

IL SISTEMA PREM E IL PILASTRO A NODO UMIDO STRUTTURALE: L'ANELLO DI CONGIUNZIONE



Sistema PREM – tecnologia in c.a.



Sistema PREM – tecnologia mista acciaio-cl

1. LE STRUTTURE INTELAIATE IN C.A.

1.1 Le strutture in c.a. in opera

Le strutture in cemento armato in opera devono il loro successo e la loro diffusione a molti fattori:

- duttilità d'impiego;
- tecnologia relativamente semplice;
- monolitismo;
- iperstaticità;
- duttilità strutturale;
- attrezzatura fissa modesta;
- logistica adattabile;
- mezzi di sollevamento leggeri.

I limiti sono pochi ma molto precisi:

- tempi relativamente lunghi di realizzazione in cantiere;
- alti costi quando la struttura inizia a diventare impegnativa.

1.2 La Prefabbricazione Integrale e la sua regressione verso il monolitismo

Per ovviare ai limiti del c.a. tradizionale, in termini di tempi di esecuzione in cantiere, negli anni 50/60 nasce il prefabbricato integrale, caratterizzato da una serie di manufatti che si compongono tra loro in modo non monolitico ma isostatico.

Nei campi di applicazione appropriati, i vantaggi risultano evidenti:

- grande velocità di costruzione e costi contenuti per gli edifici industriali monopiano e per strutture pluripiano con grandi luci e sovraccarichi di piano

D'altro canto vi sono alcuni limiti:

- obbligatoria regolarità degli elementi strutturali dovuta ai casseri predeterminati;
- difficile adattabilità del sistema ad edifici di forme complesse;
- elementi strutturali con spessori importanti.

Con l'arrivo di normative antisismiche molto stringenti, sia in termini di resistenza ma ancora di più in termini di deformabilità, è sorto il bisogno di far diventare monolitico ed iperstatico anche il sistema prefabbricato integrale, obbligandolo a forzare la propria natura e regredire al getto integrativo, che non è nel suo DNA, con evidenti forzature che impattano fortemente sulla sua efficienza e/o sui suoi costi e tempi di produzione e di posa.

1.3 Prefabbricazione per Componenti, monolitica per natura, e sua evoluzione

Il sistema in c.a. tradizionale monolitico ha avuto anche un'altra evoluzione naturale e migliorativa che sintetizza il meglio della prefabbricazione e del getto in opera. Considerando irrinunciabile il monolitismo ma cercando comunque di velocizzare ed industrializzare il cantiere, anche se molto variabile e quindi poco standardizzabile, verso la metà del secolo scorso si assiste ad una progressiva evoluzione di elementi costruttivi prefabbricati monolitici in maniera nativa (travi PREM e pilastri tubolari in acciaio riempiti in calcestruzzo), fino alla massima evoluzione rappresentata dal pilastro Prefabbricato a Nodo Umido Strutturale (NUS).

Il pilastro a NUS altro non è quindi che il naturale completamento di un sistema di prefabbricazione parziale per componenti, con getto integrativo, che ha come missione naturale la realizzazione del monolitismo strutturale, dopo il getto integrativo, di un sistema prefabbricato.

1.4 Il pilastro a nodo umido strutturale: l'anello di congiunzione

Il pilastro prefabbricato a NUS si è quindi inserito storicamente, nell'evoluzione della tecnologia, come l'anello di congiunzione di un sistema di prefabbricazione che è progredito (quello semi prefabbricato e iperstatico nativo) e di un altro che è regredito (quello totalmente prefabbricato e isostatico nativo). Il pilastro come elemento strutturale è lo stesso, ma questo può abbinarsi a componenti leggere come le travi PREM e realizzare un nodo monolitico a tutti gli effetti, nel primo caso, oppure a pesanti travi prefabbricate con problemi di connessione al nodo, in zona sismica, molto più complessi e costosi, nel secondo caso.

