



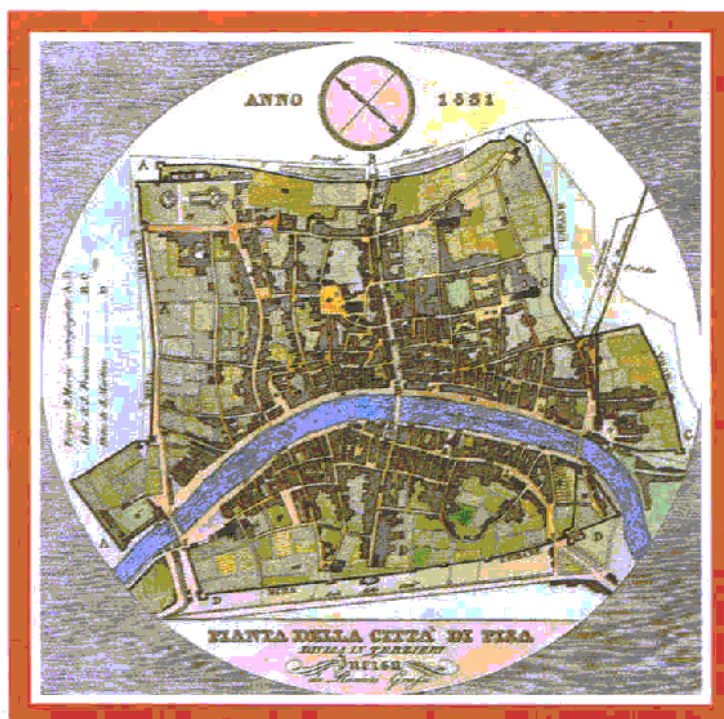
Collegio dei Tecnici della Industrializzazione Edilizia

**CONTRIBUTO METODOLOGICO
ALLA STIMA PREVENTIVA DEL
COSTO DI EDIFICI INDUSTRIALI
PREFABBRICATI MEDIANTE I
COSTI PARAMETRICI**

13° Congresso C.T.E.

Pisa, 9 - 10 - 11 Novembre 2000

**EDOARDO COSENZA
GIOVANNI FABBROCINO
IUNIO IERVOLINO
MARCELLO LANDO**
Università di Napoli Federico II



CONTRIBUTO METODOLOGICO ALLA STIMA PREVENTIVA DEL COSTO DI EDIFICI INDUSTRIALI PREFABBRICATI MEDIANTE I COSTI PARAMETRICI

**EDOARDO COSENZA
GIOVANNI FABBRICINO
IUNIO IERVOLINO
MARCELLO LANDO**
Università di Napoli Federico II

SUMMARY

Precast structures are an interesting option for structural designers when industrial buildings are concerned. However, design and manufacturing of precast elements is only one issue of global industrial process. Management of industrial plants requires adequate tools to choice between different options, basically from an economical point of view. In fact, cost of buildings is a relevant item in economic and financial management for feasibility studies.

The present paper aims to the development of a procedure for budgeting industrial precast buildings using the Parameterised Costs Method.

1. INTRODUZIONE

Le costruzioni prefabbricate sono destinate a molteplici settori dell'attività edilizia e sono realizzate impiegando sistemi costruttivi diversi ed integrabili in relazione alle specifiche necessità dimensionali, funzionali ed estetiche che caratterizzano ciascuna realizzazione.

I sistemi costruttivi si basano sull'impiego di manufatti prefabbricati in calcestruzzo normale e precompresso e sono in grado di rispondere a esigenze funzionali tanto mediante edifici monopiano, quanto pluripiano.

I modelli costruttivi che derivano dall'aggregazione di elementi monodimensionali ripropongono, sia pure con specifiche modalità di calcolo e d'impiego, il classico schema intelaiato che permette una grande flessibilità progettuale, limitata soltanto dalla capacità portante dei singoli componenti.

La standardizzazione propria del processo industriale garantisce:

- un buon livello di qualità del manufatto, in virtù del maggiore controllo in sede di esecuzione degli elementi;
- significativi vantaggi nella fase di esecuzione dell'opera, poiché le vicende

atmosferiche interferiscono in maniera marginale sulle attività di cantiere;

- una notevole riduzione della manodopera e dei tempi di esecuzione rispetto a quelli normalmente necessari alla realizzazione di un edificio di tipo tradizionale (tempi di consegna tra i due ed i quattro mesi per realizzazioni di media dimensione).

I suddetti vantaggi di natura tecnica ed operativa si traducono dal punto di vista economico globalmente in una maggiore attendibilità del preventivo di spesa.

Tutti questi aspetti rendono il ricorso alla prefabbricazione la migliore opzione progettuale in molti settori come quello industriale, commerciale, agricolo, sociale oppure per la viabilità.

Tale circostanza è confermata dai dati relativi alle costruzioni prefabbricate riportati in Tabella 1, nella quale, con riferimento al quadriennio '95-'98, sono indicate, in percentuale sul numero totale, le destinazioni d'uso delle costruzioni prefabbricate.

I dati confermano che preminente è la destinazione industriale, come pure abbastanza diffuso appare l'utilizzo per lo svolgimento di attività di terziario.

DESTINAZIONE	1995 (%)	1996 (%)	1997 (%)	1998 (%)
Industria	70.05	69.35	65.04	68.00
Terziario	15.85	17.22	18.54	18.22
Residenziale	4.95	5.03	5.80	4.41
Zootecnia	2.41	2.46	3.05	2.68
Sportiva	1.14	0.77	1.06	0.65
Infrastrutture	2.16	2.76	2.80	2.91
Viabilità	3.44	2.40	3.71	3.13

Tabella 1. *La destinazione d'uso degli edifici industriali prefabbricati [1].*

Pertanto, l'edilizia prefabbricata si configura come un settore dell'ingegneria civile di tipo trasversale, giacché il suo sviluppo e la sua diffusione sono fortemente connessi non solo agli aspetti strutturali e funzionali, ma soprattutto ad aspetti e problematiche economici e/o gestionali.

E' di sicuro interesse, quindi, il tema della valutazione del costo di tali edifici attraverso parametri sintetici, in modo da ottenere in maniera rapida una stima affidabile del costo di opere. Tuttavia la stima preventiva per questo tipo di opere è un'operazione complessa per il vasto ventaglio delle scelte progettuali e funzionali disponibili sul mercato, pur costituendo una fase cruciale della pianificazione di un nuovo insediamento industriale, giacché la voce di spesa per fabbricati una delle maggiori incidenze sul costo complessivo di un insediamento industriale.

