

UNA CAMPAGNA SPERIMENTALE SULLA RISPOSTA SISMICA DI COLLEGAMENTI A SECCO TRA PILASTRO E FONDAZIONE IN C.A.

**Lorenzo Jurina¹, Aristidis Iliopoulos², Lorenzo Bianco³,
Sergio Montenovo³, Edoardo O. Radaelli⁴**

1 Dipartimento A.B.C. Politecnico di Milano, Professore Associato

2 Peikko Group Corporation

3 Peikko Italy

4 Dipartimento A.B.C. Politecnico di Milano, Assegnista di Ricerca

SOMMARIO

La risposta ciclica di una sistema di connessione “a secco” tra un pilastro prefabbricato in c.a. e un plinto di fondazione, mediante scarpe in acciaio e tirafondi, è l’oggetto della sperimentazione che viene analizzata nella presente memoria. Il comportamento d’isteresi ed il meccanismo globale di fessurazione della connessione sono stati studiati attraverso alcuni campioni in scala reale. A tali campioni sono stati applicati un carico assiale, costante, e un carico orizzontale applicato in sommità della colonna, al fine di ottenere prove cicliche quasi-statiche. Questo documento si riferisce all’attuale attività di ricerca di Peikko Group Corporation approntata presso i laboratori del Politecnico di Milano, Italia.

AN EXPERIMENTAL CAMPAIGN ON THE SEISMIC RESPONSE OF BOLTED PRECAST COLUMN CONNECTED TO FOUNDATION

SUMMARY

The cyclic response of a column - foundation connection system, with steel shoes embedded into the column base and protruding steel bolts anchored into the foundation, is experimentally examined in this paper. The hysteretic behaviour and the global failure mechanism of the connections are studied through full scale specimens subjected to a constant axial load and a quasi-static cyclic horizontal top displacement history at increasing drift levels. This paper refers to the on going research activities of Peikko Group Corporation in the laboratories of Politecnico di Milano, Italy.

1. INTRODUZIONE

Negli ultimi due decenni la ricerca ha conseguito ragguardevoli progressi in termini di prevenzione e protezione delle strutture dagli eventi sismici, allo scopo di ottemperare alle prescrizioni imposte dai vari codici di riferimento [1], [2], [3], [4], [5].

L’obiettivo principale delle vigenti normative di progettazione sismica è la protezione da rischi sismici attraverso l’applicazione del noto criterio denominato “Performance Based Design”, ed in particolare il controllo dei livelli accettabili di danno ad ogni Stato Limite considerato.

Il sistema costruttivo prefabbricato offre molti potenziali vantaggi rispetto alle strutture gettate in opera, prima tra tutte la rapidità d’esecuzione dell’opera, non trascurando inoltre le elevate prestazioni tecniche dei materiali impiegati e le certificazioni di qualità del progetto che da esse derivano. Nel

caso delle strutture prefabbricate, le attuali norme sismiche identificano nella connessione l’elemento debole, richiedendo dettagliati requisiti prestazionali in termini di resistenza, rigidità e duttilità. Un particolare sistema di giunzione generalmente conosciuto come “connessione Peikko”, è proprio l’oggetto di questa campagna di ricerca. [11], [13].

I carichi sono trasmessi dalla colonna alla fondazione attraverso un sistema di componenti in acciaio annegati nella fondazione (Tirafondi) e nel pilastro (Scarpe per Pilastr). Questi due elementi sono connessi tra loro attraverso semplici accorgimenti. Più precisamente, quattro o più scarpe in acciaio sono inserite nel getto in calcestruzzo armato del pilastro prefabbricato e vengono connesse alla fondazione tramite un sistema di barre fuoriuscenti dalla fondazione, le quali sono dotate di filettatura e possono essere serrate mediante rondelle e dadi. I dadi inferiori permettono di controllare la messa a piombo e l’altimetria o la quota di posa del pilastro da

montare. Tra pilastro e fondazione si genera una intercapedine che viene riempita con malta cementizia ad alta resistenza e anti-ritiro, per assicurare il ripristino della sezione reagente.

