

PREVENTIVAZIONE SINTETICA DEL COSTO DEGLI EDIFICI INDUSTRIALI PREFABBRICATI

EDOARDO COSENZA - GIOVANNI FABBROCINO - IUNIO IERVOLINO
Dipartimento di Analisi e Progettazione Strutturale - Università di Napoli Federico II

MARCELLO LANDO
Dipartimento di Progettazione e Gestione Industriale - Università di Napoli Federico II

Le costruzioni prefabbricate sono in grado di soddisfare una molteplicità di esigenze, potendo in ciò valersi di sistemi costruttivi diversi ed integrabili in relazione alle specifiche occorrenze dimensionali, estetiche e funzionali che caratterizzano ciascuna realizzazione. Il ricorso alla prefabbricazione appare la migliore opzione costruttiva per le svariate possibili destinazioni d'uso, industriale, agricolo, commerciale e terziario in genere. E' dunque di verosimile interesse, poter disporre di un criterio di preventivazione rapida ed affidabile del costo degli edifici prefabbricati, fondato sull'impiego di parametri allo scopo significativi.

Nel presente lavoro viene per l'appunto discussa una procedura estimativa che utilizzando opportuni costi parametrici, consente di correlare i caratteri strutturali al costo finale dell'edificio.

Synthetic estimate of the expenditure for precast industrial buildings

Precast constructions are able to satisfy many different needs using fabrication systems that can be integrated to fully match dimensional, aesthetic and functional requirements characterising any realization. Precasting seems to be the best fabrication option for various buildings purposes as manufacturer, agricultural and commercial. Therefore is interesting to

get a quick and reliable estimation procedure for expenditure of precast structures based on meaningful parameters. In the present papers the parametric evaluation method using parametric costs that correlates structural features to the building final cost is discussed.

1. CONSIDERAZIONI PRELIMINARI

L'estrema componibilità delle strutture prefabbricate, insieme alla qualità del processo produttivo e ai ridotti tempi di realizzazione ed installazione costituiscono da sempre i motivi che ne determinano il ricorrente impiego in alternativa all'edilizia tradizionale.

In ordine alla varietà delle destinazioni d'uso degli immobili industriali, l'edilizia prefabbricata offre tipologie strutturali semplici, fortemente standardizzate e capaci di assecondare esigenze dimensionali altrimenti non compatibili con l'impiego di strutture ordinarie in cemento armato. Nell'ambito delle varie strutture prefabbricate ad *ossatura portante*, lo schema strutturale deriva dall'aggregazione di elementi monodimensionali, e quindi ripropone il classico sistema intelaiato in cui è variabile solo la tipologia di copertura.

Inoltre, la prefabbricazione costituisce un settore dell'ingegneria in cui, accanto ai problemi di progettazione strutturale e di ottimizzazione delle prestazioni vanno affrontati problemi relativi ai processi produttivi, alle strategie di commercializzazione ed alla gestione delle risorse umane e tecnologiche nelle diverse fasi (fabbricazione degli elementi, trasporto al sito di impianto e successivo montaggio) del processo costruttivo.

E' dunque ben verosimile l'interesse di mettere a punto uno strumento capace di correlare gli aspetti strutturali alla valutazione dei costi – attraverso grandezze di immediata individuazione, come ad esempio la superficie coperta – allorché si tratti di assumere decisioni di rilievo, come accade nelle analisi di fattibilità ovvero in sede di esame

comparativo di offerte di fornitura, e di verifiche di congruità in genere.

In questo spirito si è intrapreso uno studio finalizzato alla codifica di una metodologia per la stima preventiva di edifici industriali monopiano ad elementi prefabbricati [3].

Lo studio si è valso di una preventiva indagine *sul campo*, svolta dagli autori presso qualificate imprese del settore, per risalire ai meccanismi di formazione dei costi industriali della prefabbricazione. Attraverso l'elaborazione di una serie di progetti strutturali, secondo le indicazioni della normativa tecnica vigente [4÷9] è stata formulata una correlazione analitica tra i parametri caratteristici delle strutture portanti e il costo totale, comprensivo degli oneri di trasporto e montaggio.

Il presente lavoro è orientato alla presentazione del contributo metodologico elaborato sul tema nonché degli avanzamenti ed integrazioni conseguiti dagli stessi autori rispetto a precedenti lavori [3, 10, 11].

In particolare, da un punto di vista strutturale è stata effettuata una distinzione tra fabbricati destinati ad aree a bassa sismicità (zona sismica di terza categoria in base alla classificazione della normativa tecnica italiana), e quelli destinati a zone non sismiche.

Da un punto di vista funzionale, invece, sono state elaborate altre significative incidenze "murarie", quali le opere di impermeabilizzazione, coibentazione ed isolamento, la pavimentazione industriale e gli infissi di grande luce presenti generalmente in corrispondenza delle testate.

Sono esclusi i servizi igienico-sanitari, i vespai, gli scavi di fondazione, le opere di lattoneria 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, ma vale appena osservare che lo stesso approccio può essere esteso alla considerazione di ogni voce di costo

non esplicitamente portata in conto.

2 – SISTEMA COSTRUTTIVO TIPICO

Ciascun sistema costruttivo è formato da un insieme coordinato di componenti prodotti in una o più serie morfologiche, dimensionali e di armatura. Gli edifici prefabbricati si avvalgono, oltre che di componenti speciali, anche di elementi strutturali di impiego generale qui di seguito richiamati:

a) Struttura in elevazione:

- Pilastri;
- Travi;
- Solai;
- Tegoli;
- Gronde, converse, elementi accessori;

b) Fondazioni:

- Plinti di fondazione;
- Travi di collegamento;

c) Elementi di completamento:

- Pannelli di tamponamento;
- Pavimentazioni;
- Portoni.

Tutti i componenti sono corredati di inserti e predisposizioni necessari per la sicurezza, la movimentazione, il posizionamento, l'assemblaggio ed il fissaggio in opera.

La struttura, la cui sezione tipo è riportata in fig.1, è costituita da una maglia regolare di

pilastrini che possono includere le mensole per l'appoggio di uno o più carroporti.

Le coperture, di diversa tipologia, sono realizzate con tegoli precompressi che corrono longitudinalmente alla struttura, che possono incorporare lucernai e spesso si completano con una soletta collaborante in calcestruzzo. Per le occorrenze del presente studio, la scelta della copertura da considerare è stata fatta in base ai dati ASSOBETON [12], in cui, sono indicati i tipi più frequentemente realizzati. In tali dati, non sono distinte le informazioni relative ad edifici pluripiano e monopiano, ma per questi 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 di utilizzo, ci si è riferiti a sezioni precomprese classiche, quali quelle "pigreco" oppure "omega" (v. fig.1).

