

FORZE O SPOSTAMENTI?

Filosofie alternative di progettazione sismica

di/by Stefano Pampanin

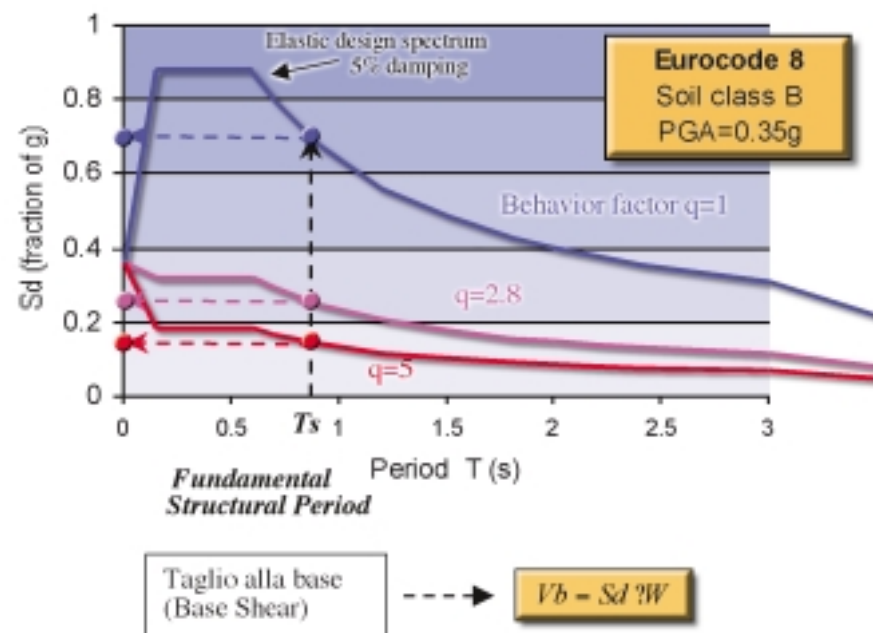
FORCES OR DISPLACEMENTS?

Alternative seismic design philosophies

This contribution concludes a series of articles on the seismic design of precast concrete buildings. A brief overview on recent developments, after extensive analytical-experimental research investigations, of efficient alternative solutions has been intended to be given within this series of contributions. The proposed solutions are expected to reevaluate the use and development of precast concrete in seismic region, which has been limited, to date, by the lack of rational code provisions and by low confidence about their performance due to the poor response observed in past earthquake events. In this issue, at conclusion of the topic, the design aspects will be addressed and the fundamental role of an adequate design approach, at both global and local level, will be underlined.

FORCE-BASED APPROACH

In the past decade important advances have been accomplished in the seismic protection of building structures due to the introduction and development of an alternative and innovative seismic design philosophy, which recognizes the primary role of displacements and deformations as fundamental index of the structural damage after a seismic event. On the other side, the limits



Con il seguente articolo si conclude la serie di contributi sulla progettazione sismica di edifici in cemento armato prefabbricato, nel corso della quale si è voluta dare una breve panoramica su recenti sviluppi, a seguito di una estesa campagna di ricerca analitico-sperimentale, di soluzioni alternative particolarmente efficienti in grado di rilanciare l'utilizzo del prefabbricato in zone sismiche, finora particolarmente penalizzato sia dalla mancanza di adeguate indicazioni nei codici progettuali sia da pregiudizi legati alle scadenti prestazioni nel corso di eventi sismici passati. In questo numero, a conclusione dell'argomento, si cureranno gli aspetti progettuali, evidenziando l'importanza di un corretto approccio progettuale sia a livello globale che di dettaglio.

APPROCCIO ALLE FORZE

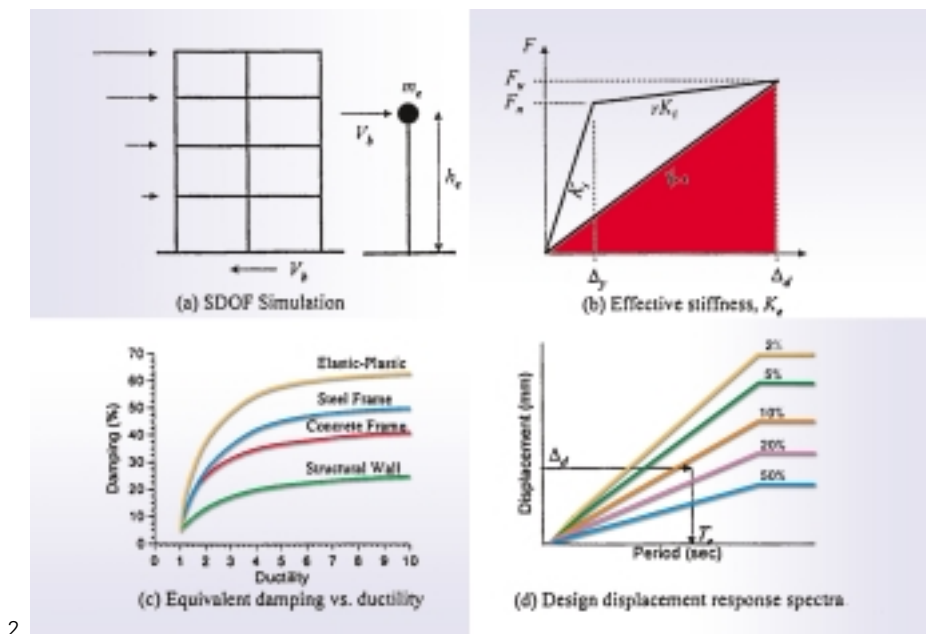
Nell'ultimo decennio si sono registrati notevoli progressi nella protezione sismica di edifici grazie all'introduzione e allo sviluppo di una filosofia di progettazione radicalmente alternativa ed innovativa, in grado di riconoscere il ruolo fondamentale degli spostamenti e delle deformazioni come indice primario del danneggiamento strutturale a seguito di un evento sismico. D'altra parte, i limiti di un approccio alle forze, comunemente adottato dai codici progettuali sono stati da tempo evidenziati e riconosciuti (Priestley, 1998). Come noto, secondo tale approccio il taglio alla base di progetto è, in sintesi, calcolato come prodotto della massa (o peso) dell'edificio per un'accelerazione (o frazione dell'accelerazione di gravità, espressa in g) valutata, a partire dalla rigidezza o periodo elastico della struttura, come ordinata di uno spettro elastico in accelerazione fornito da normativa. Per tener conto del comportamento non-lineare della struttura e delle sue presunte capacità dissipative, le ordinate spettrali sono quindi ridotte utilizzando un coefficiente di struttura q (o coefficiente di riduzione R) (Fig. 1). Tale procedura per il calcolo della forza orizzontale di progetto secondo un tipico approccio alle forze è schematicamente illustrata in Fig. 4a.