2. IL SISTEMA PREM: IN MEDIO STAT VIRTUS

La prefabbricazione spesso riesce a rispondere meglio e più velocemente alle richieste di un mercato, quello dell'edilizia, dove i costi e le tempistiche di cantiere rappresentano due elementi fondamentali per la buona gestione d'impresa. Chi lavora da anni, nella progettazione di soluzioni prefabbricate in acciaio e miste, questo lo sa e si impegna per sviluppare tecnologie sempre più adattabili alle diverse situazioni progettuali.

Elementi fondamentali del Sistema PREM sono le travi PREM, i Pilastri Misti acciaio-clc a NUS ed i pilastri prefabbricati a NUS, tutti completati in cantiere con getti di calcestruzzo in opera.

Infatti la caratteristica di cui le travi PREM godono, cioè il fatto di essere autoportanti in fase di posa, è garanzia di rapidità di montaggio e di sicurezza per gli operatori di cantiere.

L'autoportanza, in questo caso nativa, comporta una riduzione dei momenti di continuità ai nodi in quanto sgravati dagli effetti dei pesi propri strutturali: i nodi risultano pertanto meno sollecitati e quindi più facilmente realizzabili della corrispondente versione in opera.

Il Sistema PREM, peraltro, presenta una vasta gamma di Travi Prefabbricate Reticolari Miste, cioè con fondello in acciaio, in calcestruzzo o senza fondello, realizzate con qualsiasi tipo di acciaio, liscio o nervato, e di qualunque categoria strutturale previste dalle norme attuali: miste acciaio-clc o in cemento armato. Inoltre le travi PREM sono abbinabili a pilastri gettati in opera e prefabbricati di ogni genere, misti a NUS, in c.a.v. a NUS e con sezione quadrata, rettangolare ed ovale e a tutti i tipi di solaio prefabbricato (alveolari, predalles, ecc.).



Fig. 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 – Nodo umido strutturale tipico del sistema costruttivo PREM

2.1 I pilastri prefabbricati pluriplano a nodo umido strutturale del terzo millennio

Il pilastro prefabbricato a NUS viene realizzato in stabilimento con un calcestruzzo di classe consona allo specifico progetto. Inoltre, nella progettazione e nella produzione, è prestata adeguata cura alla disposizione dell'armatura verticale al fine di garantire la totale compatibilità geometrica sia con le travi e le armature orizzontali convergenti al pilastro sia con i dispositivi e le armature di ancoraggio predisposti in fondazione.



Fig. 8,9,10,11,12,13,14 – Immagini tipiche di pilastri Prefabbricati a Nodo Umido Strutturale

2.1.1 Connessione in fondazione: tipologie e progettazione

La connessione alla fondazione con "scarpa" prefabbricata.

Il collegamento dei pilastri, sia in corrispondenza delle fondazioni sia in corrispondenza della giunzione fra conci pluripiano, avviene correntemente con l'impiego di inserti in acciaio marcati CE comunemente denominati "scarpe".

Durante la realizzazione delle fondazioni si deve posizionare nella gabbia di armatura un gruppo di tirafondi che, con l'ausilio di una dima metallica, sarà posizionato facilmente ed entro le tolleranze ammesse. I tirafondi sono costituiti da elementi in acciaio che presentano all'estremità superiore, che fuoriesce dal getto delle fondazioni, una parte filettata, mentre nella parte inferiore terminano con risalti o sagomature atte a garantire l'ancoraggio anche con ingombri ridotti.

La posa del pilastro viene preparata disponendo sui tirafondi filettati dadi e rondelle e regolando la quota di posa e la planarità. Terminata questa rapida fase di preparazione si procede alla posa del pilastro, all'inserimento di rondelle e dadi di fissaggio. Tramite la rotazione dei dadi inferiori si procede alla regolazione della perfetta verticalità ed infine al serraggio definitivo dei dadi superiori ed alla posa di controdadi, senza mai l'utilizzo di puntelli o sbatacchi.

