rischio sismico: interventi di rinforzo locale 38
- 3.3 Interventi di adeguamento 40
- 3.4 Comportamento del capannone investito dal sisma 41
 - 3.4.1 Comportamento di insieme 43
- 3.5 Calcolo dell'accelerazione sismica tramite il foglio elettronico allegato (spettri capannone) 46

CAPITOLO 4 - ANALISI E CONSIDERAZIONI SU GIUNTI E COLLEGAMENTI 51


- 4.1 Analisi iniziale giunto 51
- 4.2 Efficacia dei collegamenti 53
- 4.3 Modalità di inserimento 55
- 4.4 Legame: meglio preteso 57
- 4.5 Effetto collaterale N* 59
- 4.6 Interferire sulla capacità rotante del giunto 64

CAPITOLO 5 - CALCOLI E CONSIDERAZIONI PER BONUS SISMICO 67

- 5.1 Elementi tipici e collegamenti 68
- 5.2 Giunti 69
- 5.3 Vulnerabilità 72
- 5.4 Carenze, controlli e interventi risolutivi da Linee guida 74

5.5	Carenze legate alla presenza di elementi di tamponatura prefabbricati non adeguatamente ancorati alle strutture principali	78
5.6	Carenze legate alla presenza di scaffalature non controventate portanti materiali pesanti	81
5.7	Distorsioni pericolose	88
5.7.1	Problematiche connesse alla distorsione globale	88
CAPITOLO 6 - APPLICAZIONI PRATICHE: PROGETTO E RELAZIONE TECNICA		
6.1	Attacco travi prefabbricate-colonne J_{B-C}	93
6.1.1	Sistemi inclusi nelle linee di indirizzo: utilizzo di piastre e bulloni	94
6.1.2	Utilizzo di link diagonale con fune	95
6.1.3	Utilizzo di link diagonale con link robusto	96
6.1.4	Utilizzo di link diagonale con link "pistone"	96
6.1.5	Utilizzo di link razionali per J_{B-C}	97
6.1.6	Utilizzo di link alla veletta della colonna	98
6.1.7	Utilizzo di link nella "forcella" della colonna	100
6.1.8	Sistema suggerito per i link tesi pretensionati	102
6.1.9	Verifica collegamento	102
6.2	Attacco travi-solaio di copertura J_{P-B} o J_{2P-B}	107
6.2.1	Connessione con angolari e bulloni	109
6.2.2	Connessione con squadrette deformabili e bulloni	109
6.2.3	Connessione con cordini	110
6.2.4	Sistema suggerito	111
6.2.5	Verifica collegamento	112
6.3	Attacco pilastri-pannelli di tamponatura esterni C-W	114
6.3.1	Collegamento con angolari e bulloni	119
6.3.2	Verifica collegamento	121
6.4	Vincolo scaffalature, macchinari e parti in pericolo	124
6.5	Sintesi	129
6.6	Relazione tecnica intervento capannone	129
APPENDICE NORMATIVA		
	D.M. Infrastrutture e Trasporti 28/02/2017, n. 58	139

AVVERTENZA

I contenuti aggiuntivi forniti tramite l'Area download collegata al volume sono identificati nel testo tramite l'icona 

LA “CASSETTA DEGLI ATTREZZI”


Si riporta di seguito l'elenco dei contenuti aggiuntivi disponibili nell'Area download collegata al volume cartaceo. L'Area download è accessibile collegandosi all'indirizzo www.legislazionetecnica.it/download ed inserendo il codice riportato nella seconda pagina di copertina dopo aver effettuato il login con le proprie credenziali (chi non fosse in possesso delle credenziali dovrà preventivamente effettuare la registrazione gratuita al sito).

Fogli di calcolo e istruzioni per l'uso:

- F1: determinazione parametri sismici del sito con foglio di calcolo in Excel del Consiglio superiore dei lavori pubblici (con Guida all'utilizzo);
- F2: determinazione accelerazione sismica (spettri capannone in Excel con Guida all'utilizzo);
- F3: verifica collegamenti capannone (in Excel con Guida all'utilizzo).

