

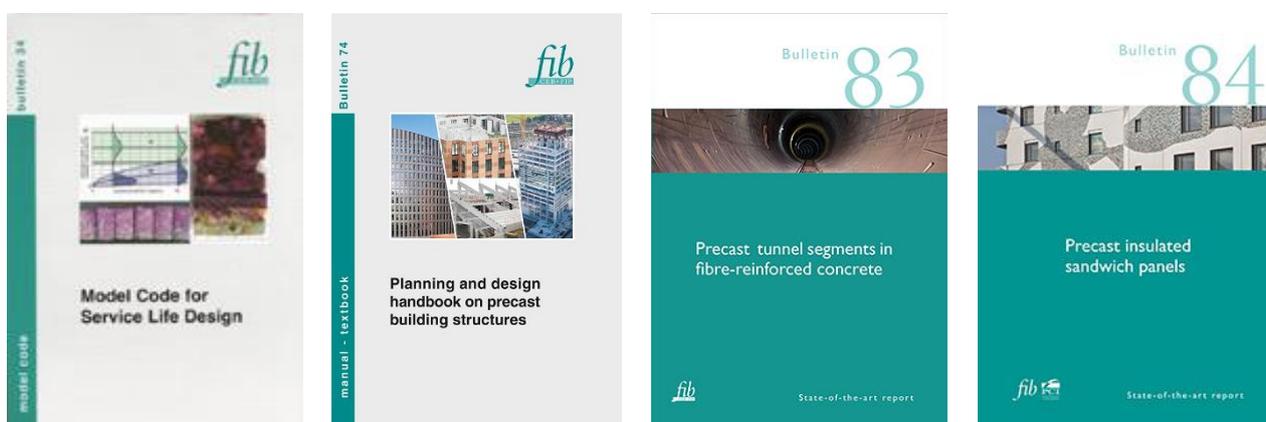
Introduzione alla lettura dei Bollettini *fib*

Bollettino n. 34 Model Code for Service Life Design

Bollettino n. 74 Planning and design handbook on precast building structures

Bollettino n. 83 Precast tunnel segments in fibre-reinforced concrete

Bollettino n. 84 Precast insulated sandwich panels



A cura di

Carlo Beltrami, Liberato Ferrara, Torabian Isfahani Forood, Antonello Gasperi, Stefano Knisel, Federica Lollini, Giovanni Mantegazza, Franco Mola, Enrico Nusiner, Enrico Maria Pizzarotti, Giovanni Plizzari, Alessandra Ronchetti, Carlo Schiatti

Gennaio 2021



COLLEGIO DEI TECNICI DELLA INDUSTRIALIZZAZIONE EDILIZIA
www.cte-it.org



INTERNATIONAL FEDERATION OF STRUCTURAL CONCRETE
<https://www.fib-international.org/>

Carlo Beltrami

Direttore tecnico, responsabile del settore “Ciclo di vita e monitoraggio delle strutture” e responsabile studi scientifici di Lombardi Ingegneria di Milano, membro (strutture) e presidente dello Steering Committee del Gruppo Lombardi.

Membro del Comitato di riferimento del Dottorato di ricerca in Ingegneria Strutturale, Sismica e Geotecnica DICA al Politecnico di Milano, membro Comitato Scientifico di Eucentre (Pavia), membro delle associazioni tecniche culturali Nazionali CTE, AICAP ed ISI, ed Internazionali fib, ATC, IABMAS e IALCCE.

Liberato Ferrara

PhD, è professore associate di Tecnica delle Costruzioni (in possesso di abilitazione scientifica nazionale al ruolo di professore ordinario) presso il Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale del Politecnico di Milano.

È attualmente chair del comitato tecnico dell’American Concrete Institute sul Calcestruzzo Fibrorinforzato ed autore di oltre sessanta pubblicazioni su riviste internazionali sui temi della sua attività di ricerca, che comprendono lo studio delle proprietà fisico-meccaniche e le applicazioni strutturali di materiali cementizi avanzati, calcestruzzi autoriparanti, calcestruzzi stampabili in 3D e sulla sostenibilità dei materiali cementizi e delle strutture in calcestruzzo armato.

Torabian Isfahani Forood

Ha conseguito un Dottorato di ricerca presso il Politecnico di Milano, dipartimento di Chimica, Materiali e Ingegneria Chimica “Giulio Natta”. Vincitore della migliore tesi di dottorato in strutture e materiali in calcestruzzo in “ACI Italy Chapter” edizione 2016 “Innovation in Concrete Structures and Cementitious Materials”

Attualmente è ingegnere senior nel settore “ciclo di vita strutture” presso Lombardi Ingegneria S.r.l. La sua attività si focalizza sulla durabilità dei materiali da costruzione, nello specifico i fenomeni di degrado del calcestruzzo. I principali temi di attività sono: la durabilità dei calcestruzzi, materiali cementizi e materiali da costruzione.

Antonello Gasperi

Ha eseguito consulenze nell’ambito delle strutture prefabbricate di calcestruzzo armato e di calcestruzzo armato precompresso. In particolare ha eseguito consulenze relative alla progettazione di opere e strutture prefabbricate quali: edifici industriali, edifici ad uso sportivo, edifici ad uso industriale, muri di sostegno, impalcati da ponte, ponti prefabbricati.

Ha partecipato ai seguenti gruppi di lavoro europei: CEN/TC229/WG1 – TG6 (Ribbed floor elements); TG7 (Linear elements); TG9 (Retaining wall elements); TG14 (Bridge elements).

È membro della Commissione 6 (Prefabrication) - fib.

Stefano Knisel

Laureato al Politecnico di Milano in Ingegneria Civile, progettista nell’ambito di strutture in calcestruzzo. Consulente strutturale di aziende di prefabbricazione in Italia e all’estero.

Da alcuni anni si occupa della progettazione di strutture prefabbricate impiegate negli impianti per la produzione di energia da fonti rinnovabili, è titolare di un brevetto internazionale riferito ad un sistema di fondazione on shore a sostegno di torri eoliche recentemente utilizzato nell’ impianto eolico Wind farm Los Llanos Extension in Spagna.