In ordine ai tamponamenti si è riscontrata la sensibile tendenza alla riduzione dell'uso dei pannelli binervati, mentre risulta in crescita l'utilizzo di quelli piani; tra questi, appare predominante l'impiego di tamponature con superiori livelli di finitura rispetto a quelli lisci.

Le pavimentazioni industriali sono fortemente dipendenti dalla destinazione specifica dell'edificio anche se hanno una base comune costituita da una soletta di calcestruzzo armato su cui si possono applicare strati di resina epossidica che tengono conto dei livelli di finitura richiesti per le applicazioni ordinarie ovvero speciali. Per i portoni, infine, sono state considerate le tipiche soluzioni costruttive in acciaio, portando in conto anche l'opzione relativa al comando meccanizzato.

3 – VALUTAZIONE DEL COSTO INDUSTRIALE DEL MANUFATTO

Nell'ambito del presente lavoro si intende per "costo industriale" quello imputabile all'intero manufatto posato in opera, aggiungendo ai costi di prefabbricazione quelli di

trasporto e di montaggio.

Il costo di produzione, contrariamente a quanto si possa ritenere, non è univocamente ottenibile per via analitica, risultando in diretta connessione con il metodo adottato dal produttore (es. Activity Based Costing, Job Costing, ecc.) in base ai caratteri specifici dell'azienda e del prodotto in questione [13].

La procedura di computo dei costi in fabbrica della categoria *i-esima* di elementi della struttura $C_{p,i}$, tipica del costing interno alle aziende di prefabbricazione [10] prevede un parametro geometrico g , moltiplicato per un costo unitario di riferimento $c_{p,i}$, eventualmente corretto da un coefficiente incrementale k_i che tiene conto delle diverse opzioni progettuali, come indicato nella relazione generale

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

I costi di montaggio si valutano in base al costo giornaliero c_{sq} della squadra tipo e al numero di giorni occorrenti al completamento dell'opera, ovviamente correlati alle dimensioni caratteristiche dell'edificio (superficie coperta e altezza).

Il costo di trasporto $C_{t,i}$ relativo alla categoria *i-esima* può esprimersi nella forma

$$C_{t,i} = c_{t,i} \cdot d \cdot n_i \quad (2)$$

in cui $c_{t,i}$ è il costo di trasporto chilometrico, d la distanza del cantiere dal sito di prefabbricazione, e n_i il numero di viaggi necessari al trasporto, comprensibilmente dipendenti dalla geometria dell'elemento.

Giova dire che la scelta di considerare a parte gli oneri di trasporto, consente di enucleare questa voce di costo per mettere a confronto offerte formulate da imprese situate a differente distanza dal sito di realizzazione. Quest'ultima, in ogni caso, si colloca in un intervallo

superiormente limitato dal *raggio economico competitivo* di un'azienda di prefabbricazione; che può ragionevolmente assumersi nell'ordine dei 250 km.

Tra gli oneri accessori devono essere poi computati i costi relativi al collegamento tra gli elementi, alla posa delle boccole per i pilastri e al noleggio della gru per la movimentazione e il montaggio in cantiere.

Poiché il costo finale per il committente ingloba anche l'utile di impresa, il prezzo in offerta potrà variare in relazione al grado di elasticità della stessa impresa fornitrice, oltre che, ovviamente, in base alla capacità contrattuale del committente.

Il costo considerato per le pavimentazioni è comprensivo della posa in opera; quello relativo ai portoni include le spese di installazione.

4 – PREVENTIVAZIONE SINTETICA

La stima del costo totale dell'opera mediante un procedimento interamente analitico, esteso cioè alla considerazione separata di tutte le categorie di componenti, come schematizzato attraverso le (1) e (2) si rivela laboriosa e perciò inadatta ai casi in cui la rapidità della valutazione risulti non meno importante dell'attendibilità della stessa.

Si conferma pertanto utile l'impiego di costi parametrici, che consente generalmente di operare con dati aggregati e parametri di agevole ed immediata individuazione.

In tal senso, il costo totale di un manufatto del tipo considerato, potrà essere espresso nella forma sintetica

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

in cui g individua una opportuna grandezza di riferimento (generalmente la superficie

coperta) e $c(g)$ il costo riferito all'unità di misura della grandezza in questione.

La struttura della (3), semplice ed efficace, richiede tuttavia la definizione di un costo unitario che tenga in debito conto tutti i costi connessi con l'impiego di strutture prefabbricate.

L'esame della formazione del costo industriale dei manufatti prefabbricati fornisce indicazioni operative interessanti per la formulazione di una procedura estimativa fondata su pochi e sintetici parametri. Questi ultimi sono riassunti nella tab.1.

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

$$C_{TOT} = C_s + C_p + C_f + C_t + C_m + C_{pv} + C_{pt} \quad (4)$$

dove al secondo membro figurano i costi rispettivamente relativi a:

- struttura in elevazione (C_s);
- pannelli di tamponatura (C_p);
- fondazioni (C_f);
- trasporto (C_t);
- montaggio (C_m);
- pavimentazione industriale (C_{pv});
- portoni industriali di testata (C_{pt}).

4.1 – Costo della struttura in elevazione

Il costo della struttura in elevazione può porsi nella forma

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

in cui S_c è la superficie coperta, c_s il costo della struttura riferito all'unità di superficie dell'edificio tipo, e gli addendi in parentesi compongono un coefficiente incrementale che tiene conto delle incidenze determinate dalla sismicità della zona di impianto (k_s), dal surdimensionamento richiesto per l'uso di carroponte (k_c), dall'altezza conferita al fabbricato (k_h).

Per i pannelli di tamponamento vale la relazione di costo

$$C_p = (I + k_p) \cdot c_p \cdot S_L \quad (6)$$

in cui S_L è la superficie laterale, c_p il costo per unità di superficie e k_p un coefficiente correlato al grado di finitura, più o meno pregiata.

Per i costi di trasporto C_t e di montaggio C_m , valgono le relazioni

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

$$C_m = g_m \cdot c_{sq} \quad (8)$$

in cui, in aggiunta ai simboli già introdotti, figura il numero g_m dei giorni di montaggio e il costo giornaliero onnicomprensivo c_{sq} della squadra di montaggio.

4.2 – Costo delle fondazioni

Le fondazioni costituiscono una voce alquanto singolare nella preventivazione del costo di un edificio industriale prefabbricato. La scelta tipologica e il dimensionamento degli elementi di fondazione, dipendono infatti fortemente da fattori di natura geotecnica che non si prestano ad una generalizzazione diffusa.