Documenti utili (in Pdf o in Word):

- D1: D.M. 28/02/2017, n. 58 (con allegati);
- D2: Modello editabile asseverazione rischio sismico;
- D3: Esempio di Relazione tecnica;
- D4: Gruppo di lavoro agibilità sismica dei capannoni industriali, *Linee di indirizzo per interventi locali e globali su edifici industriali monopiano non progettati con criteri antisismici*;
- D5: Consiglio superiore dei lavori pubblici, *Valutazione della vulnerabilità e interventi per le costruzioni ad uso produttivo in zona sismica*.

All'interno del volume, i riferimenti ai contenuti aggiuntivi forniti tramite l'Area download sono identificati tramite l'icona 

1

GENERALITÀ SUI CAPANNONI INDUSTRIALI MONOPIANO

1.1 PROPRIETÀ DEI MATERIALI DEI CAPANNONI PREFABBRICATI IN C.A.

1.1.1 Il calcestruzzo (sez. 3 EC2.1)

La classe di resistenza del calcestruzzo si esprime con una C (*concrete*) seguita dalla resistenza caratteristica cilindrica del calcestruzzo, dedotta a 28 gg. dal getto (per esempio C25 indica la classe con la resistenza caratteristica cilindrica corrispondente a $R_{ck} = 30$). La relazione che collega la resistenza cilindrica a quella cubica è: $f_{ck} \approx 0,83 R_{ck}$.

Per conciliare i due tipi di resistenza il calcestruzzo si cita anche con C25/30, esplicitando rispettivamente la resistenza cilindrica e cubica:

- Massa volumica: 2.500 kg/m^3
- Rapporto di Poisson $\nu = 0,2$
- Resistenza media del calcestruzzo $f_{cm} = f_{ck} + 8$ (MPa)
- Coefficiente di dilatazione termica $1:100.000 \text{ 1/}^\circ\text{C}$
- Modulo di elasticità medio del calcestruzzo $E_{cm} = 22.000 (f_{cm}/10)^{0,3}$
con f_{cm} in (MPa) – Resistenza caratteristica media a trazione $f_{ctm} = 0,3 (f_{ck})^{2/3}$
(es. $f_{ctm} = 2,6 \text{ MPa}$ o N/mm^2 per classe $f_{ck} = 25$); $f_{cm} = f_{ck} + 8 = 33$ (MPa)
 $E_{cm} = 22.000 (f_{cm}/10)^{0,3} = 22.000 (33/10)^{0,3} = 31.476 \text{ MPa} = 314.760 \text{ daN/cm}^2$.

1.1.2 Acciaio per cemento armato

Il progetto di una struttura in c.a. fa riferimento a un tipo specifico di acciaio, definito dalla tensione caratteristica di snervamento f_{yk} .

Acciaio da cemento armato normale. Barre ad aderenza migliorata

Le barre ad aderenza migliorata devono avere diametro tra 6 e 40 se fornite in rotoli $\varnothing \leq 16$; per B450A $5 \leq \varnothing \leq 10$ mm in barre o in rotoli.

Nelle tabelle il B450 si riferisce ad A e C.

La differenza sostanziale tra i due è nell'allungamento ultimo A_{gt} che è $>7,5\%$ per B450C e $>2,5\%$ per B450A; in Europa si usano A, B, C con duttilità crescente, in Italia si usa solo quello più duttile C e A soltanto per le reti o armature secondarie.

Le barre per cemento armato sono considerate dalle norme italiane NTC 2008 ad alta duttilità per cui ad esse viene attribuita la lettera C.

1.2 RICHIAMI CALCOLO AGLI STATI LIMITE

1.2.1 Stati limite di esercizio

La struttura in esercizio deve essere esteticamente soddisfacente, rimanere adatta all'uso e presentare caratteristiche di durezza tali da consentire alla costruzione di “vivere” a lungo.