Proprio la sostanziale dipendenza del taglio alla base di progetto dalla stima della rigidezza iniziale (secante allo snervamento in un sistema equivalente elasto-plastico) rappresenta una delle maggiori fonti di errore: al variare di azione assiale e percentuale di armatura tale rigidezza non è una costante della sezione ma può subire variazioni sostanziali (dell'ordine del 300%), con dirette conseguenze sul grado di affidabilità (dunque sicurezza) delle scelte proget-

of a force-based design, typically adopted by current design codes, have been underlined and recognized (Priestley, 1998). As known, according to the latter approach, the design base shear is, in shorts, evaluated as product of the mass (or weight) of the building and a spectral acceleration (or fraction of gravity acceleration, in g). The spectral acceleration is given by the ordinate of an elastic acceleration spectrum, provided by codes, corresponding to an expected elastic structural stiffness or period. In order to take into account the in-elastic behavior of the structure as well as its expected energy dissipation capacity, the spectral ordinates are then reduced using a behavior factor q (or reduction factor R) (Fig.1). The typical procedure to evaluate the design base shear according to a force-based design approach is shown in Fig. 4a.

The high dependence of the resultant design base shear on the estimation of the initial stiffness (secant stiffness to the yielding point, in an equivalent elasto-plastic system) represents a major source of inaccuracy: when varying the axial load or the reinforcement ratio in a given section, the initial stiffness is not constant and might be subjected to substantial variations (in the order of 300%) affecting the reliability (thus safety) of the subsequent design choices.

The aforementioned limits of a force-based design are emphasized when dealing with precast concrete solutions alternative to the "emulation" of cast-in-place concrete approach (Priestley, 1996). First of all, the initial stiffness has a different conceptual meaning, since the post-elastic

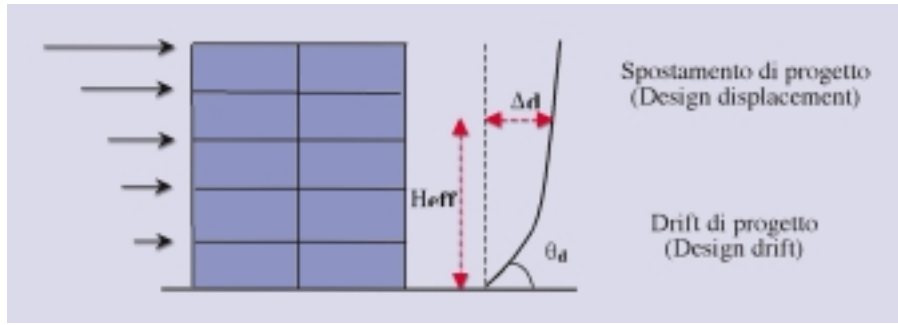


1 Metodo di progettazione alle forze.

Force-Based Design procedure.

2 Metodo di progettazione agli spostamenti.

Direct-Displacement-Based Design procedure (Priestley, 1998).



3

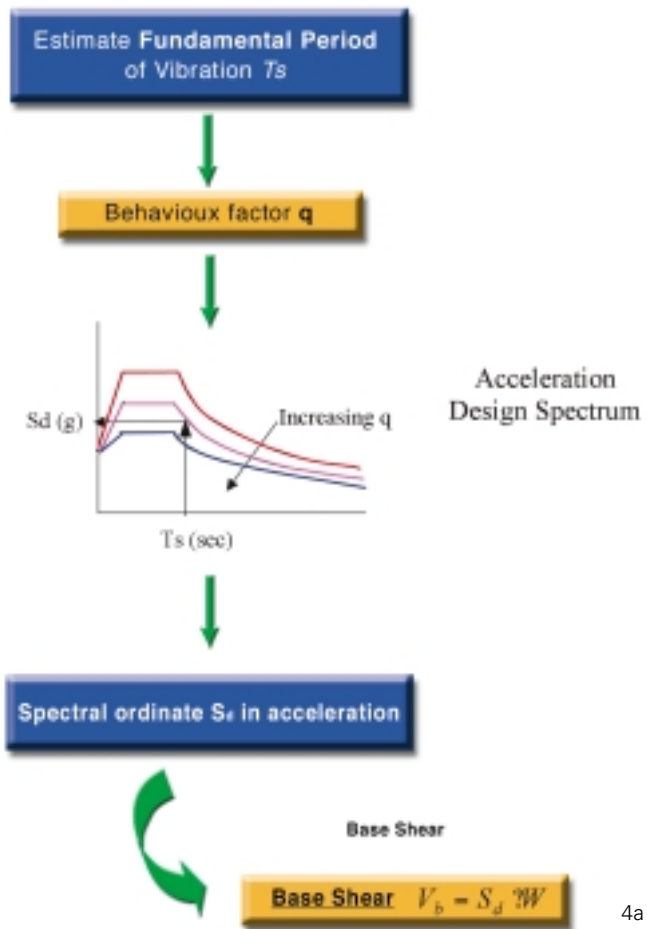
struttura meno conservativi (maggiori). A seguito dei risultati ottenuti dal progetto PRESSSS non solo si è avuta la possibilità di progettare e realizzare negli Stati Uniti sistemi in prefabbricato con connessioni di tipo innovativo in zone ad alta sismicità, ma sono anche previste importanti modifiche nelle prescrizioni normative dei principali codici di progettazione americani specificamente studiate per l'utilizzo del prefabbricato in zona sismica (Ghosh, 2001).

