

## L'Approfondimento

La Redazione ■

Il secondo appuntamento di questa rubrica, inaugurata nel precedente numero, è dedicato all'articolo "Proposta di un metodo di progetto di plinti a bicchiere", pubblicato su PS n. 2-2010 e incentrato sulla descrizione di un possibile metodo di progetto alternativo, basato su prove sperimentali di sistemi pilastro-plinto sollecitati a pressoflessione, per il dimensionamento dei plinti a bicchiere in c.a.

Ciò che ha spinto gli autori ad intraprendere il lavoro di sperimentazione e successivamente di elaborazione numerica e sviluppo di uno specifico metodo di progetto, è una duplice esigenza: da una parte le scarse informazioni a livello di normativa e di ricerca, ed in particolar modo le incertezze legate alla conservatività dei metodi presenti in letteratura, per il dimensionamento di plinti prefabbricati in zona sismica, dall'altra parte i particolari requisiti che deve possedere un plinto in zone ad elevata sismicità, che si possono discostare sensibilmente rispetto al caso statico.

In tali condizioni, infatti, le azioni di progetto sono caratterizzate da carichi assiali non necessariamente elevati, ma con grandi eccentricità, tali per cui le dimensioni in pianta della suola, così come lo spessore dei setti, potrebbero essere notevolmente più grandi rispetto a quelle massime previste dalla cassaforma disponibile. Non è raro, quindi, che tali plinti vengano realizzati parzialmente prefabbricati, se non interamente in opera (non a caso il titolo dell'articolo non contiene il termine "prefabbricati"). Nel pianificare il lavoro, gli autori si ponevano anche domande specifiche riguardanti "la lunghezza ottimale di infissione del pilastro ed il reale livello di monoliticità della connessione pilastro-plinto, l'effettiva incidenza dell'attrito pilastro-pozzetto sul dimensionamento del sistema [...], le ripercussioni progettuali della classificazione nell'ambito delle connessioni di strutture prefabbricate a telaio secondo l'attuale normativa (NTC 2008)".

Il metodo di progetto descritto si basa fondamentalmente su due ipotesi: la prima riguarda il fatto che i vari meccanismi di rottura possano essere rappresentati, in via semplificata, mediante meccanismi equivalenti tirante-puntone (impostazione comune ad altri metodi, nonostante Leonhardt, già negli anni '70 smentì la formazione del singolo puntone almeno nelle pareti laterali del bicchiere per quanto riguarda

la verifica a flessione); la seconda è che il plinto sia progettato per rispondere elasticamente, imponendo che la zona dove sono concentrate le non-linearità (cerniera plastica) si sviluppi nel pilastro a partire dall'attaccatura del colletto del bicchiere.

È bene precisare che fino ad ora il metodo proposto non ha assunto una valenza tale da essere riconosciuto come strumento di progetto di riferimento. Resta comunque un metodo basato sull'evidenza sperimentale, che potrebbe essere raffinato e reso meno conservativo qualora fosse possibile effettuare un numero ulteriormente maggiore di prove sperimentali, in modo tale da poter essere presentato in forma ancora più affidabile ed efficace.

Un'ulteriore precisazione riguarda il fatto che negli ultimi anni si sono maggiormente diffusi soluzioni di collegamento pilastro-fondazione alternativi, in cui il pilastro è direttamente vincolato alla fondazione senza l'utilizzo del plinto a bicchiere. Considerando che in casi ad alta sismicità il plinto può assumere dimensioni non compatibili con la cassaforma disponibile, l'opzione "soluzione diretta" rappresenta una valida soluzione alternativa in grado di soppiantare, in alcuni casi, l'utilizzo del plinto a bicchiere.

Nel seguito raggruppiamo per argomenti le domande giunte in redazione, in modo tale da impostare le risposte in modo discorsivo.

**Presenza di pavimento industriale** – Una particolare attenzione riguardante il ruolo svolto dal pavimento industriale è sorta soprattutto in seguito agli eventi sismici che hanno colpito l'Emilia nel maggio del 2012 danneggiando numerosi capannoni prefabbricati.

È pratica comune dimensionare il plinto assumendo, in via semplificata, l'ipotesi di incastro tra il pilastro ed il colletto del bicchiere e quindi fare riferimento ad una distribuzione lineare del momento con valore massimo al colletto ed una distribuzione pressoché costante per l'azione di taglio. Qualora, però, fosse presente una soletta i cui effetti non fossero trascurabili, le problematiche di progetto possono riguardare tanto il pilastro quanto il plinto, potenzialmente condizionando la distribuzione ed il valore delle azioni di progetto.

Ipotizziamo, per esempio, che la soletta indu-

striale sia sufficientemente rigida e vincolata opportunamente al pilastro, tanto da essere in grado di trasmettere l'azione di momento flettente. In questo caso, apparentemente ed in linea del tutto teorica, le sollecitazioni alla base verrebbero assorbite interamente dalla soletta. Ipotizziamo ora che l'incastro pilastro-pavimento non sia perfetto: il momento flettente verrebbe trasferito anche al plinto con un valore leggermente ridotto, mentre l'azione di taglio sarebbe notevolmente incrementata. La situazione più realistica probabilmente è una via intermedia tra le due e per tale motivo andrebbe assicurato in ogni caso un buon collegamento fra il pilastro ed il plinto di fondazione.