Progettista dei supporti in calcestruzzo prefabbricato per l’impianto di produzione di energia solare Masen-NOORoll 150 MW Tower CSP Plant in Marocco, è presente anche nell’ambito Offshore Concrete Structures come consulente e progettista strutturale per la realizzazione di una nuova piattaforma flottante SW6 Concrete floating Platform.

È membro del Consiglio Direttivo del CTE e di ICMQ.

Federica Lollini

Federica Lollini è professore associato presso il Politecnico di Milano, Dipartimento di Chimica, Materiali e Ingegneria Chimica "Giulio Natta".

La sua attività scientifica si focalizza sulla durabilità dei materiali da costruzione, nello specifico i fenomeni di degrado del calcestruzzo e corrosione delle armature. I principali temi di ricerca sono: la durabilità delle strutture in ca; calcestruzzi, materiali cementizi e materiali da costruzione; conservazione del patrimonio culturale.

Giovanni Mantegazza

Laureato in Chimica -Facoltà di Scienze, Università Statale Milano. Direttore Tecnico Ruredil dal 1986 al 2018. Attualmente Co-Founder e Technical Manager della MAHAC srl

Pioniere nello sviluppo dei compositi FRCM (PBO-FRCM, Carbon-FRCM) per il ripristino delle strutture in c.a e muratura -Specialista in chimica degli additivi per calcestruzzo e malte -Esperto nella formulazione di malte speciali fibrorinforzate con fibre polimeriche ad alto modulo, per il ripristino di strutture in c.a e muratura e per calcestruzzi speciali Metal Free.

-Esperto in Fibre Polimeriche Strutturali per Asfalto -Specialista nel trattamento di rifiuti per la riduzione della tossicità

-Ha sviluppato la malta antiradiazioni per la Centrale Nucleare di Montalto di Castro

Inventore di 5 brevetti internazionali nel settore delle costruzioni

Ha partecipato ai lavori in alcuni Comitati Europei di Normazione

Franco Mola

Professore ordinario di tecnica delle costruzioni presso il Politecnico di Milano e Direttore tecnico ECSD srl Engineering Consulting and Structural Design. Progettista e consulente strutturale di diverse opere tra cui la torre Iozaki a Milano, Palazzo Regione Lombardia, Uffici della Regione Piemonte a Torno. Autore di più di 250 lavori scientifici pubblicati su riviste e su Atti di Congressi Nazionali ed Internazionali. È stato membro di varie Commissioni Internazionali in particolare le Commissioni CEB "Instabilità" ed "Effetti strutturali delle deformazioni differite del calcestruzzo".

Enrico Nusiner

Laureato al Politecnico di Milano in Ingegneria Civile, ha lavorato come libero professionista e progettista di strutture. Si è poi dedicato all'attività manageriale: attualmente è dirigente presso la società multinazionale CRH ed è Head of Customer Segment Precast per Europa e resto del mondo. Membro del Consiglio direttivo del CTE dal 1999 è stato Vice-Presidente dal 2014 al 2019.

Enrico Maria Pizzarotti

Parma 17/06/1959, ingegnere laureato al Politecnico di Milano nel 1983, ha una esperienza di oltre trenta anni nella progettazione e nella consulenza di grandi opere in sotterraneo e geotecniche, includendo sia gallerie realizzate con scavo convenzionale e meccanizzato che opere puntuali (caverne, stazioni e parcheggi sotterranei), tra cui il Tunnel di Base del Brennero lato Italia e numerose altre opere stradali e ferroviarie anche in area urbana. È Presidente del CdA, Legale Rappresentante e Direttore Tecnico della Società d'Ingegneria Pro Iter S.r.l. e membro del Consiglio Direttivo e Segretario Generale della Società Italiana Gallerie, di cui è animatore per l'Italia del Gruppo di Lavoro 2 per la Ricerca, con focus particolare sui rivestimenti in conci prefabbricati per lo scavo meccanizzato. È stato relatore in numerosi seminari e convegni, autore di numerosi articoli e pubblicazioni tecniche e co-autore del Volume "Engineering Geology for Underground Works".

Giovanni Plizzari

Professore ordinario di Tecnica delle costruzioni presso l'Università degli Studi di Brescia, dove è direttore del dipartimento DICATAM. È membro fib dove è delegato nazionale, coordina gruppi di lavoro internazionali ed è presidente della giuria per il premio internazionale per giovani ingegneri. Ha co-organizzato il primo joint workshop ACI-fib sul tema applicazioni strutturali del calcestruzzo fibrorinforzato, i cui atti sono riportati nel Bollettino 79. È attualmente vice presidente del CTE.

Alessandra Ronchetti

Laurea in Ingegneria presso il Politecnico di Milano nel 1993. Collabora con Assobeton dal 1994, occupandosi principalmente di normativa tecnica. Componente di 20 gruppi di lavoro UNI nell'ambito delle Commissioni Ingegneria Strutturale, Costruzioni stradali e Infrastrutture, Prodotti, processi e sistemi per l'edilizia, Resistenza all'incendio. Segretario del gruppo CEN/TC229/WG1 Prodotti strutturali in calcestruzzo dal 2002. Segretario della Commissione Prefabbricati della fib (Fédération internationale du béton) dal 2009.