La grande variabilità, anche in ambiti territoriali ristretti, delle prestazioni meccaniche dei terreni non consente infatti di prescindere dalla preventiva valutazione dei caratteri geotecnici del sito, che devono quindi essere tenuti in debito conto anche quando si tratti di preventivazione sintetica.

In definitiva non essendo possibile riferirsi ad una “fondazione tipo” per la valutazione del costo dell’intera struttura, nella relazione (4) il costo delle fondazioni C_f è stato opportunamente distinto da quello della struttura in elevazione per conferirgli qui la forma

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

Quest’ultima necessita di specifiche analisi di dettaglio, per la definizione sia del costo unitario c_f sia dell’incidenza k_f , correlata non solo agli aspetti geotecnici ma anche alla tipologia della struttura in elevazione.

Tali analisi, inoltre, devono tener conto della prassi esecutiva dei lavori di fondazione (prove, scavi, posa, etc.) affidati ad imprese terze rispetto ai produttori degli elementi prefabbricati, le quali intervengono a piè d’opera.

In zona sismica, un corretto assetto delle fondazioni richiede l’impiego di travi di collegamento in cemento armato tra i plinti, il cui sviluppo complessivo dipende dalle dimensioni in pianta dell’edificio considerato. Di norma le travi di collegamento sono gettate in opera, ma per le precipue finalità del presente studio è sembrato opportuno assumere il caso che esse risultino prefabbricate come il resto della struttura dell’edificio. In questo caso i plinti *a bicchiere* sono costruiti in modo da permettere l’accoppiamento plinto-trave, come mostrato in fig.2. Dalle analisi svolte il coefficiente correttivo k_f del costo della fondazione

dovuto alla presenza delle travi di collegamento prefabbricate è pressoché costante al variare di S_c ($k_f = 4$).

4.3 – Costo della pavimentazione industriale

Le soluzioni disponibili per le pavimentazioni industriali sono svariate e correlate alla destinazione specifica dell'edificio. Esse contemplano una soletta di calcestruzzo di spessore variabile ($s = 10\div 20\text{cm}$), di resistenza caratteristica a compressione non particolarmente elevata (resistenza cubica caratteristica a compressione $R_{ck} = 25\div 30\text{ Mpa}$) con un'armatura in rete elettrosaldata di piccolo diametro ($\varnothing = 6\text{ mm}$) a maglia quadrata, con passo di 200 mm. La finitura standard prevede il cosiddetto *spolvero* di quarzo, avente lo scopo di migliorare le caratteristiche superficiali del calcestruzzo base e fornire un sufficiente *grip* al sistema. Finiture di livello superiore sono ad esempio quelle eseguite con uno strato di pastina di quarzo dello spessore di 4÷5 cm, che da un lato migliora notevolmente le prestazioni di durezza e resistenza superficiale della pavimentazione, e dall'altro incide in maniera piuttosto marcata (25÷30%) sul costo unitario della fornitura base. Per particolari applicazioni possono rendersi necessari ulteriori trattamenti che secondo i casi conferiscono alla pavimentazione caratteri speciali quali

- *antipolvere*, ad impregnazione di resina, per produzioni farmaceutiche ed alimentari,
- *elevata resistenza*, per la movimentazione di elementi di peso rilevante,
- *antisdrucchiolo*, per il rispetto di specifiche prescrizioni di sicurezza,
- *antiacido*, a doppia passata di rivestimento a rullo, per l'industria chimica,
- *tolleranza di planarità* (ad esempio 1mm/m) per magazzini automatici e sistemi flessibili di produzione,

- *elevata finitura* per superfici destinate ad usi espositivi.

Questi risultati si ottengono attraverso applicazione di strati successivi di resina epossidica, che assolve alla funzione dei tradizionali piastrelloni “gres”. Il costo di una singola passata di resina può raggiungere talvolta quello della stessa soletta di base e cresce sensibilmente allorché siano prescritti spessori superficiali di qualche millimetro, per specifiche esigenze produttive.

Il costo parametrico della pavimentazione industriale può a sua volta essere espresso nella forma

$$C_{pv} = (1 + k_{pv}) \cdot c_{pv} \cdot S_c \quad (10)$$

in cui:

- C_{pv} è il costo completo della pavimentazione in opera;
- c_{pv} è il costo unitario della soletta di base in calcestruzzo ordinario con armatura in rete elettrosaldata³;
- k_{pv} tiene conto di eventuali trattamenti superficiali con resine, ipotizzando una applicazione standard. In tab.2 sono riportati i valori di k_{pv} al variare della finitura necessaria.

4.4. – Costo dei portoni di accesso

Le dimensioni dei portoni industriali sono in ovvia connessione con l’ingombro dei mezzi di trasporto che per essi dovranno transitare; in linea generale l’altezza e la larghezza rientrano rispettivamente nelle misure di 6 m e 20 m.

¹ a data odierna circa 20 €/mq

I portoni d'acciaio sono essenzialmente del tipo ad ante scorrevoli e ad ante incernierate (*a libro*)², e possono prevedere una serie di opzioni funzionali (motorizzazione, coibentazione, ecc.) e di sicurezza (bordi sensibili, luci di segnalazione, cellule fotoelettriche, porte pedonali, guide interrate ecc.).

Per il costo parametrico C_{pt} vale come sempre la forma

$$C_{pt} = (1 + k_p) \cdot c_{pt} \cdot S_{pt} \quad (11)$$

in cui:

- c_{pt} è il costo unitario della soluzione base, comprensivo del montaggio³;
- S_{pt} è la superficie del portone;
- k_p è un coefficiente che vale a considerare l'incidenza delle dotazioni funzionali e di sicurezza più sopra ricordate⁴.

5. – PARAMETRIZZAZIONE DEL COSTO

La valutazione del costo unitario $c_{p,j}$, introdotto nella (1) e riferito a tutte le componenti di costo considerate nei paragrafi precedenti, nonché quella relativa ai coefficienti incrementali k_j , è stata da noi eseguita, per via analitica. L'incidenza delle diverse voci è stata determinata grazie ai dati raccolti presso qualificate imprese operanti nel settore della prefabbricazione e distribuite sull'intero territorio nazionale. L'indagine ha, tra l'altro, evidenziato, nel breve-medio periodo, una tendenza incrementale dei prezzi degli elementi prefabbricati, legata essenzialmente all'entrata in vigore di norme più cogenti nel campo della resistenza al fuoco, con la conseguente necessità di adeguamento delle serie dimensionali.