Completa la messa in opera del pilastro il ripristino della sezione tramite malta a ritiro e caratteristiche meccaniche controllate.

Nel caso in cui gli inserti "scarpa", disponibili con molteplici caratteristiche di resistenza, non risultino sufficienti al trasferimento delle azioni di progetto il sistema può essere integrato con l'utilizzo di armature aggiuntive quali ferri di chiamata con guaine corrugate inserite nei pilastri, senza perdere i vantaggi offerti dal sistema: assenza di puntellazione e sbadacchiatura.

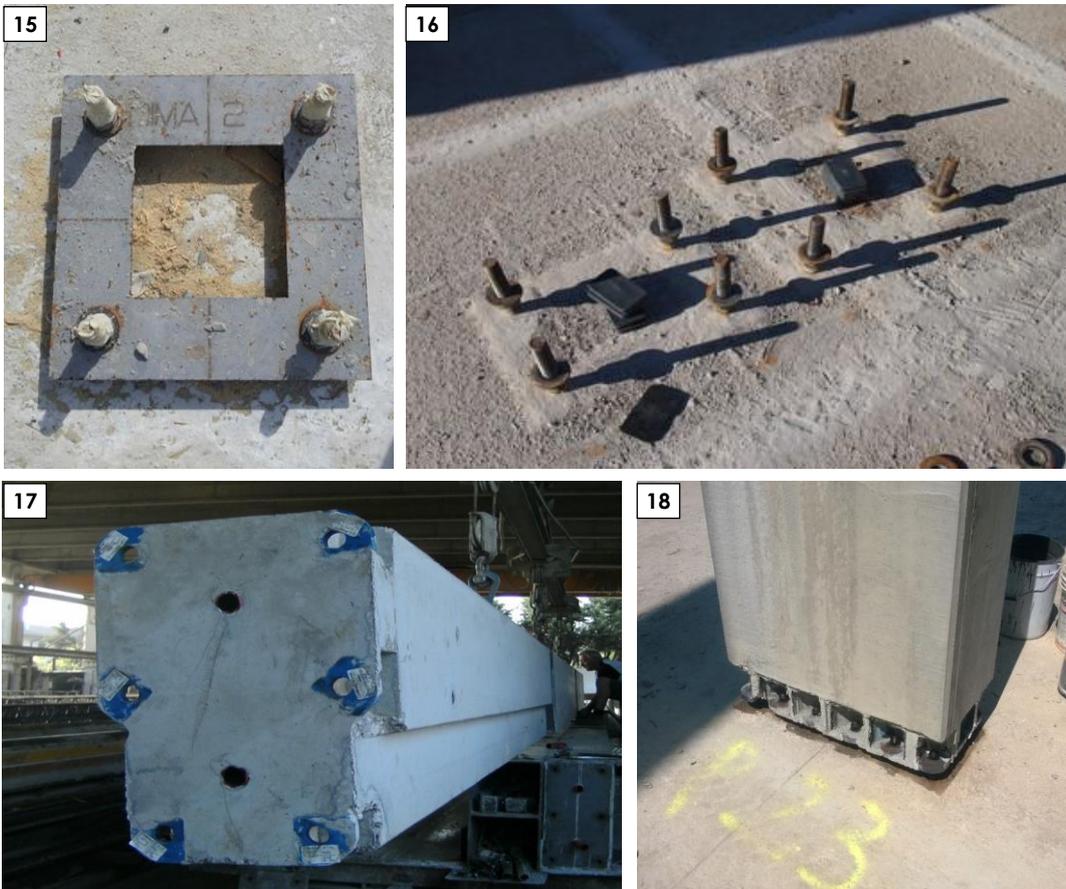


Fig. 15, 16, 17,18 – Connessione alla fondazione con "scarpa"

Connessione alla fondazione con ferri di ripresa e guaina.