Carlo Schiatti

Laureato in Ingegneria Civile a Bologna nel 1980, libero Professionista in Arezzo. Ha una esperienza di quarant'anni nel campo della Prefabbricazione civile e industriale. Direttore Tecnico, Responsabile Studi e Ricerche e Direttore generale di primaria Azienda per tredici anni. Poi Libero Professionista nel campo dell'Ingegneria Civile, con specializzazione in strutture in calcestruzzo armato, normale e precompresso, acciaio, legno e muratura. Consulente di numerose Aziende di Prefabbricazione Italiane. Esperto di cicli produttivi in stabilimenti di Prefabbricazione, riqualificazione strutturale ed energetica di edifici industriali prefabbricati, impianti fotovoltaici integrati. Progettista di lay-out di Stabilimento, consulente in organizzazione e ottimizzazione di cicli produttivi, organizzazione aziendale, addestramento del Personale, sistemi di qualità, ambientale, marcatura CE. Studio e realizzazione di nuovi prodotti per l'Industria della Prefabbricazione (travi, solai, travi alari di copertura, cassaforme, macchinari di produzione, prodotti complementari). Autore di pubblicazioni e docenze. Titolare quale "inventore" di sette brevetti nei campi delle strutture, dei macchinari per la prefabbricazione, dei sistemi fotovoltaici.

Bollettino fib 34

“Model Code for Service Life Design” (pubblicato nel Febbraio 2006)

Contributo di Carlo Beltrami, Torabian Isfahani Forood, Federica Lollini

Introduzione

La durabilità, intesa come conservazione delle caratteristiche fisiche e meccaniche dei materiali e delle strutture, è ormai riconosciuta dalle normative tecniche vigenti (NTC 2018) tra i principi fondamentali della progettazione ed esecuzione delle strutture in calcestruzzo armato. Le NTC, sebbene indichino esplicitamente che la durabilità debba essere garantita attraverso una opportuna scelta dei materiali e un opportuno dimensionamento delle strutture, non propongono procedure di calcolo e possibili scelte progettuali finalizzate alla garanzia di questo requisito, non fornendo quindi di fatto al progettista, chiamato a garantire questo principio, strumenti adeguati allo scopo. È vero che, da anni, sono disponibili degli approcci prescrittivi per il progetto della durabilità, come quelli presenti nelle normative tecniche vigenti (Eurocodice 2 e EN 206-2016), basati sul rispetto di valori minimi o massimi di determinati parametri progettuali.

Questi approcci, tuttavia, hanno dei limiti applicativi, in quanto i valori suggeriti si riferiscono solo a specifici ambienti e a determinati valori della vita nominale e non modellano in maniera realistica le azioni dell'ambiente che agiscono sulla struttura. Per fare questo è necessario definire un opportuno modello matematico che valuti l'andamento nel tempo degli effetti dell'ambiente sui materiali e le loro conseguenze sulle prestazioni degli elementi strutturali.

Il codice modello del bollettino fib34 ha l'obiettivo di fornire le procedure di calcolo per il progetto della vita di servizio di strutture in calcestruzzo armato al fine di prevenire il degrado causato dalle azioni ambientali durante la loro vita di servizio. I meccanismi di degrado trattati nel documento sono la corrosione indotta dalla carbonatazione, la corrosione indotta dalla penetrazione dei cloruri e l'attacco da gelo-disgelo con e senza sali disgelanti. Il modello propone quattro diversi approcci: quello probabilistico agli stati limite (“full probabilistic”), quello probabilistico agli stati

limite a “coefficienti parziali” (“partial safety factor”), quello “prescrittivo” e, infine, propone una strategia basata sull'evitare l'insorgenza del degrado.

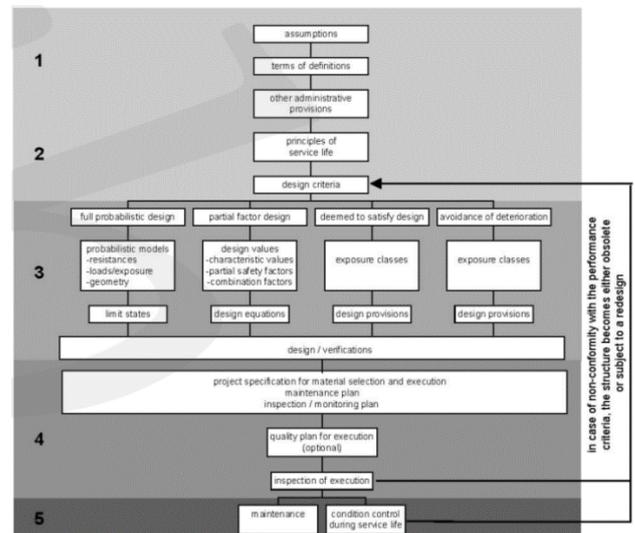


Figura 1 Diagramma di flusso fib34 sul processo di analisi dello stato limite di esercizio per fenomeni di degrado.

Illustrazione ai modelli di verifica

Il codice modello definisce inizialmente tutte le variabili in accordo alla norma EN 1990, in particolare tutti i parametri hanno una caratteristica di variabile aleatoria essendo l'approccio di calcolo di tipo probabilistico. L'approccio di calcolo per la verifica è proposto secondo diversi livelli di complessità come sopra descritto, il modello “full probabilistic” in cui tutte le variabili sono aleatorie (JCSS PMC) risulta essere il più efficace e più utilizzato in questo ambito. Il codice modello sviluppa in modo esplicito i seguenti modelli di degrado per la verifica dello stato limite di esercizio:

- a) Corrosione indotta da **carbonatazione** del calcestruzzo (calcestruzzo non fessurato)
 1. Stato limite di depassivazione
 2. Stato limite di fessurazione e “spalling”/espulsione del copriferro per corrosione

- b) Corrosione indotta da **cloruri** (calcestruzzo non fessurato)
1. Stato limite di depassivazione
 2. Stato limite di fessurazione e "spalling"/espulsione del copriferro per corrosione
- c) Influenza del livello di **fessurazione** del calcestruzzo sulla corrosione delle armature
- d) Rischio di **depassivazione** con riferimento alle armature di **acciaio da precompressione**
- e) Attacco da **gelo/disgelo** (con o senza agenti disgelanti)
1. Stato limite di danno a causa di perdita locale delle proprietà meccaniche, fessurazione, perdita di spessore
 2. Stato limite di deformazione e collasso

Per la corrosione indotta da carbonatazione il primo stato limite è la depassivazione dell'armatura all'interno del calcestruzzo. La probabilità di depassivazione è definita come la probabilità che la profondità di carbonatazione risulti maggiore del copriferro, con riferimento ad esempio ad un frattile del 5% (valore caratteristico). Il grafico seguente illustra una valutazione delle distribuzioni di probabilità della profondità di carbonatazione e dello spessore di copriferro dopo un definito numero di anni di esposizione; la probabilità di depassivazione aumenta tanto più l'area di sovrapposizione delle due distribuzioni è grande.