Verifiche agli stati limite di esercizio (SLE) vengono effettuate con struttura in campo elastico, per cui sono applicabili le formule del metodo alle tensioni ammissibili e della teoria dell'elasticità; a seconda del grado di sollecitazione la struttura sarà studiata nello stadio 1 non fessurato (con la sezione in calcestruzzo tutta reagente) oppure nello stadio 2 fessurato (in cui la sezione è parzializzata e il calcestruzzo teso è trascurato, mentre l'armatura viene tenuta in conto omogeneizzandola con $n = 15$).

In esercizio si desidera che la struttura non presenti:

- *deformazioni elevate* (permanenti o istantanee);
- *fessurazioni del calcestruzzo* longitudinali o trasversali;



**Pagine non disponibili
in anteprima**



1.3 TIPOLOGIE DI CAPANNONI INDUSTRIALI PREFABBRICATI

I capannoni industriali possono avere coperture di vario tipo. In Figura 1.5 si riportano alcune forme di coperture.

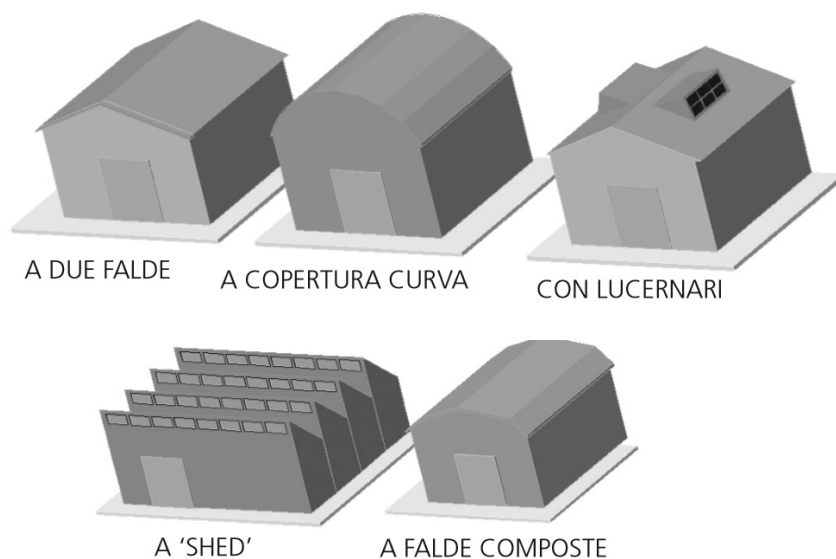


Figura 1.5 - Tipologie di coperture per capannoni industriali

In genere i capannoni sono monopiano; se si sviluppano su più piani si trovano solai intermedi in genere insistenti su travi che a loro volta insistono sui pilastri tramite mensoloni.

Le strutture pluripiano sono in genere costituite da pilastri monolitici a tutta altezza che presentano mensole ai vari livelli, da travi portanti, da impalcati composti da elementi solaio prefabbricati, da travi di copertura ed elementi prefabbricati di copertura.

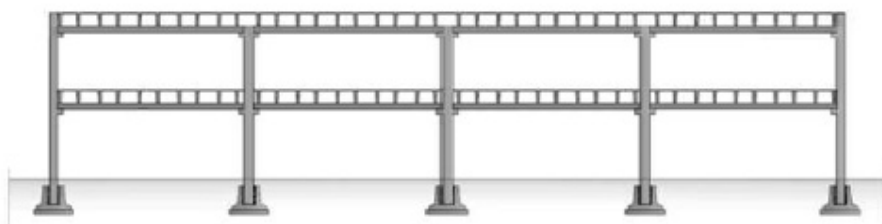


Figura 1.6 - Esempio di edificio prefabbricato pluripiano senza controventi

Tra le strutture monopiano vi sono i capannoni con travi a doppia pendenza. La copertura è completata con elementi prefabbricati in c.a. o c.a.p. nervati. Sopra e nel seguito si riportano le varie tipologie illustrate dal Gruppo di lavoro agibilità sismica dei capannoni industriali nelle *Linee di indirizzo per interventi locali e globali su edifici industriali monopiano non progettati con criteri antisismici*.