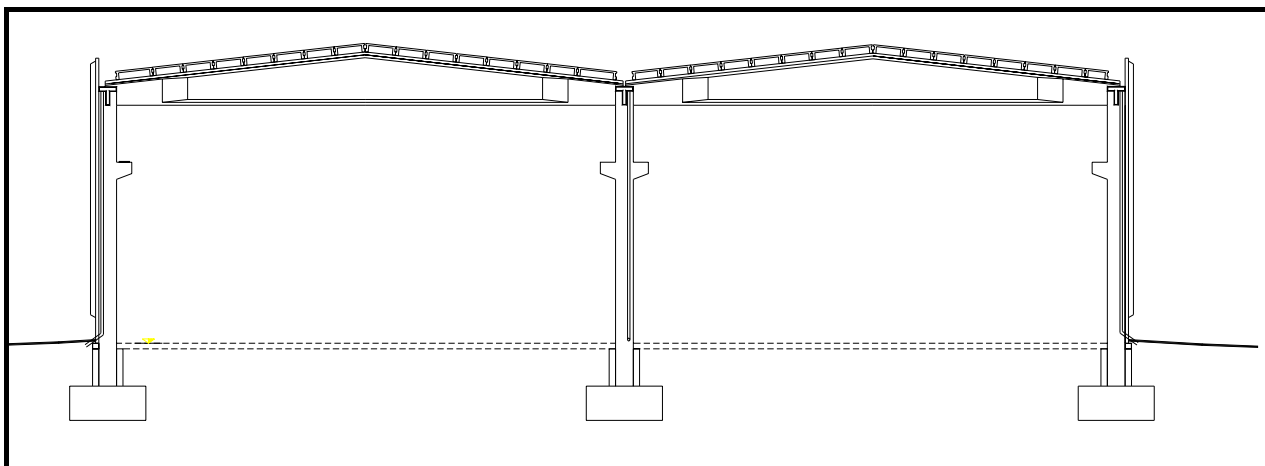


Figura 1. *Tipico edificio industriale ad elementi prefabbricati.*

La disponibilità di metodologie semplici ed efficaci per la preventivazione delle strutture è quindi centrale negli studi di pre-fattibilità così come nelle valutazioni di congruità d'offerta.

Il metodo dei costi parametrici si presta allo scopo; infatti, esso permette di individuare le variabili aggregate che più significativamente influenzano il costo complessivo dell'opera. Pertanto è evidente l'utilità per chi è in procinto di entrare in una partnership finanziaria, come anche per chi è interessato ad effettuare la stima del valore cauzionale di un immobile al fine di valutare la consistenza delle garanzie reali capaci di tutelare il rischio riveniente da un intervento finanziario.

Lo sforzo di questo lavoro, dunque, è stato quello di correlare gli aspetti strutturali alle valutazioni dei costi attraverso grandezze di immediata intelligibilità. A tale scopo, coerentemente con quanto offerto in campo nazionale, si è individuata la tipologia strutturale più frequentemente impiegata nella realizzazione di edifici industriali monopiano. Successivamente si è condotta una analisi di mercato per stabilire i meccanismi di formazione dei costi industriali all'interno delle aziende operanti nel settore della prefabbricazione. Quindi, a partire dal progetto di massima dei diversi edifici considerati, si sono dimensionati gli elementi strutturali e di completamento secondo normativa e si è valutato il costo della struttura a piè d'opera, comprensivo delle fasi di lavorazione, trasporto e montaggio, utilizzando i metodi di computo tradizionali del settore. Successivamente si sono stabilite le correlazioni analitiche tra i costi ed i parametri di controllo individuati.

Resta inteso che la struttura portante rappresenta solo una delle voci di costo da prendere in considerazione per l'installazione di un nuovo impianto industriale. Sono pertanto

escluse in questa fase altre significative incidenze "murarie" di un edificio industriale, quali le opere di impermeabilizzazione e coibentazione termica ed acustica, la pavimentazione industriale, i vespai, gli scavi di fondazione, le opere di lattoneria.

Sono altresì esclusi i servizi igienico-sanitario e le opere complementari di testata come pensiline, rampe e pianali destinati a servire le zone di carico e scarico delle materie prime e dei prodotti finiti. La finalità del lavoro è quindi fornire un contributo metodologico alla stima preventiva del costo delle strutture prefabbricate a destinazione industriale capace di integrare gli aspetti strutturali e quelli economici-gestionali in relazioni semplici e di immediata applicabilità, che forniscano una valutazione approssimata ma affidabile del costo dell'opera. Nondimeno, l'approccio può essere opportunamente esteso e generalizzato per tener conto di ciascuna delle voci di costo attualmente non considerate.

2. LA STRUTTURA DI RIFERIMENTO

Ciascun sistema costruttivo è formato da un insieme coordinato di componenti prodotti in una o più serie morfologiche, dimensionali e di armatura. Gli edifici ad uso industriale si avvalgono, oltre che di componenti specializzati, anche di elementi strutturali di impiego generale e comprendenti:

- Plinti di fondazione
- Pilastrini
- Travi
- Solai
- Tegoli
- Gronde, converse, elementi accessori
- Pannelli di tamponamento

Tutti i componenti sono corredati degli inserti e delle predisposizioni necessarie per la sicurezza, la movimentazione, il posizionamento,

l'assemblaggio ed il fissaggio in opera. Nel seguito si fa riferimento al tipico capannone per edilizia industriale ad ossatura portante in cui gli elementi strutturali sono monodimensionali.

La struttura, la cui sezione è riportata in Figura 1, è costituita da una maglia regolare di pilastri che possono includere le mensole per uno o più carroponti.

Le coperture, di diverso tipo, sono realizzate con tegoli precompressi che corrono longitudinalmente alla struttura e che possono incorporare lucernai e spesso si completano con una soletta collaborante in calcestruzzo. La scelta della tipologia di copertura da considerare è stata fatta in base ai dati riportati in Tabella 2, nella quale, in termini percentuali rispetto al numero totale di applicazioni, sono indicati i tipi più frequentemente realizzati. Non sono distinte le informazioni relative ad edifici pluripiano e monopiano, ma per quest'ultimi la copertura costituita da travi principali ad altezza variabile è risultata comunque la più diffusa. Per quanto riguarda i tegoli di copertura, non essendo disponibili dati statistici ci si è riferiti a sezioni precomprese classiche, quali quelle "pigreco" oppure "omega" (cfr. Figura 1).