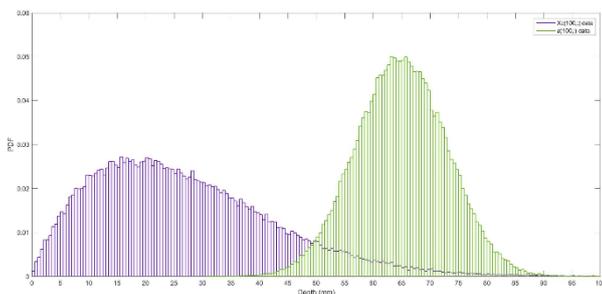


Figura 2 Esempio funzione distribuzione della probabilità (PDF) del copriferro (a) e della profondità di carbonatazione (X_c) dopo 100 anni di esercizio.

Per la corrosione indotta da cloruri, lo stato limite è anche in questo caso associato al raggiungimento dello stato di depassivazione dell'armatura. La probabilità che si verifichi la depassivazione è valutata con riferimento alla probabilità che si verifichi una concentrazione di cloruri alla profondità dell'armatura dopo un certo tempo maggiore della concentrazione di cloruri critica.

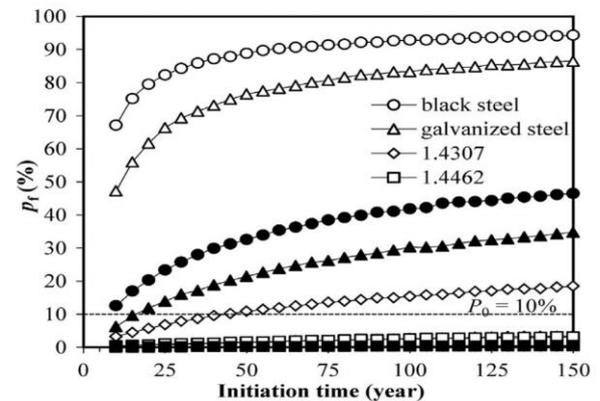


Figura 3 Probability of failure versus initiation time for chloride induced corrosion (F. Lollini et al. Constr. Build Mater, 79, 2015, pp. 245-54).

Ricadute applicative nell'ingegneria, nelle realizzazioni e manutenzioni

L'attuale contesto della progettazione secondo NTC 2018/EC 2 e EN 206-2016 pone ad oggi dei limiti evidenti alla possibilità di determinare in modo chiaro il raggiungimento degli obiettivi di durabilità. Lo strumento del codice modello *fib34* consente di guidare l'ingegnere civile nel valutare a priori i processi di degrado principali del calcestruzzo armato, un primo passo nella direzione di applicare un approccio quantitativo e non solo prescrittivo come nell'attuale riferimento delle vigenti norme tecniche.

Uno degli obiettivi sempre più importanti nella concezione e progettazione delle strutture (primarie e secondarie) è il soddisfacimento dello stato limite di esercizio con riferimento ad un ben definito arco di tempo associato alla vita utile. L'adozione pertanto di metodologie espresse nel bollettino *fib34* consente all'ingegnere civile di poter ampliare le capacità di verifica nell'ambito della durabilità adottando approcci probabilistici del tutto simili a quelli già impiegati nelle verifiche di sicurezza geotecnica o strutturale.

Questo approccio è più complesso e risulta evidentemente meritevole per opere di valore strategico, come ad esempio sono le infrastrutture. L'applicazione del *fib34* richiede una particolare sensibilità da parte del progettista nel valutare l'effettivo scenario ambientale/antropico in cui l'opera si dovrà collocare nonché implementare un numero più ampio di prove per la caratterizzazione del calcestruzzo

(ad esempio la determinazione della resistenza alla carbonatazione con prova accelerata di esposizione o la determinazione della resistenza alla penetrazione dei cloruri con metodo accelerato di migrazione). Si noti che il costo di tali prove è trascurabile rispetto al valore delle prove che usualmente si eseguono già in un processo di qualifica dei calcestruzzi, per non parlare del rapporto economico che si determina sul costo delle mitigazioni che si attuano a posteriori quando il degrado possa emergere in anticipo rispetto alla vita utile per cui l'opera è stata progettata.

L'applicazione del codice modello *fib34* consente quindi implicitamente di implementare un "Progetto per la durabilità" delle strutture in calcestruzzo armato, come ad esempio è già una prassi in molti paesi stranieri (un riferimento ad esempio è l'Australia e gli Stati Uniti d'America).

Se l'applicazione del codice modello *fib34* potrà quindi rappresentare, anche nelle prossime revisioni/evoluzioni, una migliore pratica rispetto a quella standard nella valutazione della durabilità delle

strutture in calcestruzzo armato, si auspica anche un maggiore grado di interconnessione e un maggiore grado di approfondimento sulla trattazione della durabilità nelle diverse fasi trasversali alla vita delle opere, in particolare nelle fasi di:

- esecuzione dell'opera (direzione lavori e collaudo), infatti ad esempio il processo di maturazione del calcestruzzo (anche la tipologia di cassero) potrebbe influenzare la durabilità dello stesso vanificando ogni vantaggio dall'applicazione del codice modello *fib34*.
- esercizio dell'opera (gestione), per cui le tipologie di controlli non distruttivi e le attività di ispezione / manutenzione sono direttamente connessi al "Progetto per la durabilità" di cui sopra, ovvero alla possibilità di verificare a posteriori ogni simulazione eseguita con modelli tipo *fib34* e prevedere per tempo ogni eventuale azione correttiva/manutentiva sull'opera.