La prima serie riguarda capannoni la cui struttura principale è realizzata da capriate insistenti su colonne; le colonne possono essere 2 solamente, con unica campata trasversale oppure essere più di due, con campate multiple adiacenti.

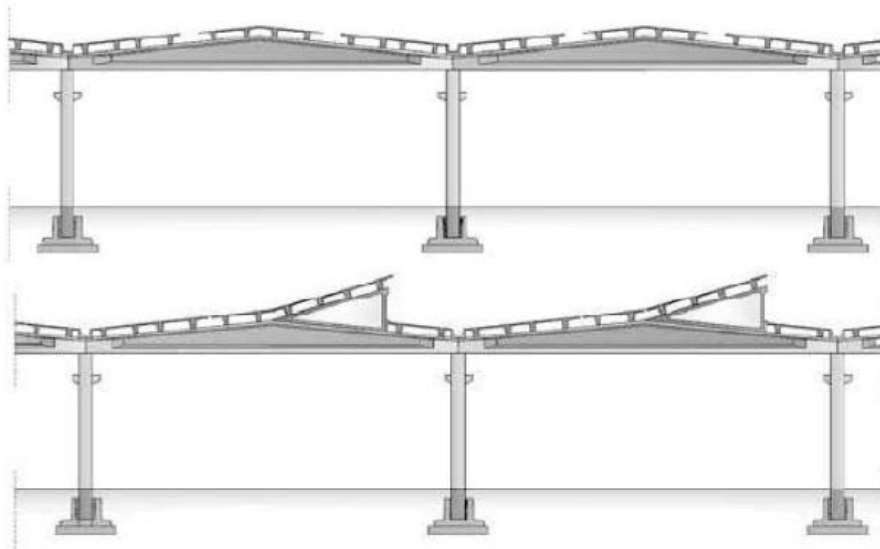


Figura 1.7 - Esempi di copertura a doppia pendenza con tegole nervati



**Pagine non disponibili
in anteprima**



Ai sensi delle vigenti Norme, la valutazione della sicurezza e la progettazione degli interventi sulle costruzioni esistenti possono essere eseguite con riferimento ai soli SLU. Tipicamente si fa riferimento alla condizione di salvaguardia della vita umana (SLV).

Deve essere anche assicurata la adeguata sicurezza nei riguardi delle combinazioni non sismiche, per le quali non è da prevedersi nessuna riduzione delle azioni rispetto a quanto previsto dalle vigenti Norme.

3.4 COMPORTAMENTO DEL CAPANNONE INVESTITO DAL SISMA

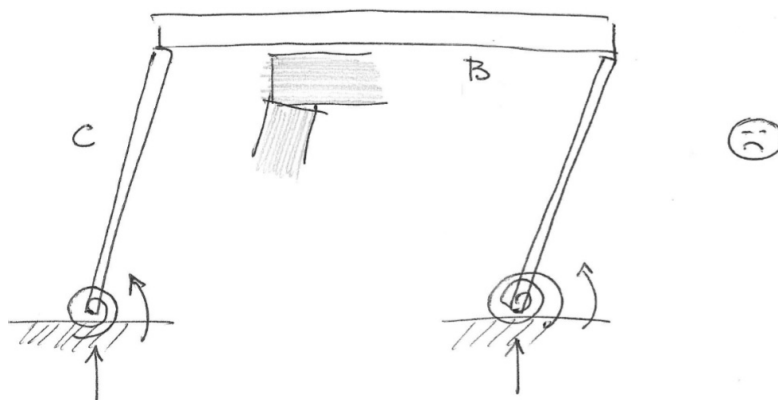


Figura 3.2 - Distorsione del telaio trilitico classico sotto carichi orizzontali, con il collegamento elasto-plastico garantito dal semi-incastro delle fondazioni

Il comportamento a semi-incastro della base delle colonne in caso di sisma dipende dalla risposta del plinto a bicchiere e dalla sua interazione con il terreno sottostante e circostante.

