

Il ruolo delle unioni nelle strutture prefabbricate in calcestruzzo

Stefano Knisel , ingegnere strutturista

Nel settore delle strutture prefabbricate in calcestruzzo le unioni fra i vari elementi resistenti e quelle fra questi e gli elementi secondari, come i pannelli di facciata, hanno un importante ruolo nella trasmissione delle azioni e nel garantire all'organismo strutturale una adeguata sicurezza sotto le azioni di natura statica e dinamica. Di particolare interesse nelle strutture intelaiate, sono le unioni rigide trave-colonna e colonna-fondazione.

Stato dell'arte delle unioni nelle strutture prefabbricate in calcestruzzo

In Italia la prefabbricazione di elementi strutturali in calcestruzzo inizia attorno agli anni '30, a seguire vengono sviluppati principalmente due tipologie di edifici, una realizzata con componenti bidimensionali a pannelli portanti di grande dimensione e solai e una realizzata con elementi monodimensionali, colonne, travi e solai, per entrambe completate in opera con unioni e getti integrativi.

La capacità statica dei due organismi strutturali è strettamente legata ad una corretta progettazione dei singoli elementi prefabbricati nei confronti di tutte le loro fasi di vita dell'insieme strutturale e delle loro unioni.

La prima tipologia, si colloca nelle strutture concepite come organismi tridimensionali dove ogni singolo componente prefabbricato deve essere connesso in modo efficace a quello adiacente, la continuità strutturale è realizzata attraverso la posa in opera di armature metalliche integrative opportunamente progettate da collocare in appositi alloggiamenti ricavati nei manufatti prefabbricati solidarizzati con getti di completamento.

E' disponibile una ampia letteratura tecnica molto perfezionata, nella quale sono indicati dettagli costruttivi, note tecniche e formulazioni, alcune di queste risalgono nelle norme CNR 10025/84 aggiornate con le CNR10025/98 più recente è disponibile il Bollettino fib 74, tutte le indicazioni contenute sono da adeguare al rispetto delle normative cogenti NTC2018.

È una tecnologia di prefabbricazione sviluppata principalmente per la realizzazione di edifici residenziali multipiano che non trova nel territorio nazionale un significativo riscontro nel mercato edilizio attuale, forse per differente orientamento architettonico.

La seconda tipologia di edifici quella ottenuta con l'assemblaggio di elementi strutturali prefabbricati monodimensionali, nata intorno agli '60/'70, in particolare ha consolidato il proprio ruolo nel contesto della realizzazione di edifici industriali, tipologia ancora largamente utilizzata.

In quel periodo nascono sul territorio nazionale molte aziende di prefabbricazione, alcune delle quali ancora operanti, e nel contempo si sviluppa una forte cultura dell'edilizia industrializzata e di tutti i suoi aspetti teorico-applicativi, grazie agli investimenti delle aziende di prefabbricazione, alle capacità dei progettisti, alle associazioni di tecnici del settore e al forte contributo del mondo accademico verso questa tecnica costruttiva.

Si diffondono prevalentemente sistemi costruttivi composti da elementi monodimensionali quali telai monopiano e pluripiano, che trovano largo impiego grazie alla loro veloce messa in opera, e alla capacità di assolvere alle richieste di grandi luci e di forti carichi di utilizzo.

Nella maggiore parte dei casi, lo schema statico prevede strutture intelaiate dove la stabilità di insieme sotto le azioni verticali e orizzontali è affidata al comportamento essenzialmente a mensola delle colonne con le travi connesse a queste con un vincolo di semplice appoggio realizzato interponendo un pacchetto di neoprene tra i due elementi capace di trasferire al pilastro le azioni verticali e per attrito le azioni orizzontali. In alcuni casi il pacchetto di neoprene veniva integrato con spinotti passanti per limitare le traslazioni orizzontali delle travi.