In alternativa alle scarpe, la solidarizzazione può essere ottenuta unicamente con l'inserimento di malta antiritiro ed a resistenza controllata in appositi innesti coincidenti con i ferri di chiamata e praticati nell'elemento prefabbricato in fase di produzione (guaine corrugate).

Due sezioni caratteristiche di questa tipologia (atipiche rispetto al c.a. in opera) risultano essere la sezione di attacco in fondazione e la sezione di compresenza di ferri di chiamata e armatura dell'elemento prefabbricato.

Normalmente in un pilastro in opera avremmo la sovrapposizione dei ferri d'attesa e dei ferri della gabbia di piano. Avremmo comunque e sempre, cioè, una sovrapposizione dei ferri della gabbia con i ferri d'attesa ma la sovrapposizione dei ferri avviene ad ogni piano mentre in un pilastro prefabbricato a NUS tale sovrapposizione avviene solo al piede di un singolo concio pluriplano, con una armatura complessivamente molto più lineare per i restanti piani. Soluzione che comporta diversi benefici come: minor utilizzo di ferro (poiché ad ogni sormonto i ferri vengono contati 2 volte), qualità maggiore e più controllata (perché il sormonto non è lasciato alla minore precisione del cantiere), risparmio di tempo e di tiri di gru.

L'apparente limite di dover avere le guaine in punti fissi, poi, comporta di dover adottare una precisione particolare che diventa automaticamente un punto di forza poiché si è certi della posizione dei ferri: posizione certa dei ferri di ripresa a fronte di ciò che avviene di solito in cantiere.

La sezione di attacco in fondazione (nella figura 9, Sez. A-A) è interamente costituita dalla malta e dai ferri di chiamata; in fase di montaggio vengono aggiunte, se previste in progetto, una o più staffe per garantire l'effetto di confinamento della zona così definita (per importanti altezze di inghisaggio).

La sezione di compresenza di chiamate ed armatura interna del pilastro (nella figura 7, Sez. B-B) si

differenzia rispetto alla sezione C-C, per la presenza delle guaine corrugate riempite di malta e della doppia armatura (gabbia + ferri di ripresa).

È necessario, naturalmente, che i ferri di chiamata inseriti in fondazione presentino una lunghezza sufficiente per trasferire le tensioni al pilastro attraverso le guaine.

La zona di collegamento del pilastro con le fondazioni, (sezione A-A e sezione B-B), risulta particolarmente critica in quanto va verificata con sollecitazioni amplificate per tenere in considerazione i coefficienti di sovraresistenza in zona sismica. Questa seconda tipologia di connessione, tuttavia, comporta dei rallentamenti in fase di montaggio ed è applicata, quindi, solo in casi residuali.