Il trasferimento delle tensioni della scarpa d'acciaio all'armatura corrente del pilastro viene assicurata da due barre longitudinali, ad aderenza migliorata, saldate alla piastra di coronamento della stessa ed in sovrapposizione alla gabbia d'armatura della colonna. (Figura 1).

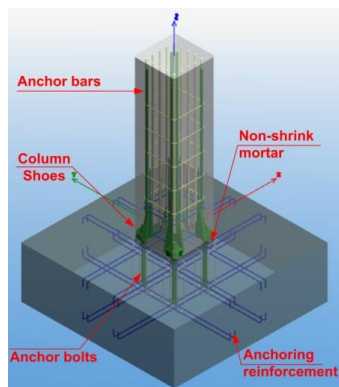


Figura 1 – Il concept delle scarpe di connessione Peikko

La risposta sismica delle connessioni Peikko è principalmente dipendente da componenti deboli, ossia i tirafondi, progettati e dimensionati per poter agire come connettori duttili.

Le connessioni Peikko sono state sottoposte a diversi test sperimentali [9], [14] allo scopo di individuare la corretta risposta sismica in termini di duttilità, energia dissipata e valutare la possibile perdita prestazionale.

2. INDAGINE SPERIMENTALE PRESSO EUCENTRE, ITALIA, 2009

Una campagna di sperimentazione riguardante le connessioni "a secco" nelle strutture prefabbricate in calcestruzzo è stata recentemente condotta da Peikko Group Corporation.

Nell'anno 2009 sono stati condotti diversi test ciclici presso la fondazione Eucentre, impiegando colonne prefabbricate aventi altezza utile di 2.15m ed una sezione trasversale di 40x40 cm².

I test hanno dimostrato una soddisfacente risposta sismica con complessivo fattore di duttilità maggiore di 5, nonché una trascurabile diminuzione di resistenza relativa ad una deformazione del 4.8%. [9].

3. INDAGINE SPERIMENTALE PRESSO POLITECNICO DI MILANO, ITALIA, 2013

3.1 Configurazione dei test

Peikko Group Corporation ha avviato una nuova campagna sperimentale nel 2013, ancora in corso, presso il Politecnico di Milano.

Essa consiste nella prova di 9 elementi, introducendo in ognuno di essi, alcune soluzioni innovative e migliorative nella connessione del sistema.

Le principali caratteristiche dei campioni sono le seguenti:

- campione: colonna prefabbricata di altezza utile di 2150mm con sezione reagente di 40x40 cm², costante per tutti i test, con quattro scarpe in acciaio HPKM 30 [13]

poste al piede del pilastro e quattro tirafondi HPM30L [11] nella fondazione avente dimensioni 150x150x60 cm³

- giunto: con uno spessore di 50 mm;
- materiali: calcestruzzo armato classe C35/45 sia per la fondazione che per la colonna, Mapefill F [12] per il getto di completamento dell'intercapedine di base e acciaio B500C per l'armatura longitudinale corrente.
- carico assiale: un carico di 400kN è stato applicato in sommità. Esso rappresenta un rapporto di compressione pari al 10% (ottenuto dalla formula $N/(A_c \cdot f_{cd})$), laddove N rappresenta il carico assiale, f_{cd} la resistenza a compressione di progetto del calcestruzzo e A_c l'area della sezione trasversale.

La Figura 2 mostra la configurazione del primo test con quattro HPKM30 ed i corrispondenti HPM30L, tirafondi corti. La malta d'inghisaggio del giunto di completamento è armata con una rete $\Phi 6/85$ con lo scopo di imporre un effetto di confinamento. La fondazione è stata armata con $\Phi 14/100$.

I tirafondi sono confinati con staffe calcolate ottemperando alle indicazioni delle norme CEN/TS 1992-4-1-2 [6] in tal modo è stato possibile annullare gli effetti di pull-out.