Bollettino fib 74

"Planning and design handbook on precast building structures"

Contributo di Stefano Knisel, Franco Mola

La pubblicazione fib catalogata quale Bollettino N.74, assolve, secondo la definizione attribuitagli dalla Federazione, la funzione di Manuale-Libro di Testo per la progettazione di costruzioni prefabbricate in calcestruzzo. Un simile compito può essere assolto con riferimento a più angolazioni di pensiero: da quelle più propriamente analitiche, orientate ad una approfondita trattazione numerico-matematica, a quelle che maggiormente prediligono un approccio sperimentale, assunto quale base per stabilire regole e formule empiriche da impiegarsi nella misura della sicurezza strutturale, a quelle ancora che trovano compimento in una forma essenzialmente concettuale, dettata da un approccio di tipo olistico.

Il Bollettino fib N.74 si colloca in quest'ultima prospettiva e si pone quale aiuto di indubbio valore non solo per i progettisti di strutture prefabbricate in calcestruzzo ma anche per tutte le professionalità interessate a questo tipo di costruzioni, in particolare architetti, direttori dei lavori, dipendenti di enti regolatori e, non ultimi, costruttori e proprietari. Non propriamente uno Stato dell'Arte, che in linea di principio dovrebbe fornire informazioni e approfondimenti riguardanti tutti gli aspetti relativi al progetto, l'analisi e la realizzazione di una costruzione prefabbricata, bensì una esposizione chiara e puntuale dei più importanti e tipici problemi della prefabbricazione, corredata da utili suggerimenti per una loro soddisfacente soluzione. Un atteggiamento che pone in evidenza, quale componente primaria, una visione pragmatica, mirata non solo a guidare le scelte dei progettisti che operano esclusivamente in un campo della moderna ingegneria strutturale fortemente specializzato, ma anche ad informare quei professionisti la cui attività, non essendo totalmente dedicata alle costruzioni prefabbricate, sono forse a maggior ragione interessati all'acquisizione dei concetti e delle strategie che stanno alla base di una

corretta progettazione di questi speciali organismi strutturali.

Il Documento si articola in 11 Capitoli esposti in forma essenzialmente discorsiva e mirati a porre in chiaro risalto le proprietà, gli aspetti caratterizzanti e le prerogative connesse alla risposta sotto azioni di natura statica e dinamica delle costruzioni prefabbricate, descrivendone, nella loro generalità, gli organismi strutturali, le modalità di unione fra i vari elementi resistenti e quelle fra questi e gli elementi di finitura, in particolare le facciate.

Il Capitolo 1 pone in evidenza le principali caratteristiche delle strutture prefabbricate e la convenienza del loro impiego per la risoluzione dei problemi affatto generali che emergono nelle prime fasi del processo decisionale. Alcune applicazioni sono poi illustrate con riferimento a varie categorie di edifici, riportando esempi relativi a casi reali.

Il Capitolo 2, tipicamente esemplificativo dell'approccio concettuale, tratta delle scelte che devono essere preliminarmente intraprese per assicurare garantiti livelli prestazionali al complesso strutturale. Il percorso attraverso il quale questo obiettivo viene perseguito è governato da tre momenti che si articolano nella elencazione di specifiche raccomandazioni, nella definizione degli accorgimenti atti a ottimizzare la risposta a predeterminate azioni, in particolare quella sismica, nella scelta del sistema tecnologico, di cui sono descritti negli aspetti essenziali gli elementi costitutivi principali.

Il Capitolo 3 è dedicato alla descrizione schematica degli organismi strutturali realizzabili con la tecnologia della prefabbricazione. Sono illustrati i sistemi composti da elementi monodimensionali quali telai monopiano o pluripiano e sistemi formati da elementi bidimensionali, in particolare gli edifici di civile

abitazione a pannelli portanti. Oltre a questi sistemi, che possono definirsi di tipo classico, vengono illustrati anche altri organismi fra i quali di particolare interesse sono gli esempi di applicazione della prefabbricazione alla costruzione di edifici alti. Fra i diversi componenti sono illustrati con maggiore ampiezza quelli di impalcato e di facciata, riportando per diverse categorie dei primi un diagramma di utilizzo in termini di carico totale-luce e per i secondi specifiche indicazioni circa la geometria degli spessori necessari al conseguimento di assegnate prestazioni termoacustiche. Il capitolo si conclude con esempi di realizzazioni ove le tipologie illustrate rivestono ruolo determinante.

Il Capitolo 4 introduce il tema della stabilità strutturale attraverso la suddivisione degli organismi resistenti nelle due categorie di strutture non controventate e controventate. Le prime sono ricondotte allo schema a telaio con connessioni a cerniera fra le travi e le colonne, il cui comportamento sotto azioni laterali è essenzialmente quello di mensole agenti in parallelo. Le strutture controventate sono illustrate con maggiore dettaglio, con particolare riferimento agli elementi taglio resistenti, costituiti da nuclei o pareti, per i quali sono schematicamente descritti i flussi tensionali necessari ad equilibrare le forze trasversali. Sono poi discusse le prerogative degli elementi di impalcato nei riguardi della trasmissione delle forze di interazione di piano tra colonne ed elementi taglio resistenti riportandone alcuni dettagli costruttivi quali le connessioni fra elementi prefabbricati e getti collaboranti, le connessioni fra colonne e travi e le sollecitazioni schematiche in esse indotte dalle azioni sismiche. Dopo un breve cenno agli effetti generati da stati coattivi e alle dimensioni geometriche degli edifici per le quali sono da prevedersi giunti di dilatazione-contrazione, viene ricordato il problema della integrità strutturale e sono fornite alcune brevi indicazioni sul dimensionamento e disposizione degli incatenamenti verticali e orizzontali. Il tema, di assoluto interesse nella progettazione delle costruzioni prefabbricate, trova poi ulteriore sviluppo nella sezione dedicata al progetto in presenza di eventi eccezionali, ove prerequisito fondamentale è la robustezza strutturale.