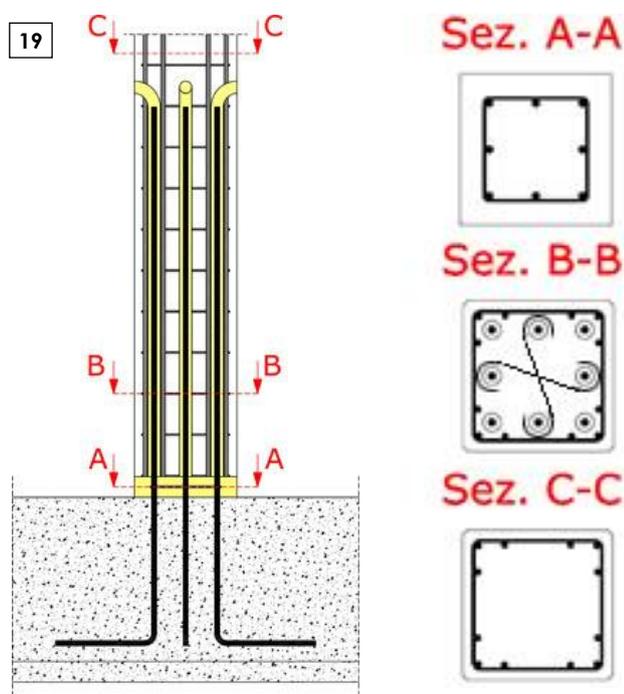


Fig. 19 – Connessione alla fondazione con ferri di ripresa e guaina

2.1.1 Appoggi trave su pilastro prefabbricato a NUS: soluzioni ed evoluzione

Nodo strutturale e concettuale del pilastro prefabbricato a NUS è quello fra travi e pilastri che deve soddisfare le esigenze strutturali della prima fase, di montaggio a secco, e della seconda fase di continuità e monolitismo strutturale. Infatti, l'appoggio delle travi sui pilastri prevede il prolungamento delle armature longitudinali, oltre il termine del fondello di cls delle travi stesse, e la possibilità di effettuare un getto integrativo che dia continuità strutturale al nodo.

Le soluzioni seguono due approcci alternativi: rastremare le armature del pilastro in corrispondenza del nodo ed appoggiare le travi direttamente sul fusto oppure mantenere continue le gabbie di armatura del pilastro e attrezzare il pilastro con mensole di piano. Il primo approccio lascia in seconda fase un nodo senza mensole e, quindi, del tutto identico ad un nodo strutturale in c.a. gettato in opera. Si capisce quindi perchè sia gradualmente ma decisamente diventato lo standard per le produzioni più evolute: la precisione richiesta, infatti, risulta molto maggiore sia in fase di progettazione che di produzione. Per completezza, tuttavia, riportiamo anche le altre soluzioni praticate, ormai, in casi residuali o da produttori meno innovativi.

2.1.1.1 Appoggio senza mensole



Per garantire un adeguato appoggio alle travi, nella fase di getto, si forma una gabbia di armatura dei pilastri più compatta che viene sovrapposta alla gabbia inferiore e superiore ed opportunamente dimensionata sia per tener conto della geometria ridotta che per tenere in conto il funzionamento in fase di montaggio.

La soluzione presenta decisamente il massimo appeal a fronte di un maggior costo di armatura, e di relativo assemblaggio della stessa, ed una maggiore accuratezza sia in fase di progettazione che di produzione.



Fig. 20, 21, 22, 23, 24, 25 – appoggio travi su pilastri NUS senza mensole

2.1.1.2 Mensola in c.a. provvisoria



Questa soluzione fornisce una portata sufficiente solo per i carichi di prima fase, mentre i carichi di seconda fase saranno trasmessi direttamente al nucleo del pilastro tramite le armature integrative delle travi ed il calcestruzzo.

Fig. 26 – NUS con mensola provvisoria

2.1.1.3 Mensola in c.a. definitiva



Questa soluzione permette di sostenere sia i carichi di prima che di seconda fase grazie alle maggiori dimensioni e ad adeguate armature predisposte nelle mensole. Alle armature integrative delle travi convergenti al nodo ed al getto integrativo è lasciato solo il compito di garantire il monolitismo per la trasmissione dei momenti al pilastro ed alle altre travi convergenti nel nodo. Evidente il minore appeal estetico ed i costi di produzione.