APPROCCIO AGLI SPOSTAMENTI

In una filosofia di progettazione basata sugli spostamenti (Fig. 2) lo spostamento/drift massimo accettabile è l'obiettivo primo e dunque il punto di partenza del metodo, piuttosto che un parametro di controllo secondario come avviene nel metodo alle forze.

Utilizzando spettri elastici in spostamento (invece che spettri in accelerazione) si entra nello spettro in corrispondenza dello spostamento di progetto (obiettivo) Dd (Fig. 3) e si valuta, in

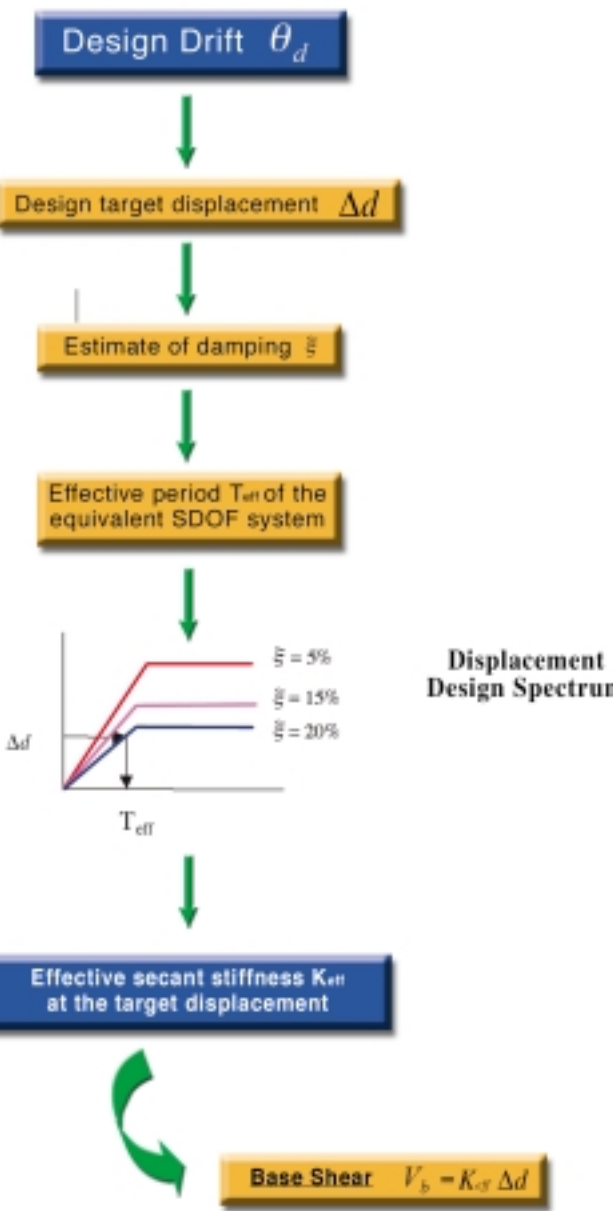
FBD PROCEDURE



4a

behavior is substantially different from equivalent monolithic solutions. Furthermore, the hysteresis characteristics of the hybrid connections, previously presented, are in general significantly different from the elasto-plastic rule (or stiffness degrading rule) typically adopted in the evaluation of the behaviour factors q (or reduction factor R) for ordinary (cast-in-place) reinforced concrete structures. Current design codes, in absence of specific analytical-experimental evidences, tend to suggest, for precast concrete structures in seismic

DBD PROCEDURE



4b

3
Drift e spostamento di progetto in una struttura a telaio.

Design drift and displacement in a frame system.

tuali che ne derivano. Inoltre, per analoghe ragioni, un metodo alle forze con controllo a posteriori degli spostamenti o drift (rapporto tra spostamento interpiano e altezza interpiano) massimi raggiunti, non fornisce garanzie che la struttura raggiunga effettivamente, per un diversa intensità dell'input sismico, il livello di danneggiamento desiderato, strettamente legato al raggiungimento di stati limiti di deformazione, a livello locale, e spostamento, a livello globale.

Tali limiti di un approccio alle forze in fase di progettazione sono aggravati nel caso di una struttura in cemento armato prefabbricato che non segua il principio di emulazione del c.a. tradizionale (Priestley, 1996). In primo luogo, il parametro rigidità iniziale ha un diverso ruolo concettuale, dal momento che il comportamento post-elastico differisce significativamente da equivalenti sistemi monolitici. Inoltre, le caratteristiche isteretiche delle connessioni di tipo duttile utilizzate sono in generale assai diverse dalla tipologia elasto-plastica (o con degrado di rigidità) comunemente adottata nella valutazione dei coefficienti di struttura q (o reduction factor R) per strutture in cemento armato ordinario.