² nel presente studio si è fatto riferimento a tale tipologia di portone (6 m × 10 m)

⁴ l'apporto incrementale di k_p può assumersi nell'ordine del 10%

Il proporzionamento delle strutture è stato effettuato con l'assunzione di valori tipici per le azioni della neve e del vento⁵.

Per il costo unitario base si è presa a riferimento una struttura di altezza pari a 7 m, sita in zona non sismica e non predisposta per carichi da carroponete. Come mostrato dalla tab.3 sono state esaminate undici tipologie dimensionali, con superficie coperta variabile nell'intervallo $S_c = 900 \div 7.500$ mq.

Al fine di valutare i coefficienti incrementali k_j , il dimensionamento e la conseguente valutazione del costo sono stati reiterati per zone a grado di sismicità basso, medio ed alta⁶. La variazione di tale parametro induce per la struttura in elevazione un aumento delle sezioni dei pilastri e la predisposizione di inserti antisismici a collegamento degli elementi, restando invariati gli elementi di copertura. Tra la struttura riferita a zona "non-sismica" e quella relativa a zona di bassa sismicità la differenza è rappresentata dalla presenza della soletta solidarizzante in calcestruzzo, di spessore pari a 5 cm. La tab.4 riassume le varianti progettuali rispetto alla soluzione base considerate nel calcolo dei costi.

Per quanto riguarda l'incidenza del trasporto, per i casi considerati nel presente studio, è stata assunta una distanza stabilimento-cantiere pari a 100 km⁷.

L'elaborazione dei costi in funzione dei parametri di riferimento è stata eseguita attraverso lo sviluppo di progetti di dettaglio con l'ausilio di una procedura automatica, da noi appositamente messa a punto, che tiene debito conto di tutte le prescrizioni previste in materia dalle normative vigenti.

In fig.5, con riferimento alla superficie coperta, sono stati riportati i valori del costo unitario calcolati per le undici tipologie dimensionali base; nella stessa figura è stata così

⁵ carico da neve = 10 N/mm²; azione del vento equivalente statica = 4,5 N/mm²

⁶ si fa riferimento alle norme richiamate in [8,9]

⁷ per distanze superiori va portato in conto l'onere di mantenimento in trasferta della squadra di montaggio

tracciata la curva interpolante rappresentativa del costo parametrico c_s . Analogamente in fig.6 è riportata la curva del costo unitario c_p dei pannelli di tamponamento al variare della superficie laterale S_L .

Nel calcolo sono stati considerati i costi relativi a lucernai e ad impermeabilizzazione, entrambi inglobati in quelli della copertura; si è inoltre assunta la presenza di portoni nella misura di uno per campata.

Le figure 7 e 8 visualizzano i risultati delle analisi svolte al variare delle opzioni progettuali richiamate in tab.4, e riportano l'andamento dei coefficienti incrementali k_s , k_h al variare della superficie coperta S_c . Giova appena osservare che, dal punto di vista strutturale, la variazione del grado di sismicità e la predisposizione delle strutture per il carroponte influenzano il dimensionamento dei pilastri e della fondazione, ma non incidono sulla copertura; mentre l'aumento dell'altezza del pilastro ha evidenti riflessi sul costo dei pannelli di tamponamento.

Fatta eccezione per k_h , dai grafici emerge una variabilità piuttosto modesta dei coefficienti incrementali presenti nella (5) al variare di S_c .

Per valutare il costo del trasporto si è determinato il numero degli elementi strutturali (tegole, travi principali, pilastri ed eventuali travi di collegamento) al variare di S_c e di S_L (pannelli laterali); dalla dimensione nota degli elementi, si è dedotto il numero dei viaggi occorrenti per il trasporto dei materiali in argomento (v. fig. 9÷11).

Per quanto attiene alle fondazioni, l'attenzione è stata focalizzata sul solo parametro c_f (comprensivo del montaggio ma non del trasporto) il cui andamento è riportato in fig.13.

Si opera nell'ipotesi che il sito d'impianto sia caratterizzato da un terreno molto compatto e con eccellenti caratteristiche meccaniche, compatibili con una fondazione di tipo diretto.

In particolare, si sono presi in considerazione plinti a bicchiere prefabbricati con una soletta inferiore per la ripartizione dei carichi, che peraltro sono generalmente posati in opera dallo stesso fornitore della struttura in elevazione. Dalle analisi effettuate il coefficiente k_f può assumersi costante al variare della superficie coperta ($k_f = 0,05$).

6 – CONSIDERAZIONI FINALI

Lo sviluppo di casi esemplificativi, come quello definito attraverso i dati richiamati in tab.5, al di là del risultato numerico in termini di costo totale, ha mostrato la capacità della procedura di operare con poche e semplici informazioni; ciò che la rende utilizzabile da parte di chi, anche privo di particolari competenze strutturali, disponga soltanto di notizie riguardanti le dimensioni caratteristiche e la destinazione d'uso dell'edificio.

Assunto questo bagaglio minimo d'informazioni, ricorrendo alla banca dati che ha dato luogo ai grafici a corredo della presente nota, a titolo esemplificativo, è possibile computare le voci base di costo dell'opera ed i relativi coefficienti correttivi. L'elaborazione di tali dati, consente di ottenere per la (4) il costo industriale del fabbricato "campione"; che per il caso di tab.5 è pari a 320.203,28 € con un costo unitario di 206,58 €/mq. Conviene sottolineare che tale costo va qui riferito alla sola fornitura oggetto d'offerta di un produttore di manufatti prefabbricati, con le esclusioni ricordate in precedenza.

In conclusione è possibile osservare che il problema della valutazione del costo di edifici industriali ad elementi prefabbricati in cemento armato ordinario e precompresso, reso altrimenti complesso dallo stesso meccanismo di formazione del costo "industriale", si presta a soluzioni alquanto rapide, la cui attendibilità si rivela più che soddisfacente in

ordine alle occorrenze che, per loro natura, giustificano il ricorso a criteri di stima sintetici. Il metodo dei *costi parametrici* è stato qui assunto come fondamento per una procedura di valutazione del costo industriale di una struttura di riferimento, scelta tra le tipologie più ricorrenti. I risultati discussi rappresentano un avanzamento del lavoro eseguito con riferimento essenzialmente alla struttura portante del fabbricato industriale. Infatti, accanto ad integrazioni di natura strutturale, come l'analisi specifica di edifici non destinati ad aree esposte alle azioni sismiche, sono stati introdotti criteri di valutazione per componenti funzionali come le pavimentazioni e i portoni industriali.