Fig. 27 – NUS con mensola in c.a. definitiva

2.1.1.4 Mensola a recupero

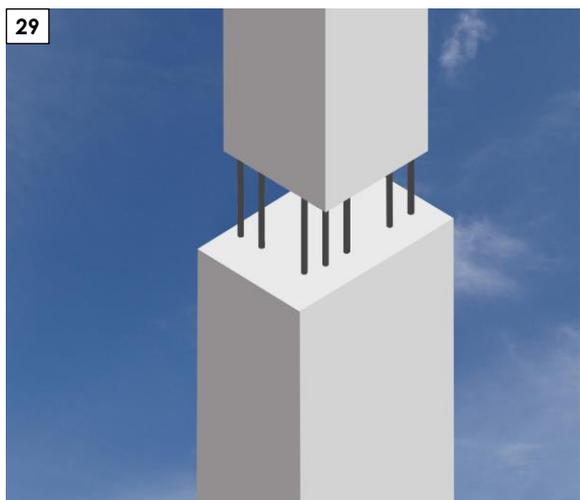


E' una mensola provvisoria in acciaio posata su boccole in grado di sostenere i carichi di prima fase sino all'avvenuta maturazione del calcestruzzo integrativo gettato in opera, dopo di che può essere facilmente rimossa e riutilizzata.

Il vantaggio di questa tipologia consiste nel non presentare, al termine della costruzione, alcun ingombro all'intradosso delle travi come nel caso dell'assenza di mensole ma lo svantaggio sta nel suo maggiore costo.

Fig. 28 – NUS con mensola a recupero

2.1.1.5 Mensola a rastremazione



Viene realizzata con la semplice rastremazione del pilastro all'interpiano. E' sicuramente la soluzione più naturale ma, purtroppo, per poter essere realizzata devono coesistere compatibilità geometriche e di carico piano per piano, cosa non sempre possibile. Infatti quando sono presenti numerosi livelli le dimensioni alla base del pilastro possono diventare rilevanti per permettere il susseguirsi delle rastremazioni fra piano e piano, situazione non sempre compatibile con le esigenze architettoniche. Inoltre, rimane scoperto l'appoggio dei solai che devono quindi essere puntellati durante il getto.

Fig. 29 – NUS con mensola a rastremazione

2.2 Specificità delle travi PREM

La scelta più naturale, con i pilastri prefabbricati a NUS, è di utilizzare travi PREM di categoria c.a. con fondello in cls per l'esecuzione della struttura portante orizzontale. Infatti esse ricadono nella stessa categoria strutturale del c.a. e sono marcate CE come, d'altronde, anche i pilastri prefabbricati a NUS.

Per la stessa ragione, con i pilastri misti a NUS, l'abbinamento naturale è con travi di categoria mista acciaio cls, sia col fondello in acciaio che con il fondello in cls.

Tuttavia, se non è presente una particolare esigenza di avere una sola categoria strutturale, sono possibili anche applicazioni miste.

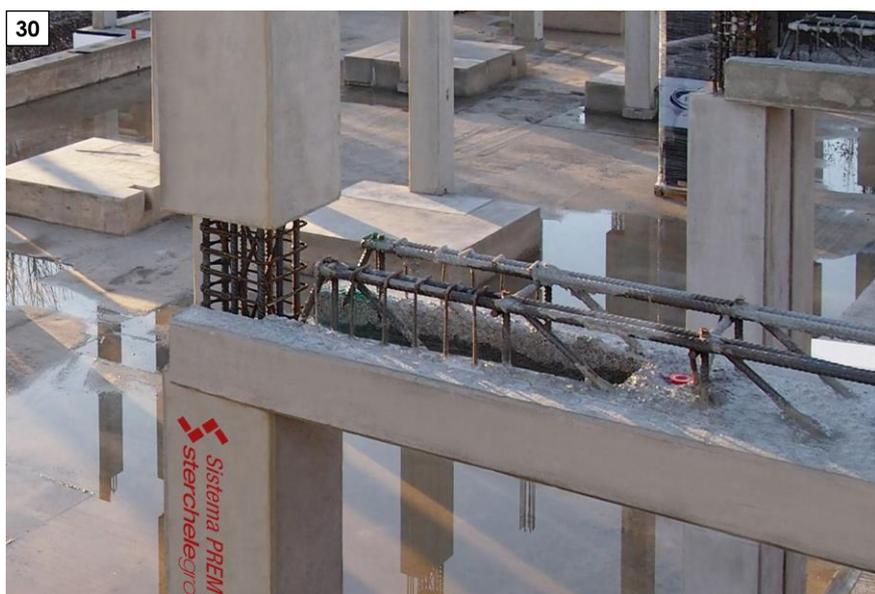


Fig. 30, 31, 32 – Travi PREM c.a. e miste acciaio cls su pilastri a NUS senza mensole