I codici di progettazione, in assenza di specifiche evidenze analitico-sperimentali, tendono comunque a suggerire per sistemi in prefabbricato coefficienti di struttura di gran lunga inferiori rispetto a quelli consentiti per equivalenti sistemi in cemento armato gettato in opera. In Fig. 1 è indicata a titolo esemplificativo la riduzione delle ordinate spettrali (e dunque del taglio alla base di progetto) utilizzando il massimo coefficiente di struttura consentito dall'Eurocodice8 per una struttura a telaio in cemento armato gettato in opera (q= 5 per classe di duttilità alta, H) e quello suggerito, tramite una semplice appendice informativa, come massimo valore per strutture in prefabbricato con connessioni dissipative localizzate nelle zone critiche, i.e interfaccia trave-colonna (q= 2.8). Si noti però come, di fronte ad adeguate evidenze analitico-sperimentali, sia consentito l'utilizzo di coefficienti di

regions, behaviour factors much lower than those allowed for equivalent reinforced concrete systems. As an example, Fig. 1 shows the reduction of spectral ordinates (and thus of the design base shear) when adopting the highest behaviour factor allowed for cast-in-place reinforced concrete (q=5 for High ductility class) or suggested for precast concrete structures, through a simple informative appendix, with dissipative connections localized within critical sections (i.e beam-column interface). It should, however, be recalled that if adequate analytical-experimental evidences were provided, less conservative (higher) behavior factors would be allowed.

Thanks to the research results obtained by the PRESSSS program, new precast concrete structures comprising of the aforementioned innovative connection solutions have been already designed and constructed in the U.S. in high seismic areas and important ad hoc modifications for precast concrete are expected to be included in future versions of the U.S. seismic codes (Ghosh, 2001).

DISPLACEMENT-BASED APPROACH

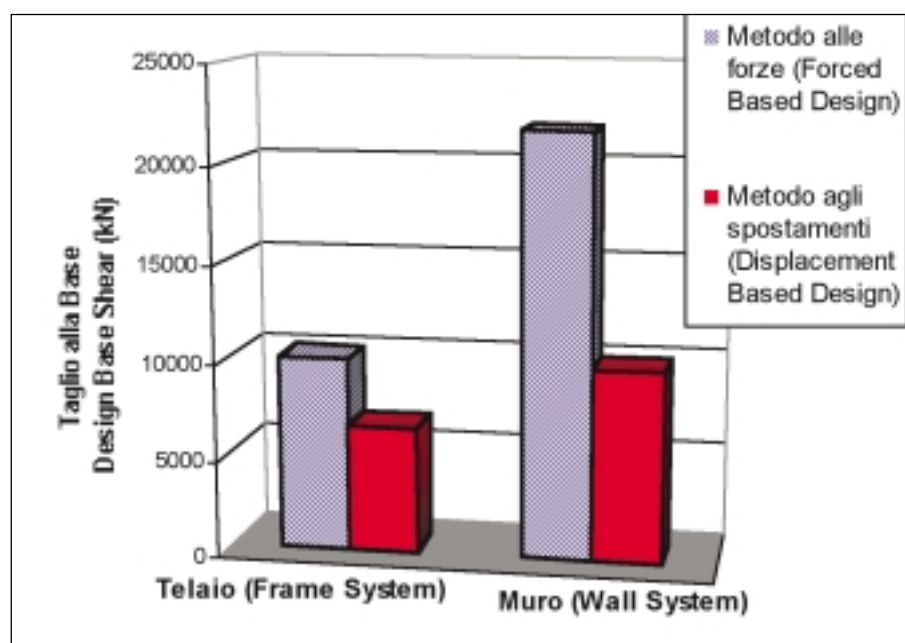
In a displacement-based design philosophy (Fig.2) the maximum accepted displacement/drift is the main objective (target) and, thus, the starting point of the procedure, rather than a secondary parameter to be checked a posteriori, as it happens in a force-based approach. Elastic displacement spectra (rather than acceleration spectra) are used. Entering the spectrum with the design target displacement Dd (Fig. 3) the effective period and, thus, the corresponding design effective stiffness are evaluated. This stiffness represents (as indicated in Fig. 2b) the secant stiffness to the target displacement (Fig. 2a) of a single-degree-of-freedom system equivalent to the original one (i.e. multistory frame or wall). The design base shear for the whole structure is then given by multiplying the secant stiffness and the target displacement:

Following this approach, a direct control of the structural response is guaranteed and different performance levels (i.e. limit states), when varying the intensity of the seismic input motion, can be achieved. It is worth noting that both the alternative design approaches (force-based or displacement-based) aim at evaluating, through different hypotheses and procedures, the design base shear to be applied to the structure before proportioning and detailing the structural elements.

Fig. 4 illustrates the two alternative design procedures. In both the approaches, in order to evaluate the design internal forces the resultant design base shear has to be appropriately distri-

4
Calcolo del taglio alla base di progetto secondo
a) metodo alle forze
b) metodo agli spostamenti.

Evaluation of design base shear according to
a) force-based design (FBD)
or
b) direct displacement-based design (DBD) procedures.