Il presente contributo metodologico da un lato è suscettibile di ulteriori estensioni, riguardanti le residue categorie di componenti della costruzione, dall'altro è sufficientemente flessibile per seguire le variazioni del costo dei materiali e degli elementi indotte dalla richiesta della committenza e dall'introduzione di normative tecniche differenti da quelle oggi vigenti, con quanto ne conseguirebbe in termini di progettazione e variazione delle serie dimensionali.

RINGRAZIAMENTI

Gli autori desiderano ringraziare per la loro fattiva collaborazione le imprese: *Aquila Prefabbricati (Torre Annunziata - NA)*; *ASSOBETON, Milano*; *Caprese, Mantova*; *Gecofin Prefabbricati (Caselle di Sommacampagna - VR)*; *Inedi (Cherasco - CN)*; *Milano Pav Milano*; *Novipav (Zocco d'Ebrusco - BS)*; *Solai e Travi Varese (Induno Olona - VA)*; *RDB (Pontenure - PC)*;

BIBLIOGRAFIA

- [1] **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.

- [2] **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.

- [3] **IERVOLINO I.,** Progettazione e parametrizzazione del costo di edifici industriali prefabbricati – Tesi di laurea in Ingegneria Gestionale, Napoli, 2000.

- [4] **AA.VV.,** PCI Design Handbook, Precast and Prestressed Concrete – Fifth Edition, PCI Institute, Chicago, 1999.

- [5] **C.N.R.** Norme Tecniche: istruzioni per il progetto, il controllo e l'esecuzione di strutture prefabbricate in calcestruzzo (CNR 10025 98), 1998.

- [6] **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.

- [7] **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.

- [8] **D.M. LL.PP. 16.01.96** Norme tecniche per le costruzioni in zona sismica.

- [9] **Circolare Min.LL.PP. n.65** AA.GG. del 10/4/1997, Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche" (D.M. 16 gennaio 1996).

- [10] **LAMBIASE A., MANCINO M., TOCCHETTI P.**, "Studio del costo parametrico di edifici industriali ad elementi strutturali prefabbricati" – *Impiantistica Italiana* n°10 novembre 1991.

- [11] **COSENZA E., FABBROCINO G., IERVOLINO I., LANDO M.** Contributo metodologico alla stima preventiva del costo di edifici industriali prefabbricati mediante i costi parametrici – 13° Congresso C.T.E. Pisa – novembre 2000.

- [12] **ASSOBETON** Banca dati Assobeton – Sezione produttori strutture prefabbricate. Indagine conoscitiva centri di produzione – settembre 1999, Milano.

- [13] **AZZONE G.** Innovare il sistema di controllo di gestione – Etas Libri, Milano 1994.

VOCE	VARIABILI DI RIFERIMENTO
Materiali ed elementi strutturali	Superficie coperta
Fondazioni	Superficie coperta
Pannelli di tamponamento	Superficie laterale
Pavimentazioni Industriali	Superficie coperta
Portoni Industriali	Superficie del portone
Trasporto	Numero viaggi e distanza
Montaggio	Giorni/uomo e squadra tipo impegnati nella posa

Tab.1- *Voci del costo industriale dell'edificio prefabbricato e relative variabili di riferimento.*

Finitura	k_{pv}
Pasta di quarzo (4 mm) su base di calcestruzzo	0,3
Resina monostrato	0,9
Resina 5 mm	2,3
Resina 7 mm	2,9

Tab.2-Valori del coefficiente correlato al tipo di finitura delle pavimentazioni industriali.

S_c <i>mq</i>	Pianta <i>m</i>	Maglia <i>m</i>
900	30×30	10,0×15,0
1.600	40×40	10,0×20,0
1.800	30×60	10,0×15,0
2.500	50×50	10,0×16,3
2.700	30×90	10,0×15,0
3.200	40×80	10,0×20,0
3.600	30×120	10,0×15,0
4.800	40×120	10,0×20,0
5.000	50×100	10,0×16,3
6.400	40×160	10,0×20,0
7.500	50×150	10,0×16,3

Tab.3-Dimensioni in pianta delle strutture calcolate.

Altezza	7 – 9 m
Zona sismica (S)	6-9-12
Predisposizione Carroponte da 5 t	Si – No
Finitura Pannelli	Media
Distanza (km)	100
Carico da neve (kN/mq)	1
Vento (kN/mq)	0,45

Tab.4-Opzioni progettuali considerate negli esempi sviluppati

Superficie coperta	1600 mq
Dimensione minima in pianta	25 m
Altezza	9 m
Finitura pannelli	Media
Carroponte	SI – 5 t al gancio
Sismicità del sito	Bassa (III Cat.)
Finitura della pavimentazione	Resina 4 mm
Portoni	N.2 (6×12: 6×8) Motorizzati a libro

Tab.5-Dati utilizzati nell'esempio richiamato nel par.5.

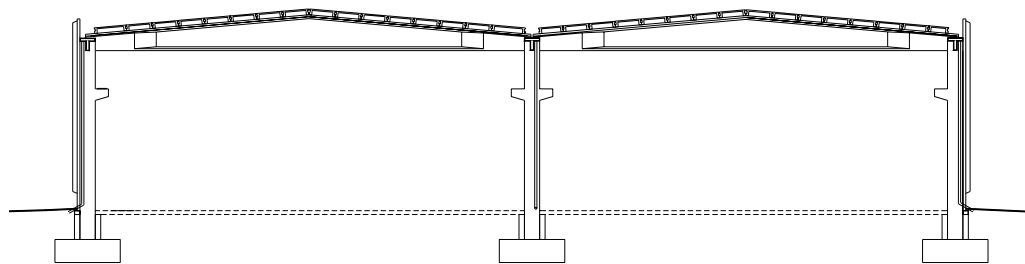


Fig.1-Sezione trasversale di un tipico edificio industriale ad elementi prefabbricati.



Fig.2-Plinto di fondazione prefabbricato.

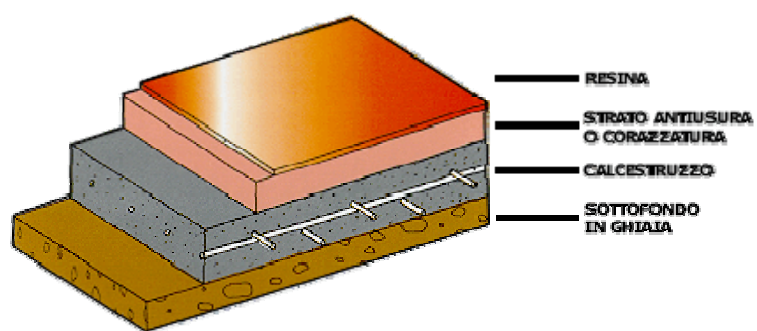


Fig.3-Sezione di pavimentazione industriale con trattamento di finitura.