2.3 Montaggio del Sistema

2.3.1 Fasi di montaggio a secco con la morfologia con "scarpe"

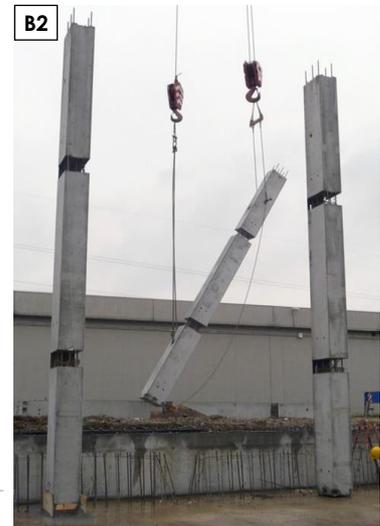
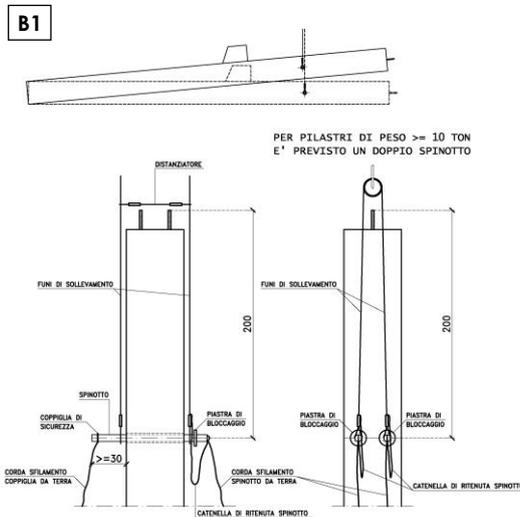


A. Preparazione della sede di posa

Si asporta la dima di posizionamento dei tirafondi lasciando i dadi e le rondelle inferiori per la posa delle scarpe.

B. Movimentazione elemento

1. Aggancio: inserimento spinotto e coppie di sicurezza.
2. Sollevamento pilastro e verticalizzazione con l'eventuale ausilio del jib.
3. Posa pilastro sullo strato inferiore dei dadi e rondelle sui tirafondi; nella fase di discesa, il pilastro viene "guidato" dagli operatori in modo da coincidere con i tirafondi. In questa fase non si possono commettere errori di posizionamento in quanto le scarpe sono guidate direttamente dai tirafondi.
4. Messa a piombo e in quota: agendo direttamente sui dadi inferiori si ottiene agevolmente sia la quota voluta che la verticalità.



5. Bloccaggio di tutte le regolazioni.
6. Rilascio del carico, disinserimento coppiglia, sfilamento spinotto e sgancio.



C. Preparazione della connessione a terra

Si procede alla casseratura della zona di connessione, mediante listelli in legno, e alla sigillatura dei bordi con schiuma poliuretanic, in modo da impedire la fuoriuscita della malta impiegata per la connessione.

2.3.2 Fasi di montaggio a secco con la morfologia senza "scarpe"

A. Preparazione della sede di posa



All'interno delle chiamate disposte in precedenza dall'impresa, viene collocata una piastrina in acciaio, in posizione centrale rispetto alla sezione di contatto, di piccole dimensioni e spessorata, con altre piastrine di vario spessore, in modo tale che le mensole di piano risultino alla quota corretta. La piastrina assolve alla fondamentale funzione di mantenere sollevato il pilastro dalla fondazione in modo da permettere la connessione alla stessa mediante la malta. La manovra di montaggio qui rappresentata è la stessa anche nel caso che i ferri d'attesa fuoriescano dall'intradosso del pilastro e le guaine corrugate siano posizionate in fondazione.