TIPO	1995 (%)	1996 (%)	1997 (%)	1998 (%)
DOPPIA PENDENZA	28.9	25.8	28.1	28.0
PIANA NORMALE	24.8	23.6	24.5	26.0
PIANA DI PREGIO	10.3	10.5	11.5	12.3
SHED	9.5	8.9	9.9	10.5

Tabella 2. Le principali tipologie di copertura [1].

Per quanto attiene alle tamponature, si è esaminata l'attuale dinamica del mercato di tale componente dell'edificio industriale dalla quale è emersa la tendenza alla riduzione consistente dell'uso dei pannelli binervati, mentre in crescita è l'impiego di quelli piani in calcestruzzo alleggerito. Tra questi, appare predominante l'impiego di tamponature con superiori livelli di finitura rispetto a quelli lisci.

3. I COSTI INDUSTRIALI

Per costo industriale nell'ambito del presente lavoro si intende il costo imputabile al prodotto posato in opera, per cui esso ingloba non solo i costi di lavorazione in stabilimento ma anche delle fasi di trasporto e montaggio.

Il costo di un prodotto, contrariamente a quanto si possa ritenere, non è un dato ottenibile univocamente per via analitica, ma deve essere congruente con il metodo adottato (es. Activity

Based Costing, Job Costing, ecc.) che varia in base alle caratteristiche dell'azienda e del prodotto in questione.

Per quanto riguarda il settore della prefabbricazione, tradizionalmente gli elementi sono computati sulla base di un parametro geometrico, moltiplicato per un costo unitario di riferimento, eventualmente corretto da un fattore che tenga conto delle diverse opzioni progettuali.

Come grandezza geometrica, g , a seconda dei casi, si assume:

- il volume di calcestruzzo per gli elementi della struttura costituiti da cemento armato ordinario;
- la lunghezza per i componenti precompressi, in quanto caratterizzati da un contenuto tecnologico maggiore;
- la superficie per i pannelli bidimensionali.

Il costo del montaggio dei componenti può essere effettuato procedendo per valori tipici, che pertanto sono funzione della produttività e della qualificazione professionale del personale della singola azienda.

I costi del trasporto, invece, si possono dedurre elaborando i dati geometrici ed il numero degli elementi prefabbricati e procedendo alla scelta del veicolo ottimale e del numero di viaggi necessari che, combinati con la distanza del sito di installazione dall'impianto di prefabbricazione, determinano il costo complessivo dell'opera.

In termini analitici, il costo complessivo di produzione di un elemento strutturale i -mo $C_{p,i}$ si ricava pertanto a partire dal costo unitario $c_{p,i}$, moltiplicato per il parametro geometrico di riferimento g (lunghezza, superficie o volume). Tale dato va amplificato mediante un coefficiente k_i che tiene conto della serie dimensionale considerata che varia in base alle opzioni progettuali (eventuale sismicità della zona di edificazione, eventuale presenza di mensole da carroponte, spessore e qualità della finitura per i pannelli, superamento di lunghezze limite per le travi precomprese):

$$C_{p,i} = (1 + k_i) \cdot c_{p,i} \cdot g \quad [1]$$

Il costo di trasporto $C_{t,i}$ si ottiene a partire dal costo di trasporto chilometrico $c_{t,i}$, moltiplicato per la distanza d del cantiere dall'impianto di produzione, e per il numero n_i di viaggi necessari, con quest'ultimo parametro che dipende dalla geometria dell'elemento.

$$C_{t,i} = c_{t,i} \cdot d \cdot n_i \quad [2]$$

Si osservi che può essere utile tenere il costo di trasporto a parte, in quanto potrebbe rappresentare il discriminante fra due preventivi di

aziende situate a distanza diversa dal luogo di montaggio. Tale distanza, in ogni caso, si colloca in un intervallo limitato superiormente da quello che si definisce "raggio economico tipico" di una azienda di prefabbricazione; esso è certamente variabile in funzione della struttura aziendale e dalla tipologia dei prodotti offerti, ma generalmente si può stimare nella misura di 250 km.

Il costo di montaggio si ottiene moltiplicando il costo giornaliero della squadra tipo c_g per i giorni necessari al montaggio; questi ultimi dipendono ovviamente dalla geometria (superficie coperta e superficie laterale).

Tra i costi accessori devono essere computati i costi dei collegamenti, della posa delle boccole per i pilastri, e del noleggio della gru per la movimentazione e il montaggio in cantiere.

Va considerato altresì che per distanze dal sito di insediamento superiori a 100 km dallo stabilimento di produzione si va incontro a un incremento di costo dovuto al mantenimento in trasferta della squadra di montaggio.

Giova appena ricordare che il costo finale unitario per il committente ingloba anche l'utile di impresa. In tal senso il prezzo dell'offerta può variare in ragione del grado di elasticità della stessa impresa oltre che, ovviamente, del potere contrattuale del committente.

4. IL COSTO PARAMETRICO

La definizione del costo dell'opera in base al procedimento analitico discusso brevemente in precedenza è laboriosa e complessa per chi trova nella condizione di dover acquisire e/o fornire rapidamente un dato aggregato ed al tempo stesso affidabile.

La disponibilità dei singoli costi unitari (elementi, trasporti, ecc.) da un lato, le competenze tecniche specifiche per il dimensionamento strutturale degli elementi portanti, dall'altro, male si prestano ad una preventivazione rapida e compatibile con le finalità proprie delle stime preventive e/o delle verifiche di congruità d'offerta.

Per tutti questi motivi appare interessante l'impiego del Metodo dei Costi Parametrici, che consente generalmente di operare con dati aggregati e parametri di facile ed immediata individuazione.

In linea generale, il costo totale, C_{TOT} , di un manufatto può essere espresso nella forma:

$$C_{TOT} = c(g) \cdot g \quad [3]$$

dove con g si è individuato il parametro assunto

come grandezza di riferimento, generalmente la superficie coperta del manufatto, e con $c(g)$ il costo unitario.

La struttura della [3] è molto semplice ed efficace; è necessario, però, la definizione di un costo unitario che tenga conto, non solo della struttura in elevazione, ma dei costi caratteristici delle strutture prefabbricate come il trasporto e il montaggio ed ancora quello delle fondazioni.

L'esame della formazione del costo industriale dei manufatti prefabbricati fornisce delle indicazioni operative interessanti per la formulazione di una procedura estimativa dipendente da pochi, sintetici parametri da cui ottenere il dato numerico del costo.