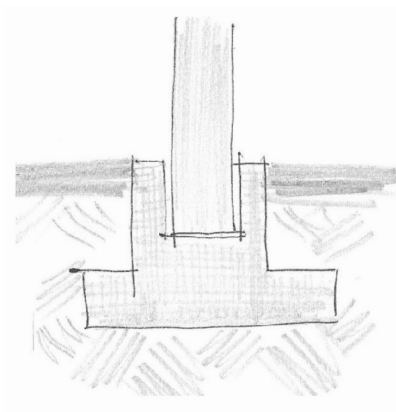


Figura 3.3 - Particolare della fondazione tipica con plinto a bicchiere al piede della colonna

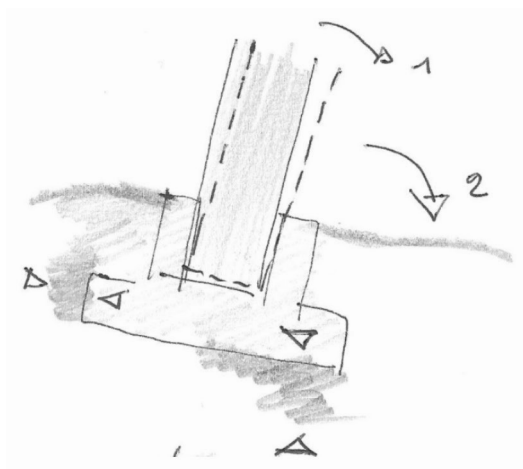


Figura 3.4 - Scambi di forze tra fondazione F e terreno E al ruotare della colonna sotto azioni orizzontali



**Pagine non disponibili
in anteprima**



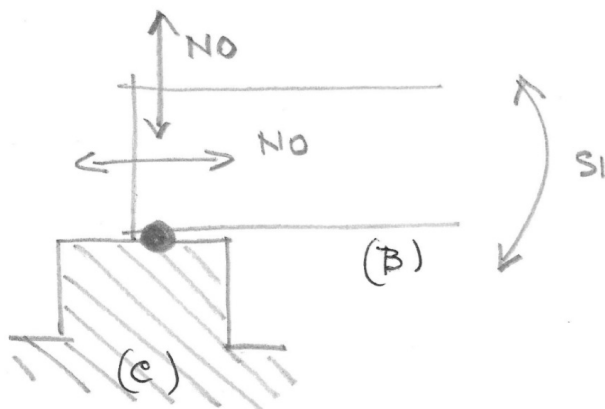


Figura 4.3 - Elemento B correttamente connesso ad una colonna C in modo da impedire le traslazioni verticali e orizzontali e consentire la rotazione

4.2 EFFICACIA DEI COLLEGAMENTI

I legami tra gli elementi in corrispondenza dei giunti devono essere inseriti in modo razionale. Il giunto deve essere “*compattato*”, possibilmente già pre-sollecitato, in modo tale da essere “*pronto*” all’improvvisa sollecitazione indotta dal sisma.

Si devono prediligere legami energici, posizionati in posizioni “*strategiche*” e opportunamente orientati.

Il collegamento più efficace tra colonna e trave, nel seguito indicato con J_{B-C} , è da realizzarsi con elementi duttili e resistenti energeticamente tesi in modo tale che B sia messo in tensione e le colonne siano avvicinate e tenute in posizione; in pratica l’ideale sarebbe quello di trasformare l’elemento B in un tirante semirigido, tale da tenere in posizione gli estremi delle colonne collegate e nel contempo costringere entrambe le colonne a spostarsi in modo sincrono, senza mutue dislocazioni delle sommità.