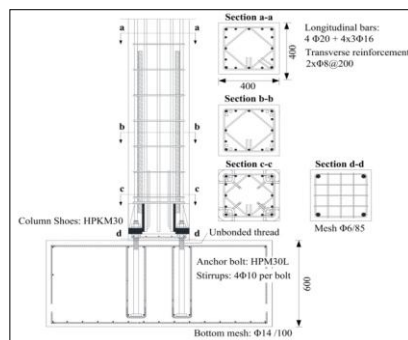


Figura 2 – Configurazione del 1° test al Politecnico di Milano e dettaglio della fondazione

Si riporta in Tabella 1 lo sviluppo delle resistenze per il calcestruzzo C35/45 e relative malta d'inghisaggio..

Tabella 1 – Resistenze a compressione del calcestruzzo e della malta impiegati

Elemento	Maturazione [gg]	Resistenza compress. [MPa]
Fondazione	28	66.6
Colonna	28	67.8
Malta	3	67.8

Il percorso di carico applicato nelle fasi sperimentali contempla tre cicli completi di spostamento orizzontale [3] per

ogni deformazione applicata agendo in sommità della colonna, come mostrato in tabella 2.

Deformate maggiori del 4.8% non sono da considerarsi indicative ai fini della comprensione del fenomeno, ma nonostante ciò saranno comunque presi in considerazione maggiori ed elevati valori durante i prossimi test.

Tabella 2 - Drift e spostamenti raggiunti in sommità della colonna

Drift	Spostamento in sommità [mm]
± 0.4%	± 8.20
± 0.8%	± 16.40
± 1.20%	± 24.60
± 2.40%	± 49.20
± 3.60%	± 73.80
± 4.80%	± 98.4

3.2 Risultati sperimentali

Le curve d'isteresi ottenute nei test 1 e 6 sono documentate in Figura 3; dai risultati si può concludere che:

- La connessione dimostra una stabile e consolidata capacità sismica, molto simile a quella ottenuta nei test del 2009 [9].
- Comparando il massimo carico assiale con il proprio valore di progetto, è stato misurato che la connessione possiede una sovrarresistenza approssimativamente uguale al 50%.
- Lo spostamento duttile si attesta su soddisfacenti livelli con valore approssimato pari a 5.

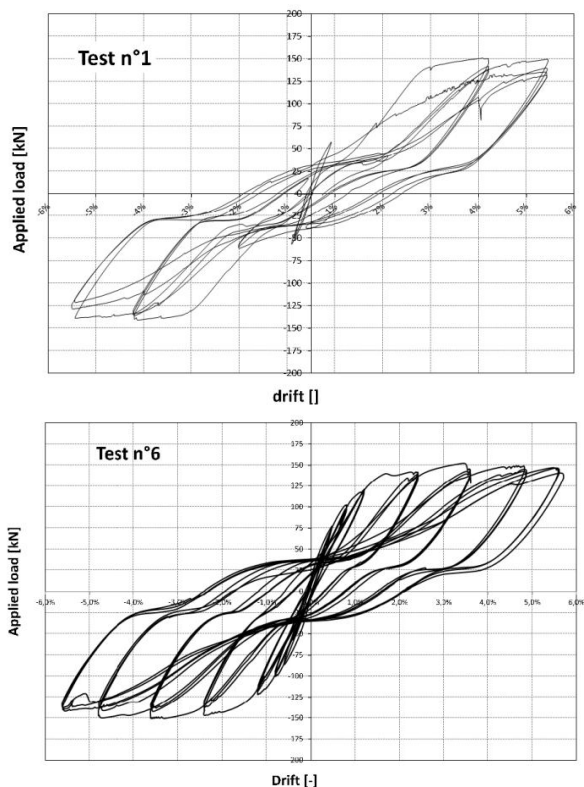


Figura 3 – Curve di isteresi per i test n°1 e n°6

Il quadro fessurativo per differenti valori di deformazione, è visibile in Figura 4.

Alla deformazione iniziale pari allo **0.4%** la connessione rimane elastica.

Per un valore dello **0.8%** appaiono fessure capillari al di sopra degli angoli di ogni singola scarpa in acciaio.

Per il seguente valore dell'**1.2%** si sono manifestate fessure isolate in prossimità della superficie laterale della scarpa, così come sui lati di confine della malta. La connessione rimane in una condizione semi-elastica dal momento in cui ci si aspettava, per questo valore di deformazione, lo snervamento dei tirafondi, puntualmente iniziato. Si rammenta che il valore di “Drift” corrispondente al **1.2%** rappresenta il limite di deformazione ammissibile per la maggior parte delle normative di progettazione di edifici in zona sismica.