Tali parametri sono riassunti nella Tabella 3.

VOCE	VARIABILI PRINCIPALI
Materiali ed elementi strutturali	Superficie coperta e laterale
Trasporto	Numero viaggi e distanza
Montaggio	Giorni/uomo e squadra tipo impegnati nella posa

Tabella 3. Voci del costo industriale dell'edificio prefabbricato e le relative variabili principali.

Un approccio efficace può essere, quindi, basato sulla relazione:

$$C_{TOT} = C_s + C_p + C_f + C_t + C_m \quad [4]$$

dove:

- C_s individua il costo della struttura in elevazione;
- C_p il costo dei pannelli di tamponatura;
- C_f il costo delle fondazioni;
- C_t il costo del trasporto e C_m il costo del montaggio.

4.1. LA STRUTTURA IN ELEVAZIONE

In primo luogo si esamina il problema del costo della struttura in elevazione; esso nello spirito del metodo dei costi parametrici si può esprimere nel modo che segue:

$$C_s = (1 + k_s + k_c + k_h) \cdot c_s \cdot S_c \quad [5]$$

La relazione sopra riportata fornisce il costo totale come il prodotto di un costo dell'unità di superficie dell'edificio di riferimento, c_s , per un coefficiente correttivo che tiene conto della sismicità della zona di impianto (k_s), della presenza del carroponete (k_c), dell'altezza del

fabbricato (k_h). In realtà la [5] esemplifica il legame funzionale tra il costo totale e ciascuna delle variabili citate, che è certamente più complesso e presenta interazioni tra le differenti variabili in gioco; tuttavia un approccio come quello proposto consente di ottenere un risultato sufficientemente accurato in considerazione degli obiettivi dell'analisi.

La valutazione del costo dei pannelli laterali viene effettuata, invece, con la formula:

$$C_p = (1 + k_p) \cdot c_p \cdot S_L \quad [6]$$

Il parametro c_p il costo dei pannelli per unità di superficie, dipende dalla superficie laterale S_L , opportunamente valutata in modo da tener conto dell'eccedenza di altezza dei pannelli rispetto alle travi li sostengono, e dalla tipologia dell'edificio considerato.

Il coefficiente correttivo k_p che interviene in questo caso tiene conto del grado di finitura delle tamponature che può essere più o meno pregiata.

Il costo di montaggio C_m e di trasporto C_t , si valutano, invece, come segue.

Per C_t si fa riferimento ad una formula del tipo:

$$C_t = d \cdot \sum_i (n_i \cdot c_{t,i}) \quad [7]$$

essendo d la distanza; n_i il numero di viaggi; $c_{t,i}$ il costo per viaggio per la tipologia di elementi i-ma.

Per C_m si assume::

$$C_m = g_m \cdot c_{sq} \quad [8]$$

in cui g_m è il numero dei giorni di montaggio e c_{sq} il costo giornaliero della squadra.

4.2. LE FONDAZIONI

Le fondazioni costituiscono un capitolo delicato nella preventivazione del costo di un edificio industriale prefabbricato. Dal punto di vista tecnico inoltre rappresentano un componente della struttura portante sul quale il rispetto delle tolleranze nelle fasi di posa dei plinti può incidere in maniera notevole e portare talvolta a contenziosi tra il committente e il costruttore. Infatti, una cattiva posa in opera può condurre all'impossibilità di eseguire l'opera nei tempi stabiliti e determinare costi aggiuntivi per le operazioni correttive. Inoltre, a differenza delle strutture in elevazione, il dimensionamento degli elementi di fondazione e la scelta della loro tipologia dipendono fortemente da fattori di tipo geotecnico i quali non si prestano a forte tipizzazione.

La grande variabilità, anche in ambiti territoriali ristretti, delle proprietà dei terreni rende la stima preventiva delle opere dipendente dalla conoscenza, anche approssimata, delle principali proprietà geotecniche, che possono essere ad esempio dedotte da prove penetrometriche in situ. In fase progettuale viene definita la tipologia (fondazione diretta, su pali, con collegamenti prefabbricati o gettati in opera, ecc), scelte che costituiscono variabili da portare in conto.

In definitiva non è semplice riferirsi ad una struttura di fondazione "tipica", che costituisca il riferimento da inglobare nel costo dell'intera struttura. E' questo il motivo per cui nella relazione [4] il costo delle fondazioni, C_f , è stato indicato come un termine autonomo, del quale si può dare un'espressione analitica del tipo:

$$C_f = (1 + k_f) \cdot c_f \cdot S_c \quad [9]$$

Essa necessita di specifiche analisi di dettaglio, per la definizione sia del costo unitario, c_f , che del coefficiente correttivo, k_f , quest'ultimo dipendente non solo da fattori geotecnica, ma anche tipologici della struttura in elevazione. Tali analisi, peraltro, non possono prescindere dalla prassi dell'affidamento dei lavori di fondazione (prove, scavi, posa, travi di collegamento) ad imprese terze rispetto ai prefabbricatori, le quali li compiono a piè d'opera.

4.3. PARAMETRIZZAZIONE DEL COSTO

La stima dei costi unitari che intervengono nelle relazioni riportate nei paragrafi precedenti, oltre che la valutazione dei coefficienti correttivi k , è stata eseguita partendo dalla definizione di geometrie tipiche degli edifici industriali e dalla individuazione del costo totale delle strutture in elevazione per via analitica mediante la valutazione dell'incidenza delle diverse voci, con l'ausilio dei dati raccolti presso aziende di prefabbricazione distribuite sull'intero territorio nazionale.

L'analisi del mercato è stata condotta, anche in funzione del tempo, ed ha consentito di individuare le tendenze del mercato della prefabbricazione negli ultimi anni. Mediamente, in regime di inflazione molto bassa, il settore ha mostrato un trend in aumento del 2% nel periodo 1997-1998, una stasi nel 1998-1999 ed un incremento del 3,5 % nell'ultimo anno.