6

funzione del valore stimato di dissipazione energetica x (smorzamento viscoso equivalente, Fig. 2c), il periodo “effettivo” e dunque la rigidezza “effettiva” di progetto corrispondente. Tale rigidezza rappresenta (come indicato in Fig. 2b) la rigidezza secante allo spostamento di progetto per un sistema ad un grado di libertà equivalente (Fig.2a) al sistema di partenza (i.e. telaio o muro multipiano). Il taglio alla base di progetto per l'intera struttura sarà dunque dato dal prodotto della rigidezza secante per lo spostamento di progetto:

Tale rigidezza rappresenta (come indicato in Fig. 2b) la rigidezza secante allo spostamento di progetto per un sistema ad un grado di libertà equivalente (Fig.2a) al sistema di partenza (i.e. telaio o muro multipiano). Il taglio alla base di progetto per l'intera struttura sarà dunque dato dal prodotto della rigidezza secante per lo spostamento



5a



5b

di progetto:

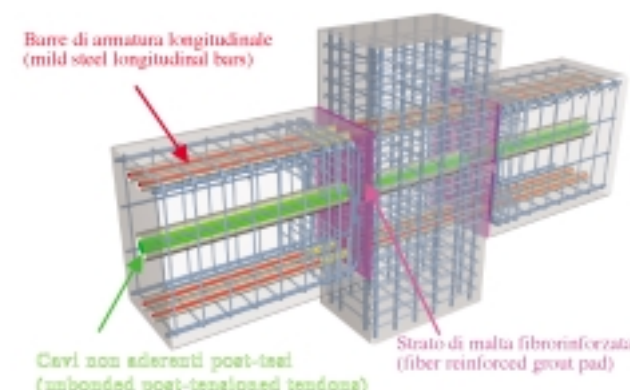
Seguendo tale approccio si può avere un controllo diretto sulla risposta della struttura ed imporre diversi livelli prestazionali (i.e. stati limite) al variare dell'intensità dell'evento sismico.

È importante sottolineare come i due metodi di progettazione alternativi (approccio alle forze o agli spostamenti) abbiano lo scopo di condurre, attraverso differenti ipotesi e procedure, alla valutazione del taglio alla base o forza orizzontale da applicare all'intera struttura per dimensionare gli elementi strutturali. In Fig. 4 sono mostrate le due procedure alternative di progetto. In entrambi i casi il taglio alla base risultante sarà dunque da distribuirsi in modo appropriato lungo l'altezza della struttura (e.g. secondo una distribuzione in accordo con il primo modo di vibrare o triangolare inversa, nel caso di masse costanti ai vari piani, come tipicamente suggerito dai codici progettuali) per calcolare le azioni interne di progetto. Il dimensionamento degli elementi strutturali dovrà quindi seguire il principio di gerarchia di resistenze in modo da evitare cinematismi di collasso inadeguati a livello globale (i.e. sistema a travi-forti/colonne-deboli con possibile formazione di meccanismi di piano debole, Fig. 5) o rotture di tipo fragile degli elementi strutturali (i.e. rottura a taglio).

La progettazione dell'edificio di cinque piani prefabbricato del progetto di ricerca PRESSS (di cui si è parlato nei numeri precedenti) è stata realizzata secondo una metodo diretto agli spostamenti per sostenere un massimo drift del 2% sotto l'effetto di un terremoto di progetto compatibile con le prescrizioni dell'UBC 1997 per Zona 4 (alta sismicità) e suolo di tipo medio (Sc). Come mostrato in Nakaki et al. 1999 (Fig. 6, valori riferiti all'edificio-prototipo), l'adozione di un approccio agli spostamenti in fase di progetto rispetto al tradizionale approccio alle forze ha consentito di ridurre significativamente il taglio alla base di progetto sia nel caso del sistema a telaio sia nel caso del sistema a muro a taglio. L'adozione di una corretta filosofia di progettazione di base, può dunque non solo garantire una migliore performance strutturale nel corso di un evento sismico ma anche consentire, fattore tutt'altro che trascurabile, una sensibile riduzione dei costi.

PROGETTAZIONE FLESSIBILE DI SISTEMI IBRIDI

Il concetto di un sistema ibrido (Fig. 7, esempio di connessione trave-colonna in un sistema a telaio) che combini proprietà di dissipazione energetica tramite snervamento dell'acciaio (nella forma di armature longitudinali, nel caso del



7

distributed over the height of the building (e.g. according to a first mode shape or inverse triangular distribution, in the case of constant floor mass, as typically suggested by the design codes). When proportioning the structural members, capacity design (hierarchy of strength) principles should be followed, so that the occurrence of inadequate global collapse mechanisms (i.e. weak-column/strong-beam systems with tendency to a soft-storey mechanism, Fig. 5) or brittle local failures (i.e. shear failure) can be avoided.