**Livello di conservatività** – Le problematiche legate al livello di conservatività dei metodi esistenti è in generale piuttosto sentito dai progettisti, in particolar modo quando affrontano dimensionamenti in zone sismiche di elevata intensità o, comunque, quando le azioni di progetto sono caratterizzate da un'eccentricità considerevole. In generale questi metodi sono semplificati, per cui è lecito attendersi un livello di conservatività abbastanza elevato, quindi anche quello presentato nell'articolo in esame non sfugge a questa regola, ma ha il vantaggio di essere pensato per l'azione concomitante lungo le due direzioni ortogonali in piano.

**Verifica del setto posteriore del bicchiere** – In altri metodi la verifica del setto posteriore, a causa dell'importanza di questa verifica, è particolarmente restrittiva, tanto da richiedere un notevole quantitativo di armatura verticale nel setto stesso. Nel metodo proposto, tale verifica è basata sul soddisfacimento di un requisito apparentemente poco stringente, vale a dire l'area dell'armatura verticale distribuita nel setto ( $A_{w,s}$ ) deve essere almeno uguale a quella dell'armatura negli spigoli ( $A_{w,s}$ ). Effettivamente la verifica, posta in questi termini, rappresenta la parte meno conservativa dell'intero metodo, soprattutto se si pensa che dal punto di vista formale delle ipotesi iniziali assunte per il modello numerico non si fa riferimento all'attrito. Nella realtà, se il riempimento fra pilastro e plinto è di buona qualità e realizzato a regola d'arte, l'effetto dell'attrito contribuisce a ridurre le azioni di pro-

getto (si veda a questo proposito il lavoro di Osanai et al (1996), in cui tale effetto è quantificato) e quindi a soddisfare più facilmente questa verifica.

**Ulteriori dettagli sulle formule proposte** – Nel caso della verifica del *puntone compresso del setto frontale* del bicchiere, la variabile  $h$  (Equazione 23) rappresenta metà dell'altezza del bicchiere stesso, misurata internamente al pozzetto. Per quanto riguarda l'azione totale sul puntone, agente assialmente lungo il puntone stesso, occorre tenere presente che essa è calcolata tenendo conto della contemporaneità delle azioni  $F_{1,x}$  e  $F_{1,y}$  lungo le due direzioni ortogonali  $x$  e  $y$  e del fatto che il plinto possa essere rettangolare e non quadrato.

Un altro quesito posto relativamente alla verifica del puntone compresso del setto laterale del bicchiere riguarda il significato di  $h_0$  nell'equazione 26. Poiché tale variabile è inserita in una formula semplificata in modo tale da non dover necessariamente calcolare lo spessore  $c_0$ , i due cateti con cui determinare l'inclinazione del puntone sono:  $(A + 2t)$  e  $(H)$ . Se si volesse essere precisi, invece, tali cateti diventano:  $(A + 3/2t)$  e  $(H - 1/4h + c_0)$  (Figura 20).

Per quanto riguarda il dimensionamento dell'*armatura verticale negli spigoli*, l'altezza di riferimento è  $H_0 - 1/4h$ , vale a dire l'altezza del plinto meno  $1/4$  dell'altezza di inghisaggio. Questa scelta conservativa è stata adottata in via semplificata per evitare al progettista il calcolo di  $c_0$ . Nel caso si preferisca calcolare  $c_0$ , invece, è appropriata la formula in cui l'altezza di riferimento è pari a  $3/4h + c_0$ .

Relativamente alla *determinazione delle azioni di progetto*, infine, è da tener presente che nel caso delle fondazioni, il §7.4.4 delle NTC2008 rimanda al § 7.2.5 ("Requisiti strutturali degli elementi di fondazione"), dove tali azioni sono calcolate in base alla resistenza degli elementi in elevazione, ma con una limitazione ( $\gamma_{RD}$  volte l'azione di progetto, oppure azione discendente da un'analisi con fattore di struttura  $q = 1$ , se quest'ultima risulta essere minore). Per la verifica dei collegamenti, invece, il riferimento per la determinazione delle azioni di progetto nel caso di strutture intelaiate è rappresentato dal §7.4.5.2.1.

## Bibliografia

Leonhardt F. (1977) - C.a. & c.a.p. calcolo di progetto e tecniche costruttive - L'armatura nelle costruzioni in cemento armato, Vol. III, Edizioni Tecniche ET, Milano, 1977.

Osanai Y., Watanabe F., Okamoto S. (1996) - Stress Transfer Mechanism of Socket Base Connections with Precast Concrete Columns", *ACI Structural Journal*, V.93, No. 3, May-June 1996.