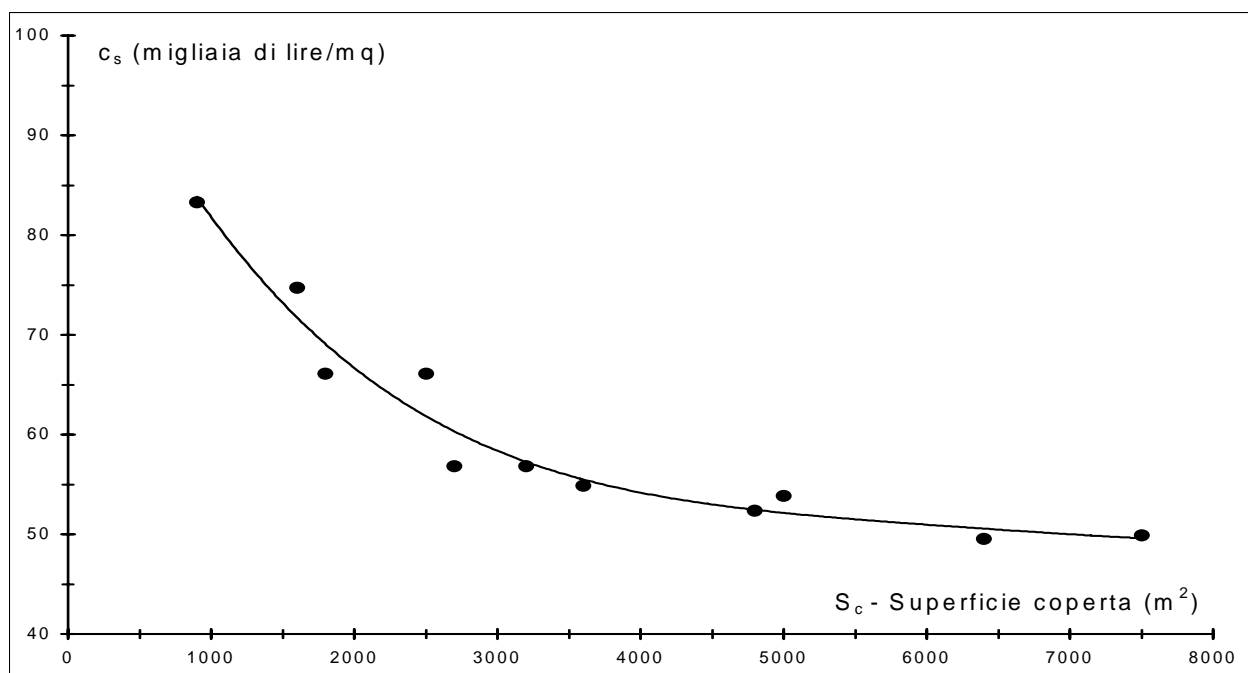


Figura 2. Curva del costo unitario di riferimento al variare della superficie coperta

Allo stato è lecito ipotizzare un'ulteriore crescita dei prezzi nei prossimi anni legato soprattutto alla entrata in vigore di normative stringenti nel campo della resistenza al fuoco delle strutture, con la conseguente necessità di rivedere la progettazione ed eventualmente modificare le serie dimensionali degli elementi prefabbricati. Questa situazione potrebbe far uscire dal mercato, che "svende" la propria tecnologia, aziende più piccole già oggi marginali.

S _c m ²	CAMPATE	NAVATE	PIANTA m ²	MAGLIA m ²
900	2	3	30x30	10.0x15.0
1600	2	4	40x40	10.0x20.0
1800	4	3	30x60	10.0x15.0
2500	3	5	50x50	10.0x16,3
2700	6	3	30x90	10.0x15.0
3200	4	4	40x80	10.0x20.0
3600	8	3	30x120	10.0x15.0
4800	6	4	40x120	10.0x20.0
5000	6	5	50x100	10.0x16.3
6400	8	4	40x160	10.0x20.0
7500	9	5	50x150	10.0x16.3

Tabella 4. Il campo parametrico

Il problema del dimensionamento delle strutture è stato affrontato anch'esso mediante un approccio basato su valori tipici per quanto attiene alle azioni verticali da considerare in copertura e l'azione del vento. Sono stati introdotti, infatti, nelle analisi un carico da neve tipico di 10 N/mm²

ed un'azione del vento equivalente statica di 4,5 N/mm².

Il costo unitario base, quindi, è stato dedotto per una struttura che deve resistere alle citate azioni verticali e da vento, è alta 7 m, si trova in III categoria sismica ed è priva di carroponete. Come mostrato dalla Tabella 4 sono state esaminate 11 tipologie dimensionali, da 900 a 7500 mq.

Altezza	7 – 9 m
Zona sismica (S)	6-9-12
Predisposizione Carroponete da 5 t	Si - No
Finitura Pannelli	Media
Distanza (km)	100
Carico da neve (kg/m ²)	100
Vento (kg/m ²)	45

Tabella 5. Opzioni progettuali

Al fine di valutare i coefficienti correttivi k , il dimensionamento e la valutazione del costo sono stati ripetuti nel caso di zone di sismicità $S=9$ ed $S=12$, nel caso in cui sia necessaria la predisposizione all'installazione di un carroponete di portata pari a 5 t, nel caso in cui l'altezza dell'edificio sia incrementata a 9 m. Il quadro riassuntivo di tutte le opzioni progettuali considerate è riportato in Tabella 5.

Per tutti i casi in Tabella 4 si sono anche valutati i costi di montaggio ed i costi di trasporto per una distanza fra stabilimento e cantiere pari a 100 km, per distanze superiori, va tenuto conto

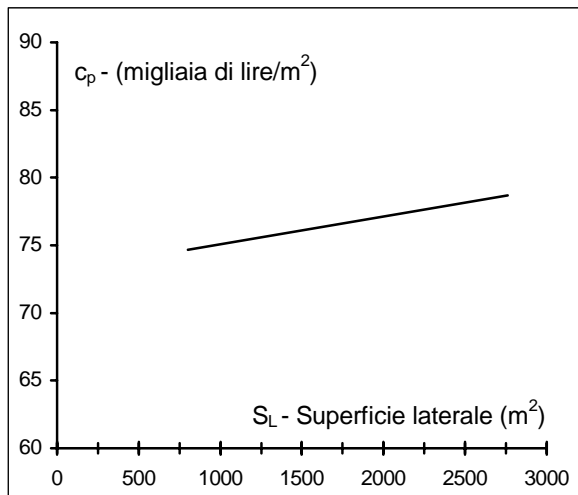


Figura 3. Costo globale (comprensivo del montaggio) dei pannelli al variare della superficie laterale

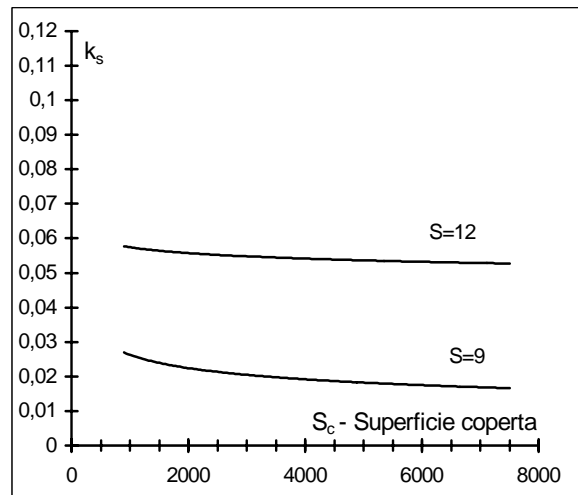


Figura 4. Termine correttivo dipendente dalla zona sismica (k_s) (S=9 II cat. Sismica; S=12 I cat. sismica).