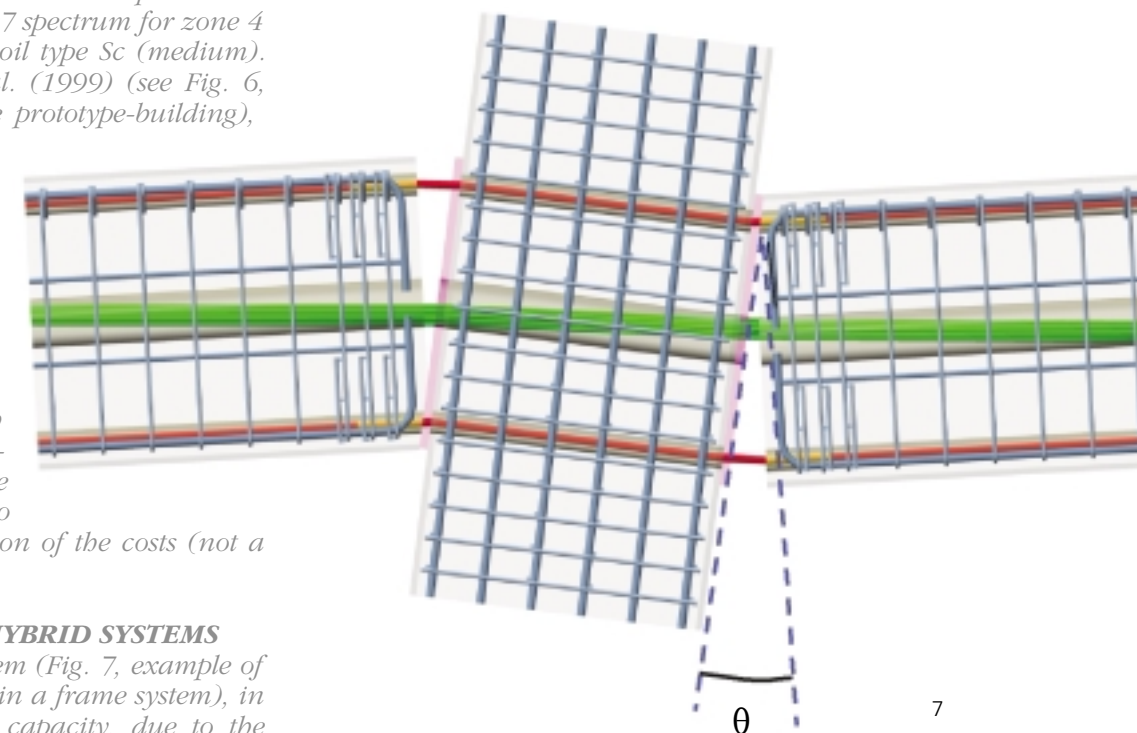
The seismic design of the PRESSS five-storey precast concrete building (presented in the previous issues) has been carried out according to a direct displacement-based design approach to sustain a maximum drift of 2% under an earthquake level compatible with the UBC 97 spectrum for zone 4 (high seismic area) and soil type Sc (medium). As shown by Nakaki et al. (1999) (see Fig. 6, values are referred to the prototype-building), the adoption of a displacement-based design approach, instead of a traditional force-based design approach, resulted to a significant reduction of the design base shear for both frame and wall systems. Not only can an adequate design approach guarantee higher structural performance during the seismic event, but can also lead to significant reduction of the costs (not a negligible issue).

FLEXIBLE DESIGN OF HYBRID SYSTEMS

The concept of hybrid system (Fig. 7, example of beam-column connection in a frame system), in which energy dissipation capacity, due to the

yielding of mild steel (in the form of longitudinal reinforcement, as in the frame system, or special energy dissipations, as in the wall system) are combined with self-centring properties and reduction of residual displacement (due to the presence of unbonded post-tensioned tendons) is particularly attractive for seismic design (Pampanin et al., 2000).

For a given design moment (moment-rotation monotonic behavior) in a critical section, the hysteretic characteristics can be alternatively modified by adequately combining the moment contributions of the unbonded post-tensioned (PT) tendons and of the mild steel /energy dissipators (Fig. 8). In the design and analysis phases, a combination of two rotational springs in parallel can be suggested: one spring is based on non-linear-elastic (NLE) rule, to model the contribution of the unbonded tendons with self-centring properties while the other spring adopts a Takeda model, to take into account the energy dissipation of the mild steel as well as the non-linear contribution of the concrete (Fig. 9). Equivalent viscous damping and residual displacement can thus be considered as critical parameters in the design of an hybrid system. For a required moment capacity corresponding to a target drift level, the ratio PT steel/mild steel (or dissipation-devices) can be alternatively established taking into account the effects on the aforementioned two parameters.



7

5a/5b
Esempi di meccanismo di piano debole -Izmit (Kocaeli), Turchia, 1999 (Izmit Collection, EERC-UCB).

Soft-storey collapses.

6
Influenza del metodo di progetto seguito sul valore di taglio alla base (Edificio prototipo del progetto PRESSS).

Effects of design approach on required base shear for the PRESSS- prototype Building (from Nakaki et al., 1999).

7
Connessione ibrida in un sistema a telaio.

Hybrid connection for frame system.

8
Flessibilità del ciclo isteretico di un sistema ibrido al variare del rapporto tra contributo dei cavi non aderenti e dell'armatura lenta.

Flexibility of the hysteresis behavior of a hybrid system when varying the unbonded tendons/mild steel moment contribution ratio.

9
Schematizzazione del contributo di cavi non aderenti e armatura lenta.

Schematic modelling of the moment contributions of unbonded tendons and mild steel reinforcement.

10
Variazione dei parametri critici in un sistema ibrido - Abacchi di progetto.

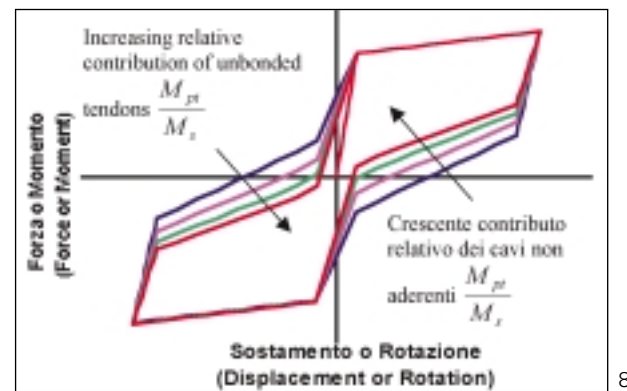
Variation of critical parameters in a hybrid system- Design charts.