Per la deformazione pari al **2.4%** si sono generate fessure a flessione, a passo 10 cm, per una zona estesa di 70cm; tale plasticizzazione indica una effettiva collaborazione strutturale tra scarpe in acciaio e zona critica della colonna esaminata.

Per la deformazione corrispondente al **3.6%** si è manifestato un incremento della larghezza delle fessure con conseguente espulsione sia della porzione di calcestruzzo sovrastante le scarpe poste in posizione d'angolo, sia della porzione di malta d'inghisaggio non opportunamente confinata ed armata.

Durante i tre cicli dell'ultima deformazione al **4.8%** si sono verificati fenomeni di espulsione del conglomerato cementizio su ognuna delle parti in sommità della singola scarpa.

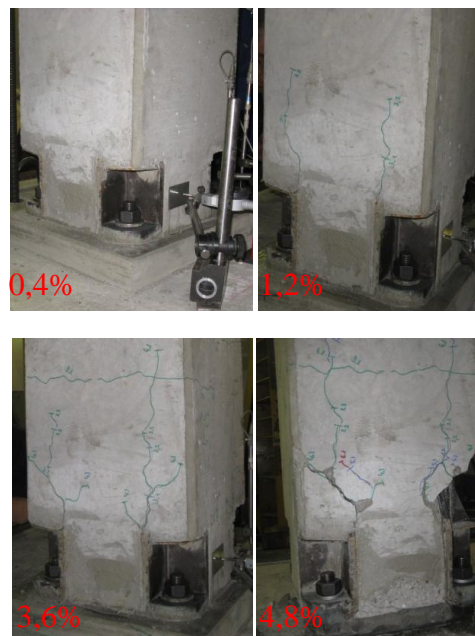


Figura 4 – Quadro fessurativo per differenti valori di drift (test 1)

A seguito del raggiungimento della deformazione finale corrispondente al “Drift” del **4.8%**, i tirafondi sono stati post-tesi nuovamente, prima raggiungendo il serraggio a rifiuto, poi applicando una rotazione controllata di 360° al dado di sommità; dopodiché si è proceduto nuovamente alla prova ciclica applicando una deformazione ulteriore pari al **4.6%**.

Il giunto danneggiato è stato capace di dimostrare ancora una sovrarresistenza finale maggiore del 15%.

Dopo lo smontaggio della colonna ed il sollevamento dal basamento, è stato possibile osservare le porzioni di contatto completamente esposte.

I tirafondi sono apparsi in altrettanta eccellente condizione, in assenza completa di fessurazione o deformazione della filettatura.

Come previsto, le scarpe, componente più resistente della connessione, sono rimaste intatte. Nonostante le difficili condizioni di prova, messe in opera durante i test, il giunto (parzialmente riparato) applicando solo una nuova coppia torcente, ha riguadagnato nuovamente capacità resistente, mantenendo comunque un fattore di sicurezza pari ad 1.15.

3.3 Sviluppi futuri

Durante questa campagna di ricerca, si andranno a testare nuove soluzioni, implementando l'indagine sulla connessione bullonata.

Lo scopo è ricercare ed incrementare la duttilità della connessione, accrescendo l'energia dissipata, quando la colonna è soggetta ad una sollecitazione sismica orizzontale.

In Figura 5 sono evidenziati i risultati ottenuti durante i test sperimentali.