Per le zone dichiarate sismiche, il D.M. 3 dicembre 1987, non era consentito l'uso di questa tipologia di vincoli nei quali la trasmissione delle forze orizzontali fosse affidata all'attrito, per le zone non sismiche le CNR 10025/1998 fornivano formulazioni per la verifica dell'unione per attrito, a patto che si eseguisse una verifica del comportamento del sistema strutturale nelle sue fasi, con particolare attenzione alle effettive deformazioni e funzionamento delle unioni e giunti.

Alla semplicità costruttiva di questi sistemi, in particolare per quelli monopiano, si contrapponeva la necessità di un attento approccio progettuale, in particolare all'analisi delle snellezze delle colonne dove l'unione a cerniera di fatto era un carrello il cui contrasto allo spostamento orizzontale dipendeva dalla rigidità del pacchetto di neoprene e dall'attrito che generava con le superfici d'appoggio.

L'utilizzo di questi sistemi costruttivi era favorito anche dal fatto che non tutto il territorio italiano era dichiarato sismico, pertanto era possibile utilizzare questa tipologia di unione per contrastare l'azione orizzontale principalmente dovuta al vento.

Successivamente con l'entrata in vigore dell'Ordinanza PCM 3274 del 20/03/2003 che indicava la nuova zonazione sismica del territorio nazionale, si abbandonò definitivamente questa tecnica, e fu occasione per dare una maggiore spinta al progresso tecnologico e all'introduzione sul territorio nazionale di soluzioni industrializzate delle unioni prodotte da aziende specializzate.

Evoluzione tecnologica delle unioni

Nel mondo dei sistemi strutturali prefabbricati, quello identificato come sistema APE, nome della società che lo propose sul mercato edilizio ma che oggi è un sistema che vive di vita propria, è senza dubbio una realtà costruttiva consolidata nei "sistemi pluripiani iperstatici" applicati nel mondo dell'edilizia civile-residenziale, scuole, ospedali, alberghi esempi che si rifanno alle costruzioni realizzate in opera.

Esistono a riguardo molteplici realizzazioni, letteratura tecnica, prove sperimentali per lo studio del comportamento e dell'efficacia strutturale dei nodi che caratterizzano il sistema come quelli trave-pilastro e pilastro-fondazione, (per la documentazione si rimanda alla bibliografia)

L'organismo costruttivo prevede l'impiego di elementi prefabbricati, che comprende anche i solai, in genere tutti assemblati "a secco" (con la presenza o meno di mensole a sostegno delle travi al pilastro) e solidarizzati tra loro a fine posa con armature e getti di completamento per creare un complesso strutturale iperstatico a simulare le strutture realizzate in opera.

Per realizzare l'unione rigida tra la trave e il pilastro, gli elementi prefabbricati presentano all'atto della loro produzione, delle interruzioni di getto in prossimità del nodo, una volta assemblati questi lasciano uno spazio che permette la posa della necessaria armatura metallica solidarizzata in opera con getto integrativo.

Anche il vincolo al piede dei pilastri è stato oggetto di prove sperimentali, ed è realizzato innestando le barre fuoriuscenti dal pilastro in apposite guaine alloggiare nella fondazione e successivamente solidarizzate con speciali malte cementizie preconfezionate.

È una tipologia strutturale piena di peculiarità progettuali e di tecniche produttive che per il suo sviluppo necessita di progettisti specializzati in particolare nel settore della prefabbricazione, capaci di adottare tutti gli accorgimenti tecnici ingegneristici per una corretta progettazione di questi speciali organismi strutturali.



Figura 1 – Fase di montaggio del sistema pluripiano iperstatico (Ampliamento E Pharma, Trento, ing. Mauro Ferrari)

Con l'entrata in vigore delle recenti normative tecniche unite ad una maggiore richiesta da parte delle imprese costruttrici, si stanno affermando nel mondo dell'edilizia tipologie di edifici nei quali la struttura portante è composta da telai prefabbricati e da parti in calcestruzzo armato realizzate in opera. Sono tipologie strutturali che trovano un maggiore utilizzo nella realizzazione di edifici adibiti al terziario, in genere con luci impegnative e forti carichi di utilizzo.