Il Capitolo 5 è dedicato alle unioni fra elementi prefabbricati. Dopo un elenco delle prerogative richieste per una efficiente unione in termini di capacità, deformabilità, duttilità, durabilità, resistenza al fuoco e tolleranze dimensionali, le unioni vengono classificate secondo il tipo di azione mobilitata per il loro funzionamento e tipologia di connessione: aderenza, effetto bietta, attrito, ingranamento, geometria, chiodatura, saldatura, presollecitazione. Sono poi illustrate con maggior dettaglio le unioni in funzione del tipo di azione trasmessa: trazione, taglio, flessione, torsione, descrivendone, attraverso schemi e dettagli costruttivi, le modalità di funzionamento e l'attenzione che deve essere posta nella loro progettazione.

I Capitoli 6-7-8-9 trattano delle caratteristiche costruttive e di dettaglio di edifici prefabbricati e dei loro componenti principali. In particolare il Capitolo 6 studia gli edifici intelaiati, il Capitolo 7 quelli a pareti portanti, il Capitolo 8 è dedicato alle strutture di impalcato e il Capitolo 9 agli elementi di facciata. L'elencazione dei vari problemi, le indicazioni per una loro efficiente soluzione e i dettagli grafici, che seppur schematici, permettono di evidenziarne chiaramente le peculiarità, si pongono all'interno della classica prassi informatrice della letteratura tecnica dedicata al progetto delle strutture prefabbricate. Di interesse, nella trattazione delle strutture intelaiate, le connessioni rigide fra colonne, travi e elementi di solaio, realizzate a umido, il collegamento colonna-fondazione attuato mediante barre disposte entro speciali alloggiamenti o facendo ricorso a tirafondi e bulloni. Relativamente ai sistemi a pannelli di rilievo è la descrizione, in termini di geometria e funzionamento, delle unioni attrezzate a taglio fra pareti contigue nonché la presentazione di formule empiriche atte alla misura della sicurezza delle unioni, nelle quali sono ben identificabili i contributi offerti dai vari meccanismi che presiedono alla resistenza allo stato limite ultimo. Per quanto concerne infine gli elementi di impalcato maggiore attenzione è assegnata ai solai presollecitati a pannelli alveolari, per i quali sono riportate formule di progetto e grafici illustrativi della collaborazione trasversale fra elementi contigui estratti dal Bollettino fib N.6, ove questi tipi strutturali

sono approfonditamente trattati. Gli elementi di facciata infine sono descritti con riferimento ai molteplici aspetti prestazionali che ad essi sono usualmente richiesti. Sotto l'aspetto statico-deformativo questi componenti sono suddivisi nelle due categorie di elementi autoportanti e portati, rappresentandone le caratteristiche essenziali delle sezioni trasversali e le modalità di collegamento alle strutture resistenti. Per quanto concerne il progetto, di interesse sono le indicazioni riguardanti gli effetti indotti dalle deformazioni impresse di ritiro e temperatura e gli accorgimenti che devono essere posti in essere per assicurare la compatibilità con le strutture portanti.

Il Capitolo 10 illustra alcuni fra i più frequenti dettagli costruttivi delle costruzioni prefabbricate. Sono in particolare fornite informazioni riguardo le dimensioni delle zone di appoggio, la disposizione delle armature nelle unioni fra travi tipo Gerber, i meccanismi di trasferimento delle forze di sospensione applicate al lembo inferiore delle travi o negli appoggi di tipo indiretto. Ulteriori informazioni sono fornite per i limiti dimensionali delle asole praticate nelle nervature delle travi o negli impalcati e la disposizione di specifiche armature nelle zone ove sono presenti stati di sforzo diffusivi. Alcune indicazioni circa le tolleranze di montaggio e i difetti di planarità delle colonne chiudono il capitolo, che, per il suo contenuto non esclusivamente pertinente alle sole costruzioni prefabbricate, trova i presupposti per una più approfondita trattazione in altri e più dettagliati testi di riferimento.

Il Capitolo 11 infine tratta del problema della resistenza al fuoco. Anche per questo tema, di carattere generale e non pertinente alle sole strutture prefabbricate, sono ricordate le modalità di analisi indicate nei Documenti Normativi di carattere più generale, in particolare Eurocodice 2, nella sezione dedicata alla resistenza al fuoco. Alcune specifiche indicazioni per i più tipici elementi strutturali, in particolare i solai alveolari, sono infine richiamate, riprendendole dal già ricordato Bollettino fib N.6. Chiude il volume una ben selezionata ed esauriente bibliografia nella quale spiccano alcuni titoli che per autorità e completezza si pongono nell'ambito dei classici della materia. A conclusione di queste brevi note, che riassumono in forma concisa il vasto scenario entro il quale opera, in maniera essenzialmente concettuale, il Bollettino fib N.74, è senz'altro doveroso riconoscere l'utilità di tale documento, sia per i tecnici del settore sia per quelli saltuariamente impegnati nel campo del progetto delle costruzioni prefabbricate. Ma, al di là del settore strettamente correlato alla pratica progettuale, il documento pone problemi la cui risoluzione apre interessanti e nuovi scenari di ricerca e di progresso tecnologico. In questo atteggiamento è forse da ricercarsi il maggiore pregio del documento, congiuntamente alla funzione di stimolo nei confronti di coloro che, saldamente guidati dalle linee di pensiero in esso contenute, sono chiamati ad apportare nuovi ed originali contributi all'avanzamento della conoscenza nell'ambito del complesso mondo della prefabbricazione strutturale.