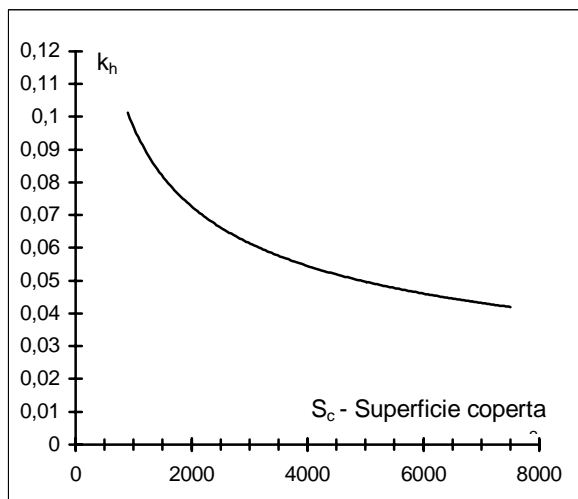


Figura 5. Termine correttivo per l'incremento d'altezza (k_h); curva di passaggio da un'altezza di 7 m a 9 m.

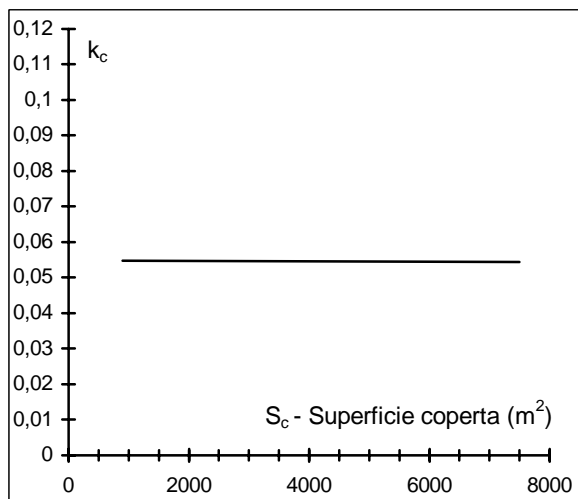


Figura 6. Termine correttivo per la presenza del carroponete da 5t (k_c).

del costo necessario al mantenimento in trasferta della squadra di montaggio.

L'elaborazione dei costi in funzione dei parametri macroscopici introdotti nella Tabella 3 ha fornito i risultati rappresentati nelle Figure 2 e 3, che riportano i costi unitari delle strutture c_s e dei pannelli c_p rispettivamente al variare della superficie coperta, S_C , e laterale, S_L .

I costi unitari della struttura si riducono all'aumentare dell'estensione e si osserva una buona correlazione fra le curve interpolanti e i punti rappresentativi delle dimensioni di riferimento. Nelle valutazioni sono stati considerati i costi dei lucernai, inglobati in quelli della copertura e quindi della struttura. L'impermeabilizzazione costituisce una voce a

parte, ed è legata alla superficie della copertura e costituisce un sovrapprezzo rispetto al costo al metro quadro della struttura. La presenza dei portoni è stata considerata nel costo delle pannellature, in numero di uno per campata. Le Figure 4, 5 e 6 riportano il valore dei coefficienti correttivi k_s , k_p , k_h , sempre al variare della superficie coperta S_C . Si osservi che, dal punto di vista strutturale, la variazione della sismicità e la presenza del carroponete hanno conseguenze sul dimensionamento dei pilastri e della fondazione, ma non della copertura; l'aumento dell'altezza del pilastro ha conseguenze anche sul costo dei pannelli.

Dai grafici si deduce che la variabilità dei coefficienti è piuttosto modesta al variare di S_c , tranne che nel caso di k_f . In questo modo è possibile l'identificazione dei costi a metro quadro coperto delle strutture, a metro quadro di superficie laterale per i tamponamenti e per i portoni considerando di questi ultimi uno per campata, i costi di trasporto per tipo di elemento strutturale e i costi di montaggio in base ai tempi medi di posa in opera di strutture e tamponamenti laterali.

A tal fine si sono determinati il numero degli elementi strutturali al variare di S_c (tegoli, travi principali e pilastri) e di S_L (pannelli laterali).

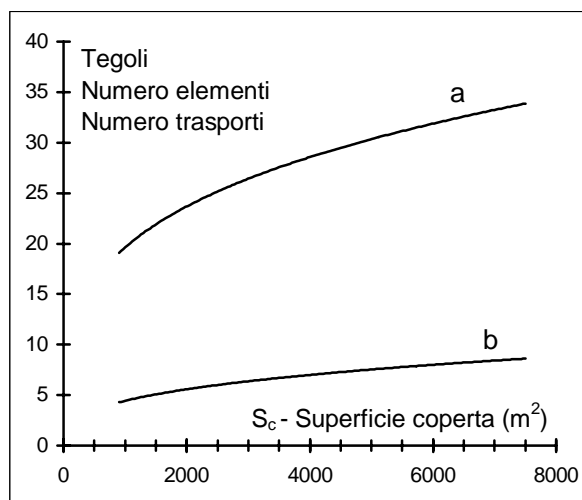


Figura 7. Diagrammi operativi della struttura; numero dei tegoli (a) e dei viaggi di trasporto (b) al variare della superficie coperta

Essendo valutate anche le dimensioni degli elementi, si è poi ottenuta la definizione del numero di viaggi, riportati nelle Figure 7, 8, 9, 10.

Per quanto attiene al tema delle fondazioni, nel presente lavoro è allora parso utile focalizzare l'attenzione sul solo parametro c_f , che rappresenta nella relazione [6] il costo unitario della fondazione di riferimento.

E' stata presa in esame la fondazione più semplice, legata prevalentemente a parametri strutturali come gli scarichi dei pilastri. Si opera, in altri termini, nell'ipotesi che nel sito di impianto siano eseguite il terreno è molto compatto e possiede eccellenti caratteristiche meccaniche.