Stefano Pampanin ha conseguito una Laurea cum laude in Ingegneria Civile presso l'Università degli Studi di Pavia, un Master of Science in Ingegneria Strutturale presso la University of California, San Diego e un Dottorato in Ingegneria Sismica presso il Politecnico di Milano. Attualmente occupa una posizione di ricercatore post-dottorato presso l'Università di Pavia e opera come libero professionista in ingegneria strutturale. Ha collaborato al progetto di ricerca PRESSSS presso l'University of California, San Diego come ricercatore in visita finanziato dal programma Fulbright. È membro della commissione internazionale della fib (fédération internationale du béton) WG 7.3/7.4 "Progettazione sismica di strutture in c.a. prefabbricato e precompresso".

sistema a telaio, o speciali dissipatori, nel caso del sistema muro) con capacità di autocentramento e riduzione degli spostamenti residui (grazie alla presenza di cavi di post-tensione non aderenti), riveste una particolare attrattiva in campo sismico (Pampanin et al. 2000).

A parità di momento di progetto (legge monotona momento-rotazione) in una sezione critica, le caratteristiche del comportamento isteretico possono essere a piacere modificate combinando in modo opportuno i contributi flessionali dei cavi non aderenti di post-tensione e della armatura tradizionale/dissipatori (Fig. 8). In fase di analisi e progetto si possono dunque combinare due molle rotazionali in parallelo: una con legge non-lineare-elastica (NLE), per modellare il contributo dei cavi non aderenti con proprietà auto-centrante e l'altra con modello Takeda, per tener conto del contributo dissipativo dell'acciaio e comportamento non-lineare del calcestruzzo (Fig. 9).

Smorzamento critico equivalente e spostamento residuo possono dunque essere considerati parametri critici in fase di progetto di un sistema di tipo ibrido. A parità di momento resistente per un dato livello di drift, il rapporto della percentuale di cavi non aderenti post-tesi (PT) e armatura tradizionale/dissipatori può essere stabilita a piacere tenendo conto degli effetti sui due parametri critici. In Fig. 10 sono riportate due tavole grafiche a scopo progettuale riferite ad un sistema ibrido ad un grado libertà, dato dalla combinazione di un modello NLE e un Takeda. Non trattandosi di tabelle adimensionali, le caratteristiche del comportamento monotono momento-rotazione (rigidezza iniziale, rotazione di snervamento, incrudimento, spostamento obiettivo di progetto) sono basate sulle proprietà dell'edificio-test di cinque piani. Si sono considerati differenti ipotesi sul modello Takeda (parametri a e b, scarico e ricarico). Come noto, gli effetti della dissipazione energetica sulla riduzione dello spostamento massimo raggiunto dalla struttura divengono meno significativi all'aumentare della capacità stessa di dissipazione energetica. A patto di garantire dunque un adeguato valore minimo di dissipazione (i.e. valore dello smorzamento viscoso equivalente α intorno al 15-20%) si può progettare un sistema ibrido con alta capacità autocentrante senza particolari conseguenze sugli spostamenti massimi raggiunti. Con riferimento alle tavole grafiche di Fig. 10, ad esempio, una soluzione progettuale efficiente potrebbe essere data da una scelta del rapporto tra i contributi flessionali (distinto dalla percentuale di armatura) PT/armatura tradizionale pari a 0.8-1.



CONCLUSIONI

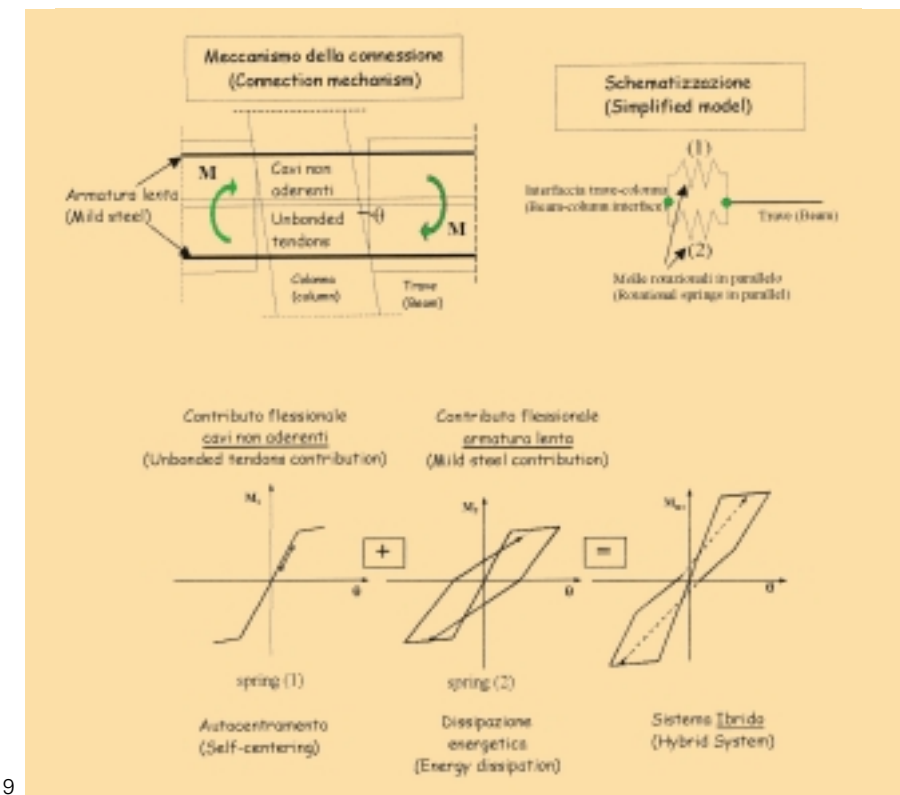
I risultati dell'estesa campagna di ricerca sia a livello scientifico che tecnologico promossa dal progetto PRESSSS negli Stati Uniti sembrano aver già segnato l'inizio di un'epoca nuova per il prefabbricato, fortemente penalizzato finora nelle applicazioni in regioni sismiche. La pronta risposta sia del mercato sia dell'apparato normativo ha dato conferma dell'entusiastica accoglienza nei confronti di tali sistemi alternativi. Notevoli sono senza alcun dubbio le prospettive future, anche in un'ottica di breve-medio termine e un ruolo fondamentale, per un'ampia diffusione in regioni sismiche al di fuori dal territorio nord-americano, sarà dato dalla presenza di una mentalità pragmatica ed al tempo stesso dinamica ed aperta alle novità.