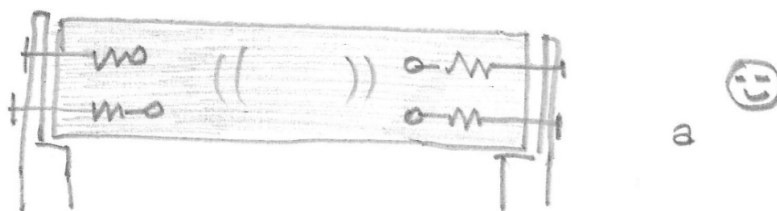


Figura 4.4 - Collegamento molto energetico di B alle due colonne in modo da mettere a contatto gli elementi e indurre trazione nella trave



Figura 4.5 - Collegamento indiretto fra trave e colonne ottenuto con inserimento di tirante tra le colonne

Il collegamento con un tirante che unisce direttamente la colonna con quella opposta è alquanto discutibile, poiché l'elemento metallico è alquanto elastico e tiene in posizione gli estremi esercitando una efficace reazione solo all'allontanarsi di tali estremi; in pratica per essere efficace il tirante dovrebbe essere energeticamente teso in modo da schiacciare le colonne alla trave, ma la trave schiacciata internamente può mutare il suo comportamento e soprattutto allo schiacciamento è preferibile un diretto tensionamento. Non raccomandato assolutamente è un collegamento che vincoli solo un estremo della trave, in quanto l'altro estremo è soggetto a perdere l'appoggio e a martellamento.



**Pagine non disponibili
in anteprima**



Il capannone è composto da elementi tipici illustrati nella Figura 5.2; le piastre P di copertura insistono sulle travi B, che appoggiano sulle colonne C, fondate su plinti F; i pannelli di facciata W sono vincolati alle colonne C. Travi secondarie b uniscono le sommità delle colonne in direzione longitudinale.

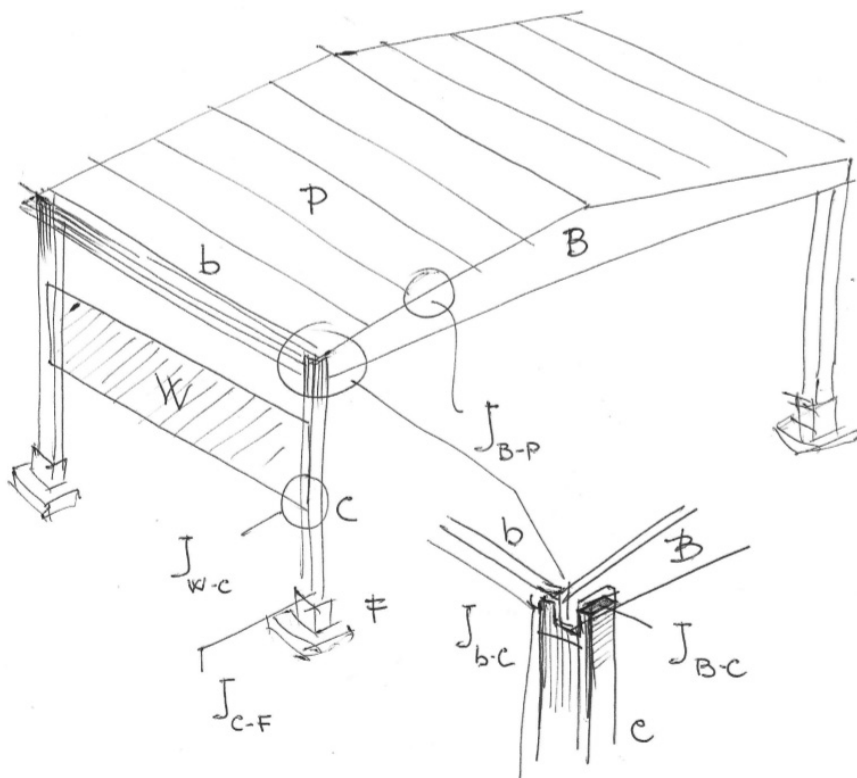


Figura 5.2 - Tipico capannone prefabbricato in c.a.