B. Movimentazione elemento

1. Aggancio: inserimento spinotto e coppiglie di sicurezza.
2. Sollevamento pilastro e verticalizzazione con l'eventuale ausilio del jib.
3. Posa Pilastro sulle piastrine e posizionamento in corrispondenza delle chiamate: il pilastro viene "guidato" dai ferri d'attesa con la tolleranza data dai diametri delle guaine. In questa fase è di fondamentale importanza la precisione impiegata nella esecuzione delle chiamate con tolleranza di +/- 2 cm.
4. Fissaggio dei puntelli tira-spingi: i puntelli vengono fissati stabilmente al pilastro, sulle boccole predisposte su due lati ortogonali, ed alla fondazione, mediante tasselli.
5. Messa a piombo: con l'ausilio di una stadia munita di bolla di livello (oppure con un filo a piombo fissato alla sommità di una lunga asta), agendo sulla regolazione in lunghezza dei puntelli, l'elemento viene portato in posizione verticale.
6. Rilascio del carico, disinserimento coppiglia, sfilamento spinotto e sgancio.

C. Preparazione della connessione a terra

Si procede alla casseratura della zona di connessione, mediante listelli in legno, e alla sigillatura dei bordi con schiuma poliuretanic, in modo da impedire la fuoriuscita della malta impiegata per la connessione.



2.4 Getto integrativo: comportamento e caratteristiche del calcestruzzo nei nodi

2.4.1 Fondazione



I. Connessione in fondazione

Nel caso di pilastri che prevedono alla base solo “scarpe” di connessione, il montaggio si completa con il serraggio definitivo dei bulloni dei tirafondi e con il getto della malta di intasamento tra fondo del pilastro e fondazione, dopo il posizionamento di opportune staffe di confinamento come indicato nella Fig. 11.

Nel caso in cui il pilastro preveda ulteriori barre di ripresa, che trovano riscontro in guaine corrugate predisposte al suo interno, si deve procedere al getto della malta all'interno delle guaine stesse fino a rifiuto.

Le malte impiegate per questa fase, presentano caratteristiche (controllate e certificate) di elevata resistenza a compressione, notevole fluidità ed adesione, con assenza di fenomeni di ritiro.

Fig. 33 – Getto integrativo in fondazione

2.4.2 Piani intermedi

Un punto cui prestare attenzione, del sistema a NUS, riguarda il rapporto fra la classe di resistenza del calcestruzzo del pilastro prefabbricato ed il calcestruzzo impiegato per i getti di completamento di piano.

In corrispondenza della sezione completata con i getti in opera si deve procedere alle verifiche locali del pilastro utilizzando la classe di resistenza inferiore, cioè normalmente quella dei getti di completamento eseguiti in opera, con conseguente penalizzazione delle prestazioni.

Questo aspetto si manifesta ad esempio in corrispondenza di nodi non completamente confinati di pilastri perimetrali mentre per pilastri interni, con nodi completamente confinati, si può utilizzare l'incremento di resistenza a compressione del calcestruzzo di completamento, incremento che, in alcuni casi, può comportare il raggiungimento della stessa classe di resistenza del pilastro prefabbricato.

3. CONCLUSIONI

Con il Sistema PREM a NUS si è chiusa la distanza fra il getto in opera e la prefabbricazione integrale. Oggi non c'è più soluzione di continuità fra questi due estremi.

Il Progettista e l'impresa, quindi, devono solo individuare con maggiore precisione la soluzione che più si presta alle esigenze del proprio cantiere perché la scelta non è più così facile come ai tempi del tutto bianco o tutto nero: oggi la tecnologia ed il mercato hanno reso disponibile tutta la scala completa dei grigi.

Ing. Livio Izzo
Past President Assoprem