Fig.4-Portoni industriali di tipo scorrevole e incernierato.

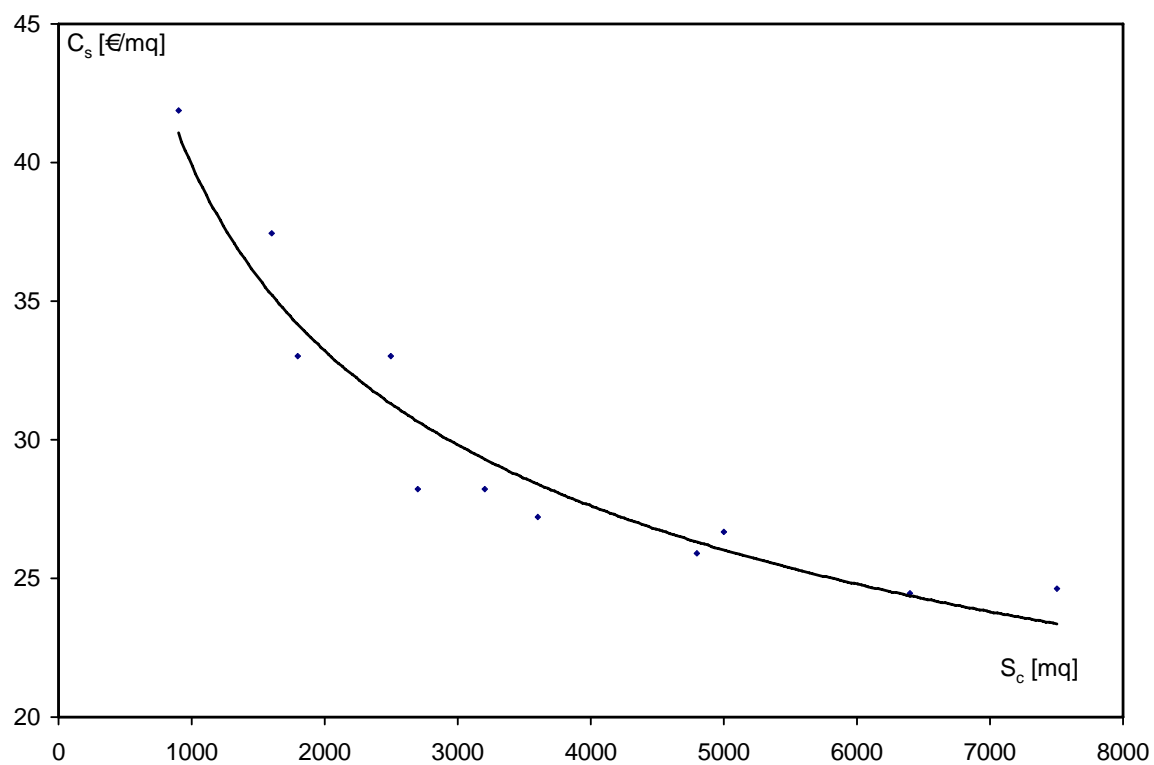


Fig.5-Costo unitario di riferimento al variare della superficie coperta.

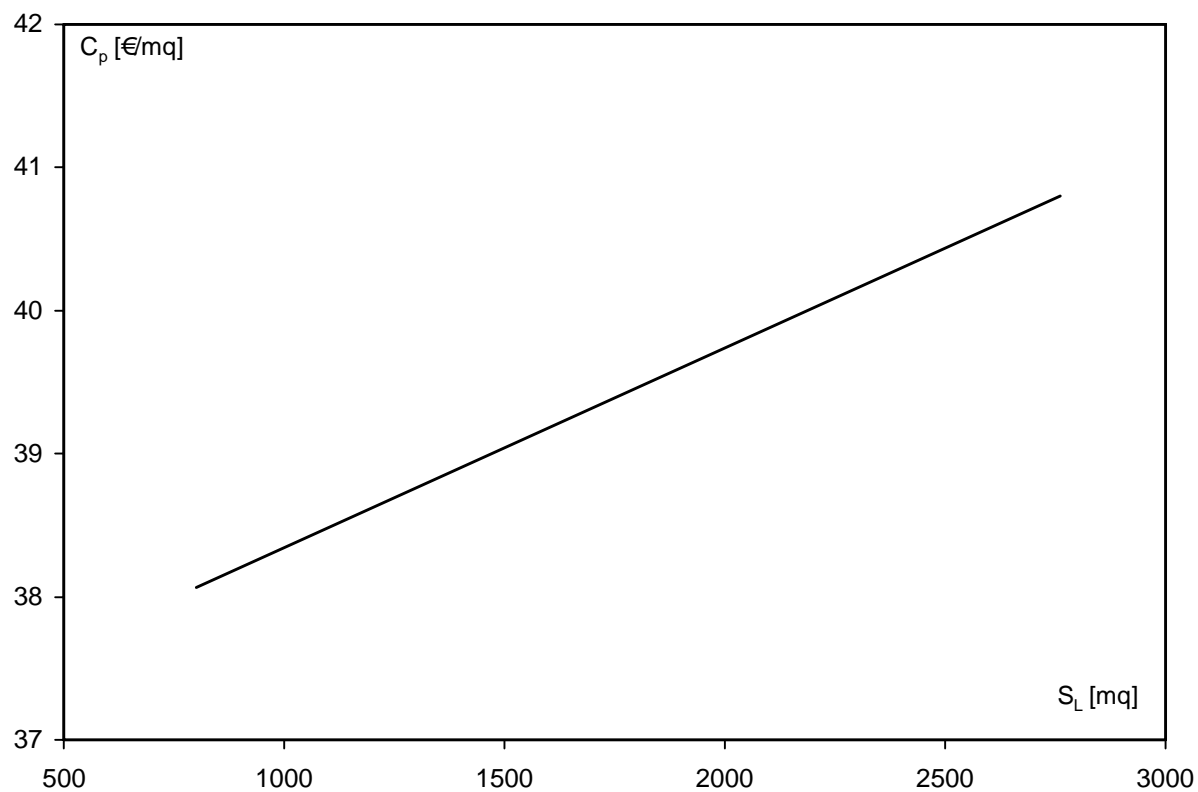


Fig.6-Costo del tamponamento al variare della superficie laterale (incluso montaggio)