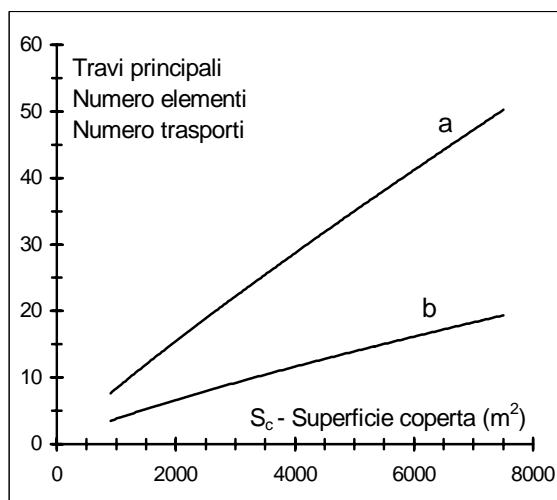


Figura 8. Diagrammi operativi della copertura; numero delle travi principali (a) e dei viaggi di trasporto (b) al variare della superficie coperta

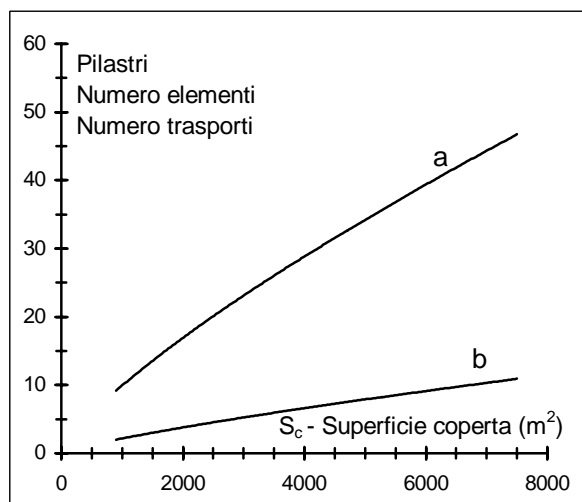


Figura 9. Diagrammi operativi della struttura; numero dei pilastri (a) e dei numero dei viaggi di trasporto (b) al variare della superficie coperta.

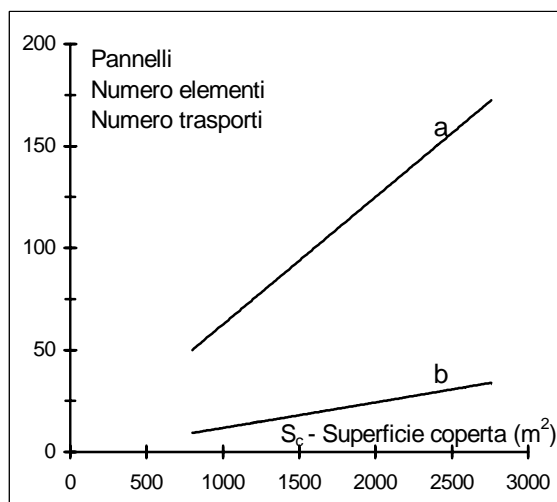


Figura 10. Diagrammi operativi della struttura; numero dei pannelli (a) e numero dei viaggi di trasporto (b) al variare della superficie coperta.

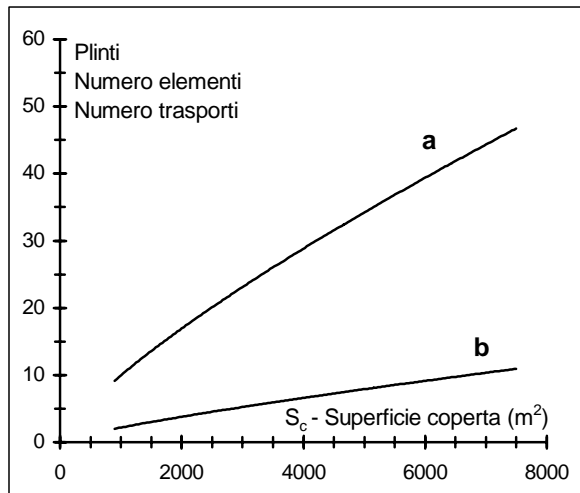


Figura 11. Diagrammi operativi delle fondazioni: numero dei plinti (a) e numero dei viaggi di trasporto (b) al variare della superficie coperta

In particolare, si è presa in considerazione alla fondazione costituita da plinti a bicchiere prefabbricati con una soletta inferiore di ripartizione dei carichi, che peraltro vengono generalmente posati in opera dallo stesso fornitore della struttura in elevazione. Si è tralasciato, pertanto, in questa fase la valutazione del coefficiente correttivo k_f , che pure può intervenire in maniera piuttosto marcata sul costo complessivo del manufatto. Nella Figura 12 è riportato il costo globale delle fondazioni (comprensivo di montaggio ma escluso trasporto) in funzione della superficie coperta. La Figura 11 consente il calcolo delle spese di trasporto; si è considerato che in genere si portano non più di quattro/sei plinti a viaggio visti i limiti di altezza imposti dalle normative vigenti.

5. ESEMPIO APPLICATIVO

Nel presente paragrafo si riporta un esempio applicativo della metodologia proposta; a tal proposito è opportuno rilevare che l'aspetto principale che vuole essere evidenziato non è il dato numerico del prezzo finale, bensì la capacità della procedura di essere innescata da pochi dati, semplici da definire e che non richiedono particolari competenze nell'ambito dell'ingegneria strutturale.

Ci si pone, quindi, dal punto di vista dell'attore di un business plan, al quale generalmente sono disponibili dati circa la superficie da coprire, la destinazione d'uso del fabbricato, nonché di limiti dimensionali in pianta per garantire il soddisfacimento dei requisiti minimi funzionali. In Tabella 6, si riporta un riepilogo dei dati di

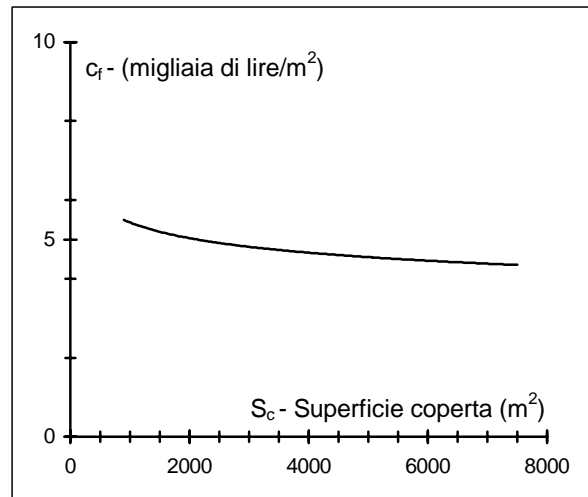


Figura 12. Costo unitario delle fondazioni leggere in migliaia di lire al variare della superficie coperta

ingresso nella procedura.