La normativa classifica queste strutture sismo-resistenti come "STRUTTURE A TELAIO, STRUTTURE A PARETE, STRUTTURE MISTE TELAIO-PARETI", tra loro differenziate in base alla percentuale con cui si suddividono la resistenza ai carichi verticali e il taglio alla base.

Gli elementi orizzontali prefabbricati come le travi e i solai in generale non denunciano particolare problemi di ordine statico, per il loro dimensionamento il progettista dispone di materiali performanti come calcestruzzi ad alta resistenza e della presollecitazione, mentre per le colonne si avverte l'esigenza di introdurre nuove modalità di unione con le travi, e passare dalla classica unione a cerniera ad una unione a rotazione parzialmente o totalmente impedita in modo da migliorare la risposta dell'intera struttura resistente.

Nelle strutture intelaiate con comportamento prevalentemente a mensola dei pilastri prefabbricati, sulle quale esiste una vasta bibliografia di riferimento, non è sempre possibile migliorare la rigidità strutturale agendo sulla sezione del pilastro, questo concetto si presenta anche in organismi strutturali complessi con la presenza di muri vani tecnici realizzati in opera, pertanto i progettisti sono “costretti” a proporre soluzioni alternative rispetto alla classica unione a cerniera.

Quando applicabile, una soluzione interessante prevede di realizzare l’opera strutturale in due fasi, la prima nella quale le unioni trave-colonna sono libere di ruotare e una seconda nella quale la rotazione è parzialmente o totalmente impedita secondo le indicazioni progettuali.

Si ha una fase di montaggio dove l’intera struttura prefabbricata, assemblata “a secco” con uno schema statico di pilastri incastrati e incernierati agli orizzontamenti, è sottoposta ai soli carichi dei pesi propri degli elementi prefabbricati, dei getti integrativi ancora in fase liquida, e alle azioni orizzontali proprie di questo stato transitorio.

Una seconda fase, quella di esercizio, nella quale tutte le connessioni sono solidarizzate attraverso getti integrativi a formare uno schema strutturale staticamente complesso, sia per contributo delle parti in opera (se presenti) sia per il maggiore grado di vincolo fornito delle connessioni.

L’introduzione di questo tipo di unione, seppure attiva in una fase posticipata, riduce sensibilmente la deformabilità in esercizio del complesso strutturale e lo rende meno sensibile agli effetti del II ordine.

A garanzia degli effetti migliorativi sulla struttura di queste nuove tipologie di unione è necessario uno specifico approccio progettuale, in particolare nella verifica delle unioni, oltre agli strumenti di calcolo numerico vanno presi in considerazione validi riferimenti teorico-pratico, prove sperimentali, dettagli costruttivi, le modalità costruttive e la fattibilità della messa in opera.

Nelle fig.2, fig3, fig.4, fig.5, sono riportati alcuni esempi di differenti tipologie strutturali, realizzate con unioni a cerniera a rotazione impedita.