REFERENZE / REFERENCES

Ghosh, S.K., 2001, "Trends in Seismic Design Provisions of U.S. Building Codes", PCI Journal, Vol.46, No.5.
Nakaki, S.D., Stanton, J.F., and Sriharan, S., 1999. "An Overview of the PRESSSS Five-Story Precast Test Building", PCI Journal, Vol.44, No.2, pp.26-39.
Priestley, M.J.N., 1996. "Seismic Design Philosophy for Precast Concrete Frames", Structural Engineering International, Vol. 6, No.1, pp.25-31.
Priestley, M.J.N., 1998. "Displacement Based Approaches to Rational Limit States Design of New Structures", Keynote Lecture Eleventh European Conference on Earthquake Engineering, Paris.
Nakaki, S.D., Stanton, J.F., and Sriharan, S., 1999. "An Overview of the PRESSSS Five-Story Precast Test Building", PCI Journal, Vol.44, No.2, pp.26-39.
Pampanin S., Priestley, M.J.N., Sriharan, S., 2000. "Passive Energy Dissipation and Self-Centering Capabilities in Precast Ductile Connections" Proceedings of the Second European Conference on Structural Control (2ECSC), ENPC, Champs-sur-Marne, France, July 3-6.

Fig. 10 shows two design charts referred to a single-degree-of-freedom hybrid system given by the combination of a NLE rule and a Takeda rule. The characteristics of the monotonic moment-rotation behavior (initial stiffness, yielding rotation, hardening, target displacement) refers to the properties of the five-storey test-building. Variations of the Takeda model parameters (unloading and reloading, a e b) have been considered.

As known, the effects of the energy dissipation on the reduction of the maximum structural displacement become less and less important when increasing the energy dissipation capacity. Pending an adequate minimum level of dissipation (i.e. equivalent viscous damping α in the range of 15-20%) an high level of self-centring capacity can be assigned to a hybrid system without significant effects on the maximum displacements reached by the structure. Referring to the design charts of Fig. 10, for example, an efficient design solution could be to chose a moment contribution PT/mild steel ratio (different from the reinforcement ratio) equal to 0.8-1.

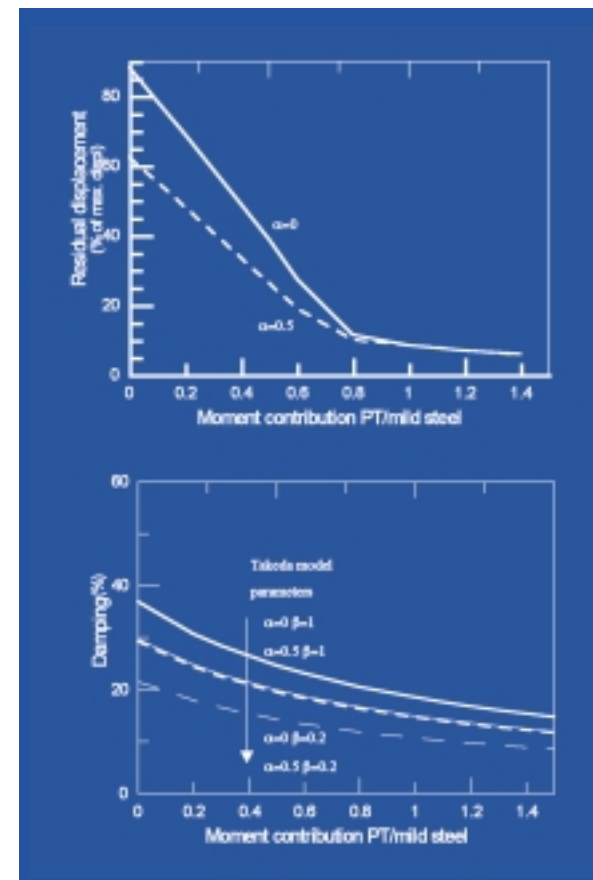


9

CONCLUSIONI

The results of extensive research investigations, at both scientific and technological level, carried out under the PRESSSS program in the U.S. seems to have already defined the beginning of a new period for the development of precast construction in seismic region, whose potentiality has, to date, strongly underestimated. The prompt reaction of either the market and the code provision system is a proof of the enthusiastic acceptance of the proposed alternative solutions. The potentiality in a short-medium future are certainly enormous and a fundamental role, for a wide acceptance and development in seismic regions outside the U.S. area, will be played by the presence of a pragmatic, dynamic and open-minded approach.

Stefano Pampanin received his Laurea cum laude in Civil Engineering at the University of Pavia, a Master of Science in Structural Engineering at the University of California at San Diego and a Ph.D. in Earthquake Engineering at the Politecnico di Milano. He is currently a post-doctoral researcher at the Department of Structural Engineering at the University of Pavia and works as consulting structural engineer. He joined the PRESSSS research team at the University of California at San Diego under a Fulbright Scholarship and is a member of the fib (fédération internationale du béton) international commission WG 7.3/7.4 "Precast and Prestressed Concrete Structures Designed for Earthquake Resistance".



10