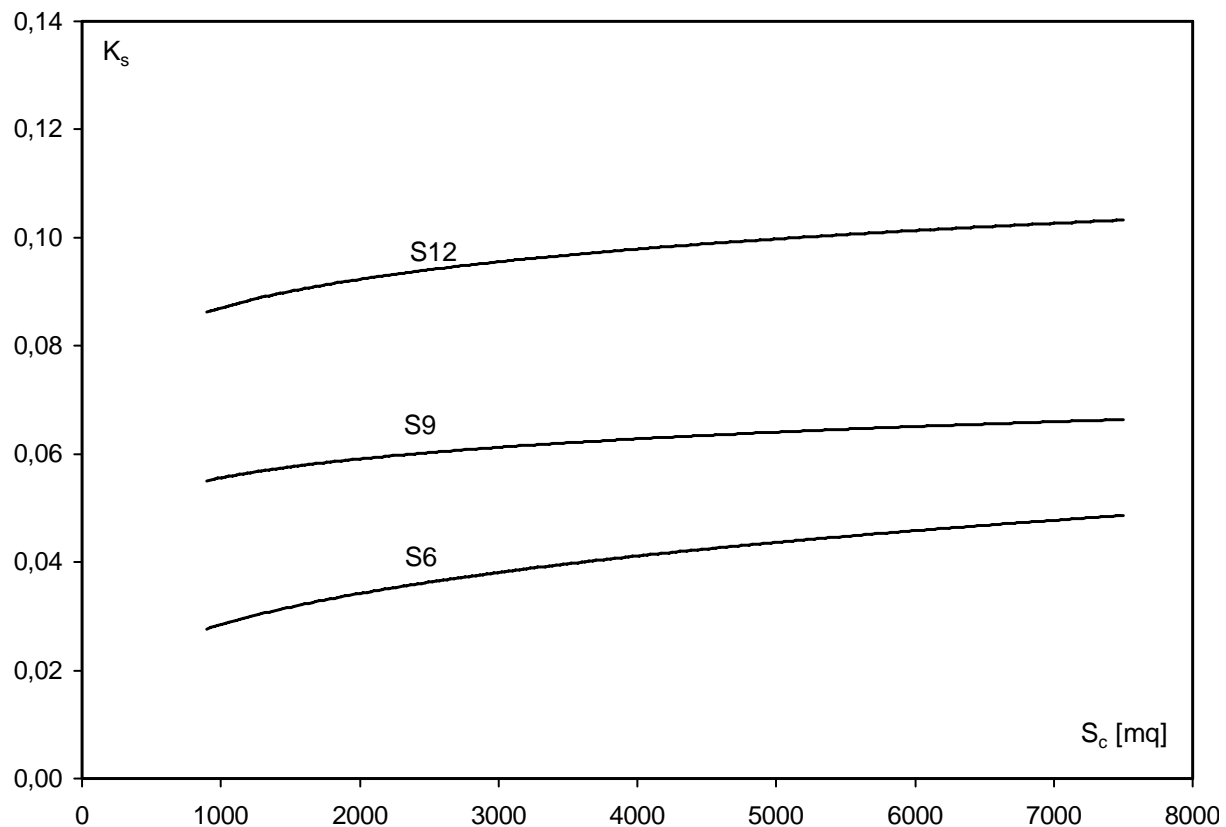


Fig.7-Coefficiente incrementale dipendente dal grado di sismicità

(S=6 I cat.; S=9 II cat.; S=12 III cat.)

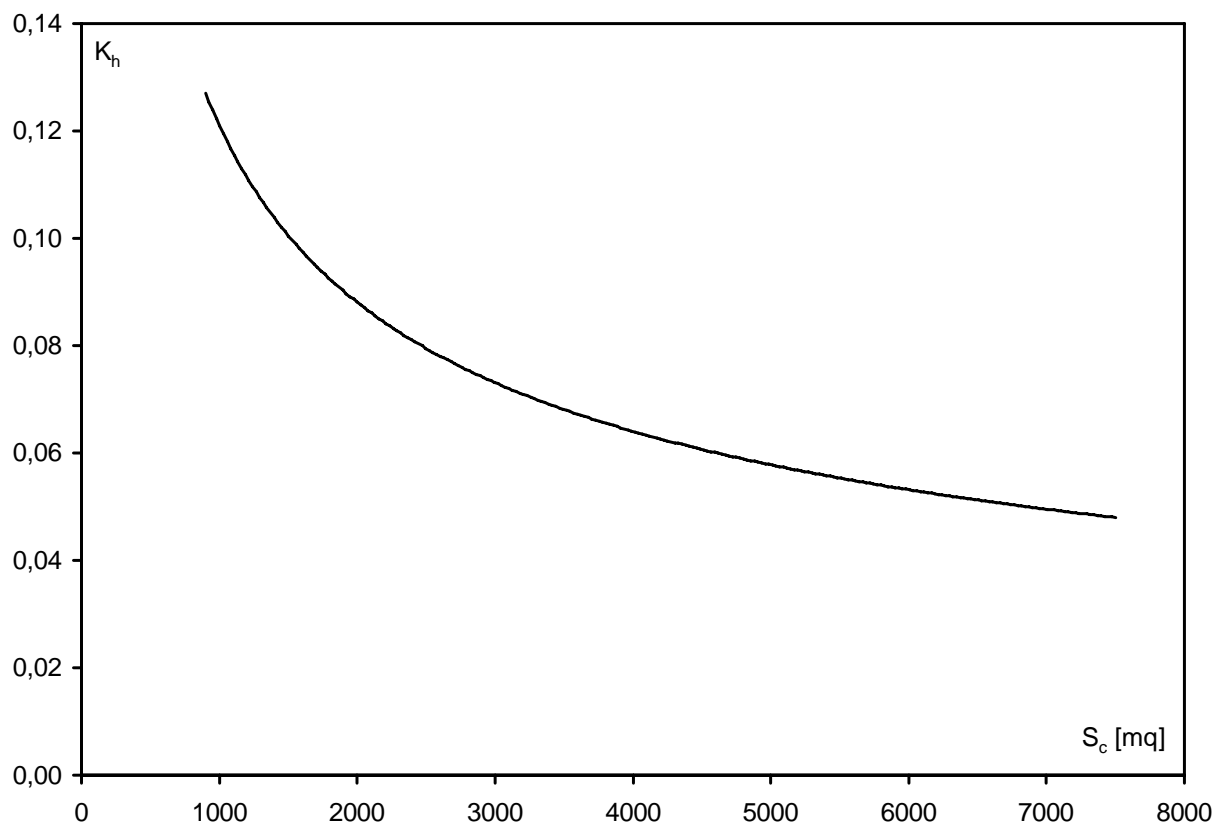


Fig.8-Coefficiente incrementale per un'altezza $h = 9$ m (rif. base $h = 7$ m).