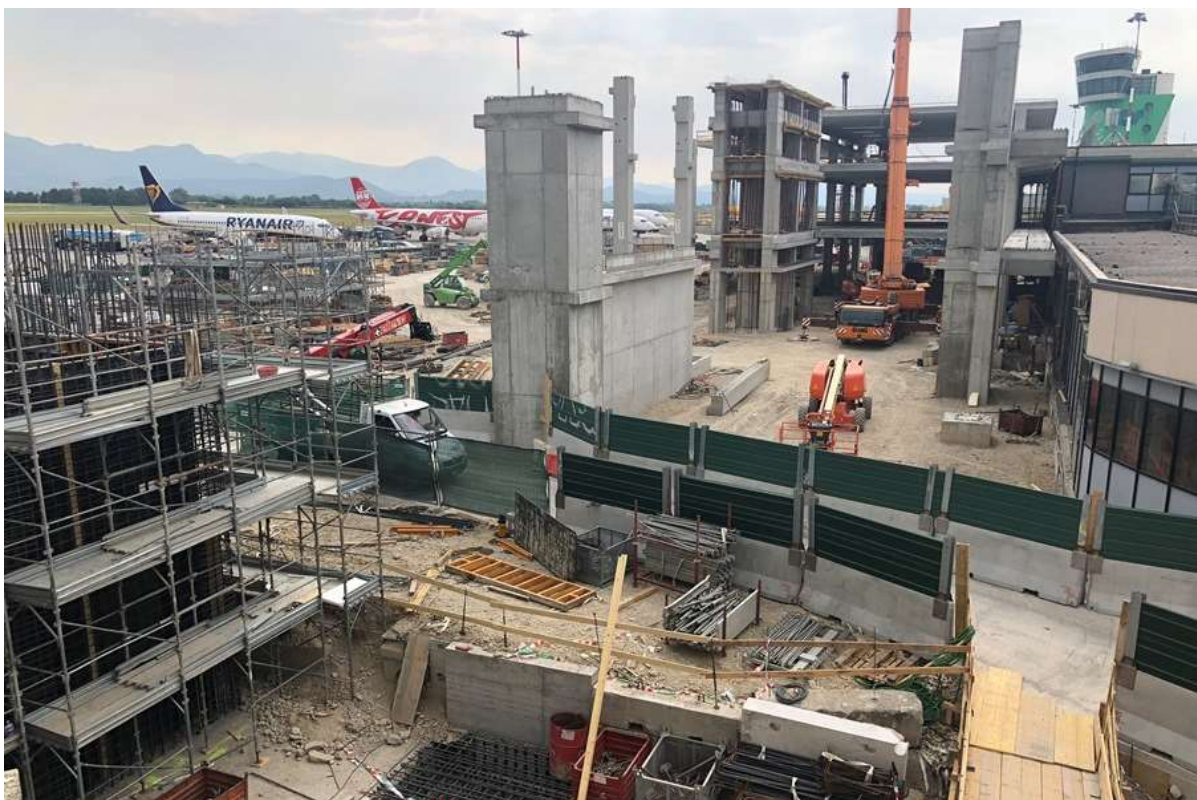


Figura 2 – Fase di montaggio del sistema “strutture miste telaio-parete (Ampliamento dell’ Aerostazione Lotto 4° di Orio al Serio BG, Impresa Sergio Milesi, ing. Stefano Knisel)



Figura 3 – Dettaglio della connessione rigida trave-colonna (Ampliamento dell'Aerostazione Lotto 4° di Orio al Serio BG, Imp. Sergio Milesi, ing. Stefano Knisel)



Figura 4 – Fase di montaggio di una struttura prefabbricata con unione rigida trave-colonna.
(Realizzazione Magnetti Building)



Figura 5 – Vista superiore dell’unione trave-colonna. (Realizzazione Magnetti Building)



Figura 6 – Vista inferiore dell’unione trave-colonna. (Realizzazione Magnetti Building)

Nelle fotografie estrapolate da recenti realizzazioni, sono evidenti le differenti modalità di esecuzione dell’unione, quelle realizzate in opera figg.1-3, quelle miste con inserti meccanici e armature integrative fig.3, e quelle interamente realizzate con elementi meccanici, fig 5 e fig.6.

Sono presenti nel mondo dell’edilizia strutturale prefabbricata aziende specializzate che producono sistemi meccanici in acciaio, per la realizzazione di queste unioni, e anche quelle tra colonna-fondazione, dei quali forniscono la loro conoscenza tecnologica avvallata da prove sperimentali.

Per la progettazione di queste particolari connessioni, alle normative cogenti, va affiancata anche tutta quella letteratura tecnica che abbia affrontato in modo specifico questo tema per fornire validi riferimenti teorici, pratici ed esecutivi, ad esempio si possono consultare le linee guida “ Design Guidelines for Connections of Precast Structures under Seismic Actions”, il Bollettino fib74, seminari dedicati, come quello recentemente organizzato dall’Ordine Ingegneri di Milano in collaborazione con il CTE con titolo “ Unioni nelle Strutture Prefabbricate progetto, analisi e nuove tecnologie”.