5.2 GIUNTI

I giunti tra gli elementi sono la zona di trasferimento tra due o più elementi; la nomenclatura cita la lettera J (*joint*) con pedice elemento portato-elemento che porta, o semplicemente in ordine “*sparso*” gli elementi collegati. Dunque un giunto trave su colonna viene indicato con J_{B-C} .



**Pagine non disponibili
in anteprima**



6.3 ATTACCO PILASTRI-PANNELLI DI TAMPONATURA ESTERNI C-W

Il collegamento dei pannelli di facciata può essere realizzato in modo agevole se il pannello è verticale; l'azione sismica induce effetti relativamente contenuti se il pannello appoggia per terra, maggiori se il pannello è in qualche modo sospeso, poiché in tal caso si sommano le azioni di taglio connesse al peso proprio del pannello sui collegamenti.

Il collegamento del pannello deve evitare che l'elemento parete si ribalti o si distacchi dai pilastri.

Se il pannello viene solidarizzato energicamente al pilastro e la connessione è in grado di reagire alle forze di sconnessione a taglio nella superficie di contatto tra pilastro e parete si può ottenere un interessante irrobustimento del pilastro, dato che la sua sezione può coinvolgere una parte di pannello ad esso ben solidarizzato.

Di seguito illustriamo gli interventi per contrastare le carenze tra il sistema di tamponatura esterna degli edifici prefabbricati (pannelli prefabbricati in calcestruzzo armato ed alleggeriti) e la struttura portante.

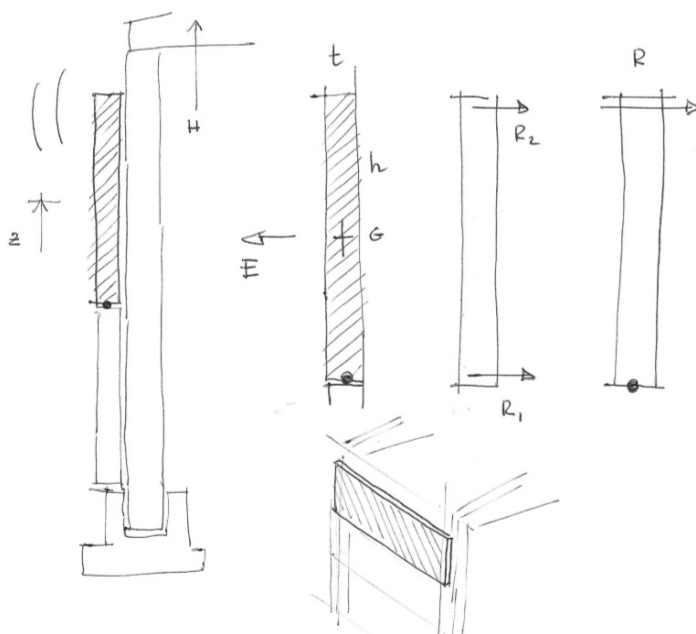


Figura 6.17 - Connessione C-W con attacchi superiori e inferiori

Il sisma nello scenario ondulatorio induce come effetto da considerare una azione espulsiva verso l'esterno. Se il pannello è vincolato ad una certa altezza è opportuno trascurare l'appoggio del pannello sottostante e affidare ai collegamenti anche il suo peso. Se il pannello sottostante è stato irrobustito negli attacchi al pilastro si può considerare efficace anche la sua presenza, curando che gli attacchi del pannello sottostante siano idonei a sopportare le azioni verticali indotte dal pannello superiore.