SUPERFICIE DA COPRIRE	1600 m ²
DIMENSIONE MINIMA IN PIANTA	25 m
ALTEZZA RICHIESTA	9 m
FINITURA PANNELLI	MEDIA
CARROPONTE	SI - 5 t
SISMICITA' DEL SITO	III CAT.

Tabella 6. Dati di ingresso

Si nota che l'unico parametro che può sembrare di non immediata reperibilità, e di natura "strutturale" è quello relativo alla sismicità della zona. In realtà è molto semplice ottenere questa informazione consultando la mappa sismica del territorio nazionale, ovvero interrogando gli uffici tecnici delle amministrazioni comunali. Stabilito questo bagaglio minimo di informazioni basta ricorrere alla banca dati che da luogo alle curve riportate nella presente nota, a titolo esemplificativo, per computare le voci base di costo dell'opera ed i relativi coefficienti correttivi. L'elaborazione di tali dati alla luce della relazione [4] consente di ottenere assai semplicemente il dato numerico del costo industriale della struttura portante e dei tamponamenti del fabbricato "campione", che nel caso in esame è di circa lire 335.000.000 con un costo a metro quadro di circa 210.000 lire. Conviene sottolineare che tale costo va qui riferito alla sola fornitura oggetto di offerta di un produttore di manufatti prefabbricati, con tutte le esclusioni (pavimentazioni, opere di lattoneria, coibentazioni, ecc.) già ricordate in precedenza.

6. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Le attività svolte nel corso dello studio discusso nel presente lavoro hanno mostrato la difficoltà connessa alla standardizzazione della valutazione del costo di edifici industriali ad elementi prefabbricati. Il tipo di mercato in cui le aziende di prefabbricazione si trovano ad operare fa sì che generalmente il prodotto sia confezionato "a misura per il cliente" ossia per progetto, ciò è possibile grazie alla spinta componibilità degli elementi e delle finiture che la prefabbricazione consente ed alla qualità che la produzione in stabilimento fornisce rispetto a quella in cantiere. La fornitura del capannone industriale finito è tipica solo delle aziende maggiori, le quali sono le uniche capaci di sostenere, attraverso un mercato più ampio, i costi degli investimenti per gli impianti che, per questo settore, sono particolarmente rigidi. Per questo con riferimento ad una specifica tipologia di una struttura monopiano ad elementi prefabbricati è stata sviluppata una procedura basata sul Metodo dei Costi Parametrici per la sola struttura portante. In realtà la validità dell'approccio è generale, nel senso che, indipendentemente dal tipo di struttura e delle sezioni degli elementi che la compongono, il costo è regolato da relazioni dello stesso tipo.

Lo sforzo che è stato fatto è quello di integrare in un unico processo le problematiche strutturali e quelle gestionali, nonché fornire uno strumento di valutazione sintetica del costo dei fabbricati industriali a partire da pochi dati. La scelta dei parametri guida è stata elaborata tra le grandezze globali della costruzione, di definizione univoca, semplice e slegata da specifiche competenze di natura strutturale. L'attenzione in questa fase è stata, quindi, rivolta alla codifica di una procedura il cui fondamento è l'analisi del mercato e della sua dinamica. Il contributo metodologico discusso nel presente lavoro, infatti, da un lato è suscettibile di una integrazione e completamento con tutte le rimanenti componenti della costruzione, dall'altro è sufficientemente flessibile per seguire le variazioni dei costi dei materiali e degli elementi indotte dalla richiesta della committenza e dall'introduzione di normative tecniche differenti da quelle attuali con conseguenti eventuali riprogettazione e cambiamento delle serie dimensionali.

RINGRAZIAMENTI

Per la fattiva e preziosa collaborazione, si ringraziano: ASSOBETON; Aquila Prefabbricati, Torre Annunziata (NA); Gecofin Prefabbricati,

Caselle di Sommacampagna (VR); Solai e Travi Varese, Induno Olona (VA); RDB, Pontenure (PZ).

BIBLIOGRAFIA

- [01] **ASSOBETON** Banca dati Assobeton – Sezione produttori strutture prefabbricate. Indagine conoscitiva centri di produzione. Settembre 1999, Milano
- [02] **FURLANI F., RIGHETTI R., SABELLI G.:** Verifica dei fattori critici di successo esterni ed analisi del posizionamento competitivo nel mercato dei prefabbricati in calcestruzzo ad uso industriale, Consorzio Universitario per gli Studi in Organizzazione Aziendale, Milano 1991
- [03] **DALLA COLLETTA G., FURLANI F., PICCARI P., RIGHETTI R., SABELLI G.:** Analisi del settore dei prefabbricati in calcestruzzo ad uso industriale Consorzio Universitario per gli Studi in Organizzazione Aziendale, Milano 1991
- [04] **IERVOLINO I.,** Progettazione e parametrizzazione del costo di edifici industriali prefabbricati, tesi di laurea per il conseguimento del titolo di Dottore in Ingegneria Gestionale, Napoli, 2000.
- [05] **LAMBIASE A., MANCINO M., TOCCHETTI P.:** Studio del costo parametrico di edifici industriali ad elementi strutturali prefabbricati, Impiantistica Italiana n°10 Novembre 1991
- [06] **D.M. LL.PP. 09.01.96** Norme tecniche per il calcolo l'esecuzione ed il collaudo delle strutture normale e precompresso e per le strutture metalliche.
- [06] **D.M. LL.PP. 16.01.96** Norme tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni dei carichi e dei sovraccarichi
- [07] **C.N.R. NORME TECNICHE:** Istruzioni per il progetto, il controllo e l'esecuzione di strutture prefabbricate in calcestruzzo (CNR 10025 98), 1998

E.Cosenza (*cosenza@unina.it*), G.Fabbricino, (*fabbroci@unina.it*), I.Iervolino (*iuniervo@unina.it*)
Dipart. di Analisi e Progettazione Strutturale.
M.Lando (*lando@unina.it*)
Dipart. di Progettazione e Gestione Industriale.