Bollettino fib 83

“Precast tunnel segments in fibre-reinforced concrete”

Contributo di Enrico Maria Pizzarotti, Giovanni Plizzari

In un mondo che, ormai, sta raggiungendo rapidamente una popolazione di otto miliardi di persone, la domanda di infrastrutture sotterranee sarà in continuo aumento, come conseguenza di una crescente richiesta di spazio in superficie. Infatti, se attualmente oltre il 50% della popolazione mondiale vive in città, si prevede che entro il 2050 questa percentuale salirà fino al 75%. Inoltre si registra un incremento continuo di mobilità di persone e merci dovuto alla globalizzazione. Infine, si verifica una maggiore richiesta di energia, di acqua per uso idropotabile e irriguo, di materie prime, di servizi cablati, ecc. Lo spostamento o la collocazione in sotterraneo di sistemi di trasporto di persone, merci e servizi diverrà una parte sempre più importante della soluzione del problema dell'occupazione del suolo, contribuendo al contempo anche la salvaguardia dell'ambiente.

Si può stimare che, attualmente, circa il 40% (in termini di lunghezza) di tutti i progetti mondiali di opere sotterranee siano realizzati con scavo meccanizzato (con l'ausilio della Tunnel Boring Machine, TBM), con una prospettiva di crescita di mercato delle TBM del 30% nei prossimi 5-10 anni. Il costo del rivestimento con conci prefabbricati in c.a., in una galleria realizzata con TBM, è dell'ordine del 40%-50% del costo diretto complessivo di realizzazione dell'opera civile grezza. Di questa quota parte, una percentuale variabile dal 20% al 40% è dovuta al costo dell'armatura dei conci, con un'incidenza, quindi, sui costi diretti complessivi del 10%-20%.

Risulta ovvio, di conseguenza, l'interesse nei riguardi di una possibile ottimizzazione dei costi di questi elementi, rappresentata dall'impiego di calcestruzzo fibrorinforzato (FRC) nel quale le fibre discontinue sostituiscono (almeno in parte) l'armatura tradizionale.

Il FRC non è un materiale nuovo nelle gallerie in quanto è da tempo utilizzato per il rivestimento di prima fase nelle gallerie realizzate con tecnica tradizionale.



Oltre alla ottimizzazione dei tempi e dei costi di realizzazione, ulteriori significativi aspetti di interesse nei riguardi dell'impiego di FRC sono la riduzione dei danneggiamenti (fessure, rotture di spigoli e di angoli, distacchi del copriferro, ecc.) in cui incorrono i conci prefabbricati nel corso di tutte le fasi di vita, dall'uscita dal cassero alla messa in opera. La percentuale di conci danneggiati, in alcuni progetti, può raggiungere il 40% del loro numero totale, con evidenti ricadute in termini di sfridi e costi di riparazione. Infine, il FRC consente un miglioramento della durabilità del rivestimento (esposizione ad agenti aggressivi e correnti vaganti) e delle prestazioni nei riguardi di carichi eccezionali (incendio, esplosioni, urti, ecc.).

L'impiego di FRC per i rivestimenti in conci prefabbricati per scavi con TBM, anche con applicazioni ibride di fibre con armatura tradizionale, si è sviluppato fin dai primi anni '80 del secolo scorso e ha riguardato circa 80 gallerie, per una lunghezza totale di circa 500 km. nella maggior parte dei casi (85%) il diametro interno non era superiore a 8 m anche se, in alcuni casi, ha superato i 13 m. Il campo di possibile applicazione si estende quindi praticamente alla maggior parte delle

tipologie funzionali di tunnel, da quelle con diametri inferiori per trasporto di fluidi e collocazione di facilities, alle gallerie per sistemi di trasporto su ferro (metropolitane leggere e pesanti, ferrovie) a quelle stradali.



Il FRC è quindi decisamente uscito da una fase di applicazione sperimentale, supportato anche dalla sua presenza nelle principali normative tecniche internazionali. Un ulteriore ampliamento del suo campo di impiego nelle gallerie, sia in termini di frequenza di utilizzo sia in relazione alle dimensioni delle gallerie, non può che passare attraverso l'aumento delle performance strutturali (efficacia) ma, soprattutto, attraverso la riduzione dei costi a parità di

performances (efficienza) in rapporto all'armatura tradizionale.

In quest'ottica, si inserisce il Bollettino *fib* 83, pubblicato nell'ottobre 2017, che, nel panorama di una ormai vasta letteratura in materia, risulta completo e dettagliato, trattando non solo aspetti prettamente strutturali (Capitoli 2 - *Materials*, 3 - *Design for transient load situations during production*, 4 - *TBM thrust phase*, 5 - *Final state loading condition* e 6 - *Evaluation of tunnel linings under fire exposure*) ma anche tecnologici (Capitoli 7 - *Connectors*, 8 - *Durability* e 9 - *Quality control*), nonché un'interessante valutazione di sostenibilità comparata con l'armatura convenzionale (Capitolo 10 - *The sustainability assessment of tunnel linings through the combined use of EMI and MIVES methods*) e riportando due estesi esempi di concreta applicazione progettuale (Case studies) e specifiche indicazioni per tracciare i domini di progetto del FRC agli stati limite ultimi e di esercizio (Appendix 1 e 3) e per il calcolo non lineare (Appendix 3).

Bollettino fib 84

“Precast insulated sandwich panels”

Contributo di Liberato Ferrara, Antonello Gasperi, Giovanni Mantegazza, Enrico Nusiner, Alessandra Ronchetti, Carlo Schiatti

Si tratta di un documento pubblicato nel 2017, a cura del Task Group 6.11 del FIB. È stato scritto in collaborazione con PCI (Precast / Prestressed Concrete Institute – USA).

Lo scopo di questo documento è ben descritto nel sottotitolo: “State-of-the-art report”.

Nell’ambito della Commissione fib “Prefabrication” si promuove lo sviluppo di tutti i prodotti prefabbricati in calcestruzzo, attraverso la diffusione delle migliori conoscenze ed esperienze per guidare alla progettazione e alla costruzione mediante elementi strutturali prefabbricati. In questa ottica il fib Bulletin 84 costituisce una guida completa, specifica e pratica per ottimizzare la progettazione, il calcolo strutturale, le caratteristiche fisiche e l’uso dei materiali, i metodi di produzione, montaggio e manutenzione dei pannelli sandwich in calcestruzzo.