Le azioni sugli attacchi sono connesse all'azione sismica E , effetto di calcolo del sisma, indotta dall'accelerazione spettrale opportunamente amplificata per tener conto dell'altezza dell'elemento rispetto al suolo. L'ipotesi dell'azione sismica riguarda l'azione inerziale che si considera applicata al baricentro del pannello stesso e si ripercuote sugli attacchi come reazioni di una trave semplicemente appoggiata agli attacchi stessi. In pratica ogni attacco è sollecitato da metà dell'azione sismica e nel contempo dall'azione verticale connessa al peso del pannello stesso.

Nel contempo il progettista deve tener conto della distorsione del campo telaio longitudinale che contiene il pannello stesso e aumentare opportunamente resistenza e duttilità del collegamento in modo da farlo restare efficace anche con distorsioni "general".

Se i collegamenti sono energicamente pretesi la distorsione dei telai viene ridotta alla fonte, dato che i pannelli fungono da controventi e da irrigidimenti dei telai longitudinali stessi.

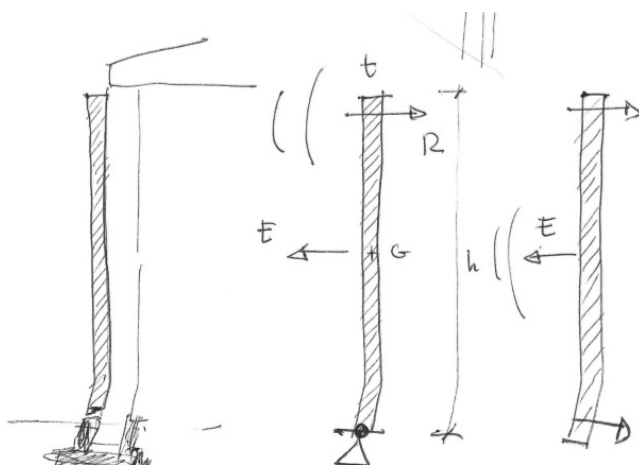


Figura 6.18 - Connessione C-W con attacchi superiori e appoggio inferiore

Se il pannello è appoggiato al suolo l'effetto del sisma, sempre applicato al baricentro del pannello, induce una azione orizzontale solo sugli attacchi superiori. Il pannello è più stabile rispetto a quello “*sospeso*” per lo scarico a terra del suo peso e la resistenza al ribaltamento coincide con quella a trazione del solo attacco superiore.

Il dimensionamento delle unioni rafforzate viene fatto in relazione alle azioni sismiche da sopportare, con particolare riferimento al pericolo di ribaltamento del pannello di tamponamento; il sistema realizza un significativo legame tra pilastro e pannello che consente all'intera struttura di reagire alle scosse sismiche in modo più efficace, dato che non si ha la risposta del pilastro incluso nel bicchiere alla base e la risposta indipendente del pannello di copertura bensì - grazie alla solidarizzazione di pilastro e pannello adiacente - l'insieme pilastro-pannello di fatto reagisce come un *unicum*, fronteggiando l'azione sismica con un significativo aumento di rigidezza e resistenza.

Il comportamento globale del capannone non subisce grandi sconvolgimenti dato che l'intervento viene messo in essere in modo diffuso su ogni pilastro-pannello. Il sistema di connessione messo in atto è realizzato con cavi in acciaio inox certificati, connessi con elementi in acciaio inox, posti in essere previo tensionamento in modo da realizzare una unione dinamica tale da contrastare efficacemente lo scorrimento della capriata sull'appoggio dei pilastri. L'intervento realizza una serie di sistemi di connessione meccanici con elementi metallici in acciaio inox.

Il sistema di cucitura con cavi in tensione viene posto in essere anche per solidarizzare una coppia di pannelli tra loro, in modo da ridurre il rischio di mutuo scorrimento e di sconnessioni dinamiche spaziali della tamponatura.