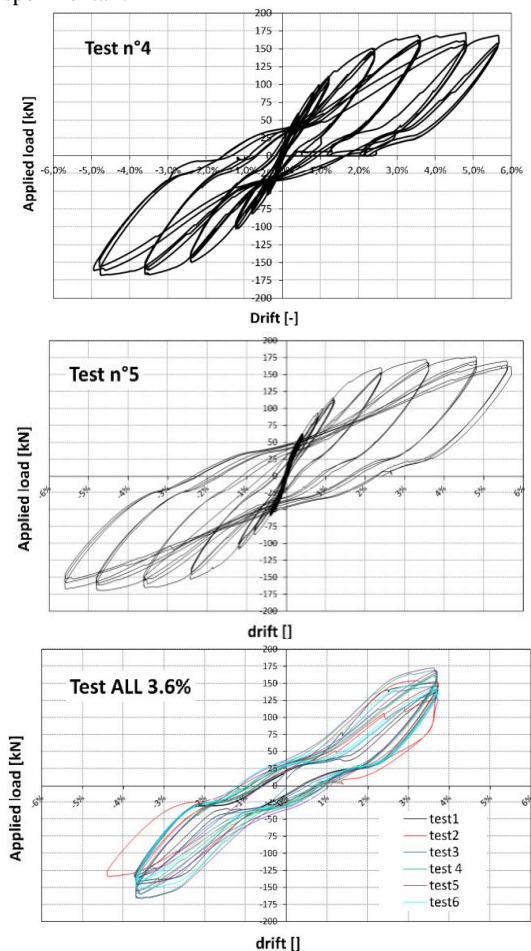


Figure 5 – Curve di isteresi per i test n°4 e n°5 e confronto tra i test da 1 a 6 per drift pari a 3.6%

4. NOTE CONCLUSIVE

La risposta ciclica di un sistema di connessione “a secco” tra pilastro e fondazione è stata oggetto di ricerca sperimentale, attraverso un percorso di studio che prevede l'esecuzione di 9 test, impiegando provini in scala reale. Il lavoro di ricerca è stato indirizzato alla valutazione della capacità del sistema di resistere ai carichi sismici.

I risultati sperimentali ottenuti evidenziano valori di forza ed un livello di duttilità tali da rendere il sistema di connessione capace di resistere ad azioni sismiche, ottemperando nel contempo alle prescrizioni da normativa [3].

La perdita di resistenza non è particolarmente evidente sino ad uno spostamento duttile pari al 5%. In tutti i casi la forza della connessione rimane comunque molto più alta rispetto a quella di progetto.

I componenti strutturali della connessione bullonata, rimanendo, dopo l'esecuzione dei test, in una condizione di riutilizzo, guadagnano nuovamente resistenza, solo applicando nuovamente una post-tensione.

5. BIBLIOGRAFIA

- [1] ACI (American Concrete Institute) – (2004), Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-05) and Commentary (ACI 318R-05).
- [2] AIJ (Architectural Institute of Japan) – (2000), Japanese Guidelines for Precast Construction of Equivalent Monolithic Reinforced Concrete Buildings, Tokyo.
- [3] CEN (European Committee for Standardisation) – (2004), Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance - Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings, EN 1998-1.
- [4] Standards New Zealand – (1995), Concrete Structures Standard, NZS 3101:1995, Wellington, New Zealand.
- [5] Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni – (2008), D.M. 14/02/2008, Italia.
- [6] CEN/TS 1992-4 – (2009), Design of fastenings for use in concrete.
- [7] Acceptance criteria for ductile connectors in precast concrete special moment resisting frames- (1995), ICBO Evaluation service, Inc.
- [8] Vimmr V., Sharif Z. – (2011), Fixing of precast concrete columns to foundations, *fib Symposium*, Session 2B-9: Construction Technology, 607-610, Prague.
- [9] Bianco L., Santagati S., Bolognini D. and Nascimbene R. – (2009), Seismic response of columns connected to the foundation through a fastening technique, *Peikko News*, N. 1, 13-20.
- [10] Peikko Group Corporation – (2012), HPKM Column Shoe for bolted connections. Technical Manual.
- [11] Peikko Group Corporation – (2009), HPM and PPM bolts. Technical Manual.
- [12] Mapei – (2010), High performance mortar for anchoring and sealing, Mapefill F Technical Manual.
- [13] ETA-13/0603, Column shoe for connecting columns to concrete structures.
- [14] A. R. Garcia, J. L. Bonet, J. R. M. Vargas, J. N. G.: Behaviour of precast column-to-foundation connections under cyclic loading. 15th World Conference on Earthquake Engineering, Lisboa, Portugal, 2012