Vengono anche chiaramente descritti i vantaggi derivanti dall’uso di questi elementi in varie tipologie di edifici, in termini di sostenibilità ed efficienza energetica.

IL BOLLETTINO FIB 84

I pannelli sandwich prefabbricati sono elementi costruttivi prefabbricati attualmente sempre più utilizzati per la realizzazione del tamponamento esterno degli edifici (i pannelli sandwich prefabbricati di seguito sono indicati sinteticamente con “pannelli sandwich”).

Un tipico pannello sandwich prefabbricato è costituito da almeno tre strati fra loro collegati mediante elementi di connessione. Lo strato esterno e lo strato interno, di regola, sono realizzati in calcestruzzo armato. Lo strato intermedio è costituito da un materiale (termicamente) isolante. A tali tre strati se ne

possono aggiungere altri atti a migliorare le prestazioni termiche e/o acustiche e/o estetiche dei pannelli sandwich.

Uno dei principali vantaggi correlati all’utilizzo dei pannelli sandwich consiste nel fatto che è possibile ridurre i costi energetici dovuti sia al riscaldamento che al raffrescamento degli edifici; i pannelli sandwich, infatti, sono dotati di notevoli caratteristiche di isolamento termico e di significativa massa termica.

Si evidenzia che l’utilizzo dei pannelli sandwich permette di ridurre le emissioni di CO₂ dovute agli impianti di riscaldamento e di ventilazione.

La diffusione dei pannelli sandwich è aumentata anche all’aumentare della sensibilità del mercato ai temi riguardanti la sostenibilità che, come è noto, costituisce oggi uno dei principali obiettivi anche del mondo delle costruzioni.

A tal proposito si può affermare che i pannelli sandwich sono elementi prefabbricati “sostenibili”.

I pannelli sandwich, infatti, oltre a presentare i vantaggi in campo energetico sopra menzionati, possono essere realizzati utilizzando materiali in parte riciclati e/o seguendo procedure industrializzate che permettono anche di minimizzare i rifiuti.

Inoltre, l’utilizzo dei pannelli sandwich permette di limitare l’impatto del cantiere. Si fa notare che, in molti casi, i pannelli sandwich comprendono parti degli impianti tecnologici, così da facilitare le operazioni da realizzare in cantiere. Si sottolinea che l’utilizzo dei pannelli sandwich può comportare anche significative riduzioni dei tempi del cantiere.

I pannelli sandwich sono dotati di durabilità correlata all’uso di calcestruzzi di qualità ed ai dettagli costruttivi con cui essi sono realizzati. Si fa presente che possono

essere utilizzati anche calcestruzzi ad alte prestazioni che concorrono ad allungare la vita di esercizio dei pannelli sandwich.

I pannelli sandwich possono presentare significativi valori della resistenza al fuoco.

I pannelli sandwich possono essere (e spesso lo sono) esteticamente molto pregevoli e possono essere realizzati con le specifiche forme, dimensioni, colori, e finiture previste nel progetto. Si sottolinea che, considerate le tecnologie e le procedure di costruzione solitamente adottate, il progettista dell'edificio ha grande libertà nello scegliere le caratteristiche e le qualità dei pannelli sandwich, non solo in termini di "prestazioni tecniche", ma anche in termini di "aspetto estetico".



I pannelli sandwich sono solitamente economicamente vantaggiosi e, a seconda dei casi, possono essere realizzati oltre che come elementi di tamponamento anche come elementi portanti.

Di seguito si riporta l'elenco dei capitoli del Bollettino fib - PCI n. 84.

- 1 Introduzione
- 2 Termini e Definizioni e
- 3 Materiali e prestazioni
- 4 Progetto e particolari costruttivi
- 5 Produzione dei pannelli sandwich
- 6 Trasporto e Montaggio
- 7 Controlli e Manutenzione

IL CONTRIBUTO DEL CTE

Come da tradizione, il CTE vuole offrire il proprio contributo a progettisti, prefabbricatori, investitori e costruttori per dare valore aggiunto alla loro attività.

A questo scopo riteniamo che il documento fib offra molti spunti interessanti sui quali soffermarsi.

Il pannello prefabbricato sandwich è un elemento costruttivo fondamentale, che racchiude in sé diverse delle caratteristiche appartenenti ai più attuali trend del mondo delle costruzioni:

- Sostenibilità
- Modularità
- Industrializzazione di processo

In questa ottica rivolgeremo la nostra attenzione ai seguenti aspetti, partendo dagli spunti offerti dal Bollettino e ampliando l'orizzonte.

- Applicazioni

I pannelli di questo genere vengono spesso associati al solo tamponamento di edifici industriali e logistici (capannoni). In realtà il sistema costruttivo con rivestimento di pannelli prefabbricati viene utilizzato in molte e prestigiose realizzazioni come elemento sia funzionale che architettonico, con risultati sorprendenti. Esperienze anche dall'estero saranno parte del nostro evento per presentare queste applicazioni.

- Tecnica

Il calcolo strutturale, i collegamenti, i materiali di isolamento, le finiture e le dimensioni: la tecnologia si evolve e quindi ci occuperemo di presentare i principali aspetti, anche molto pratici, di questi argomenti.

- Processi

Come già anticipato, le costruzioni modulari con elementi pre-fabbricati assemblati in opera costituiscono la nuova frontiera del mondo delle costruzioni (tecnologia off-site). Anche in questo caso i

pannelli prefabbricati possono contribuire a definire uno standard costruttivo estremamente moderno. Come cambiano i processi, quali sono esperienze già in essere, quale è il contributo della digitalizzazione: di questi temi parleremo e ci confronteremo, per studiare nuove opportunità anche per il mercato italiano.

- Innovazione

Uno sguardo al futuro su nuovi materiali e tecnologie la ricerca evolve rapidamente e le opportunità che si intravedono costituiscono un interessante argomento di confronto.