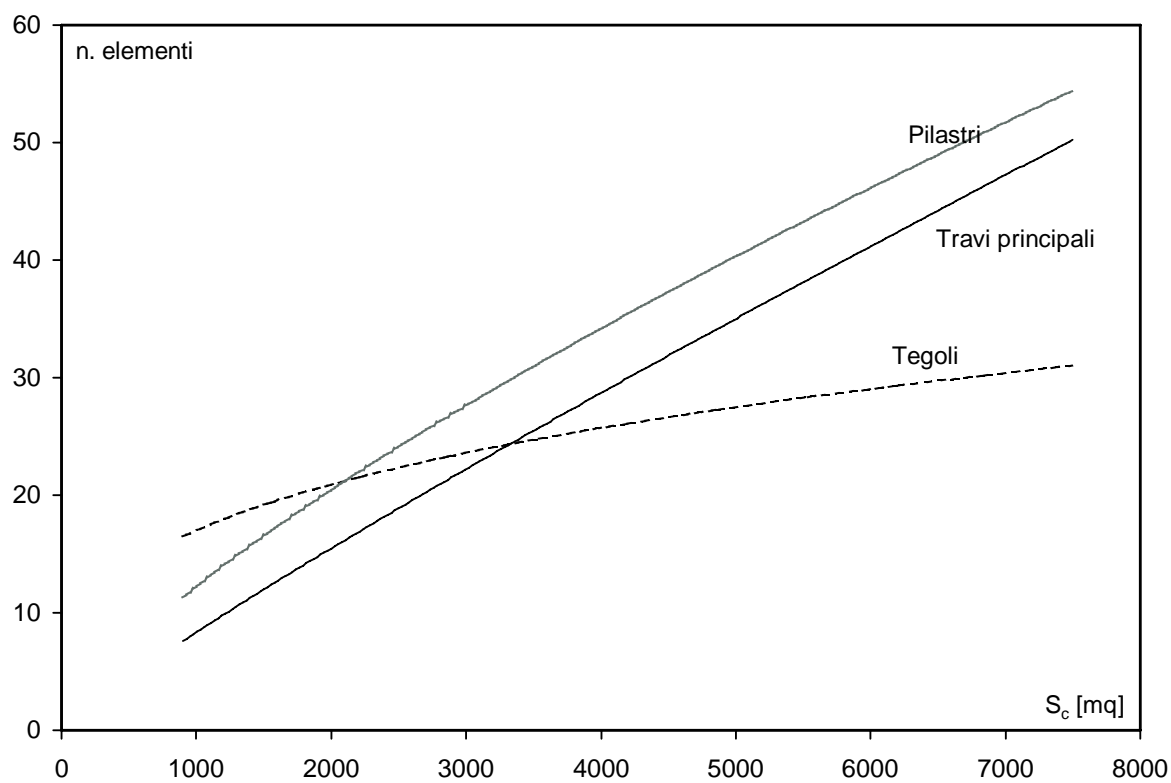


Fig.9-Numero degli elementi della sovrastruttura al variare della superficie coperta.

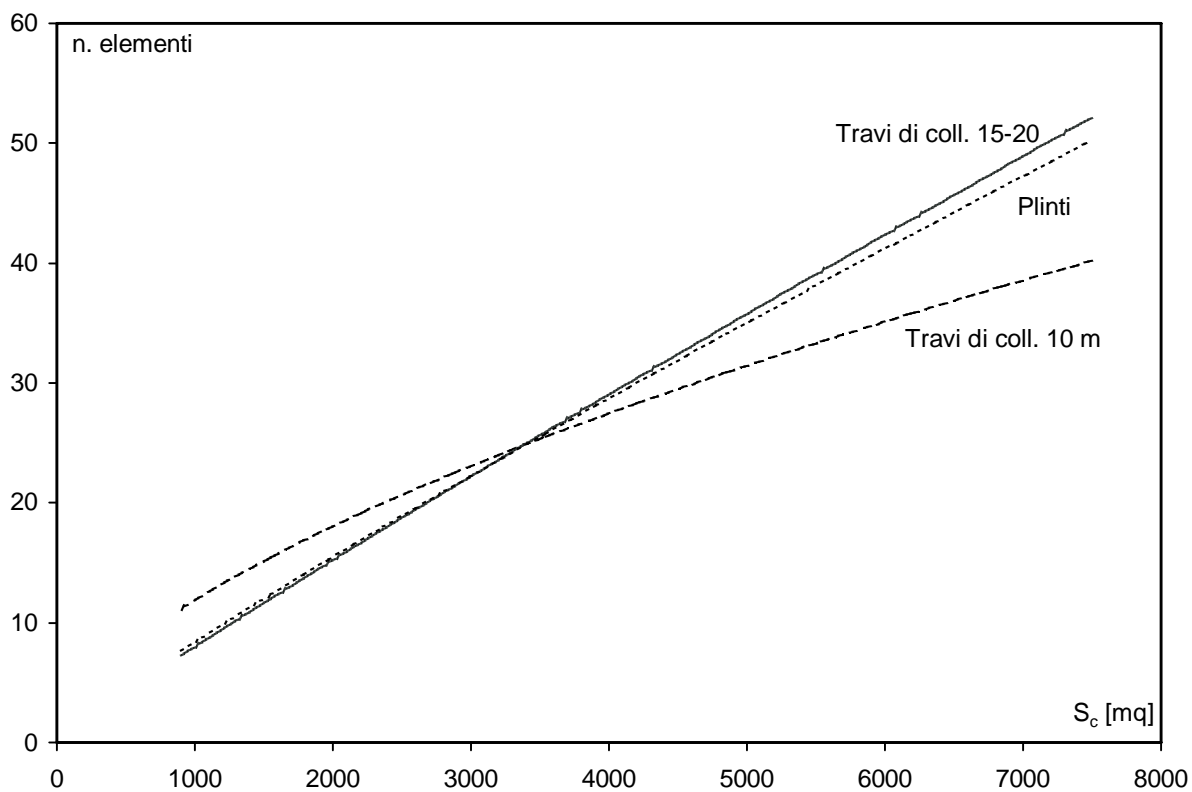


Fig.10-Numero degli elementi di fondazione (travi di collegamento, plinti) al variare della superficie coperta.

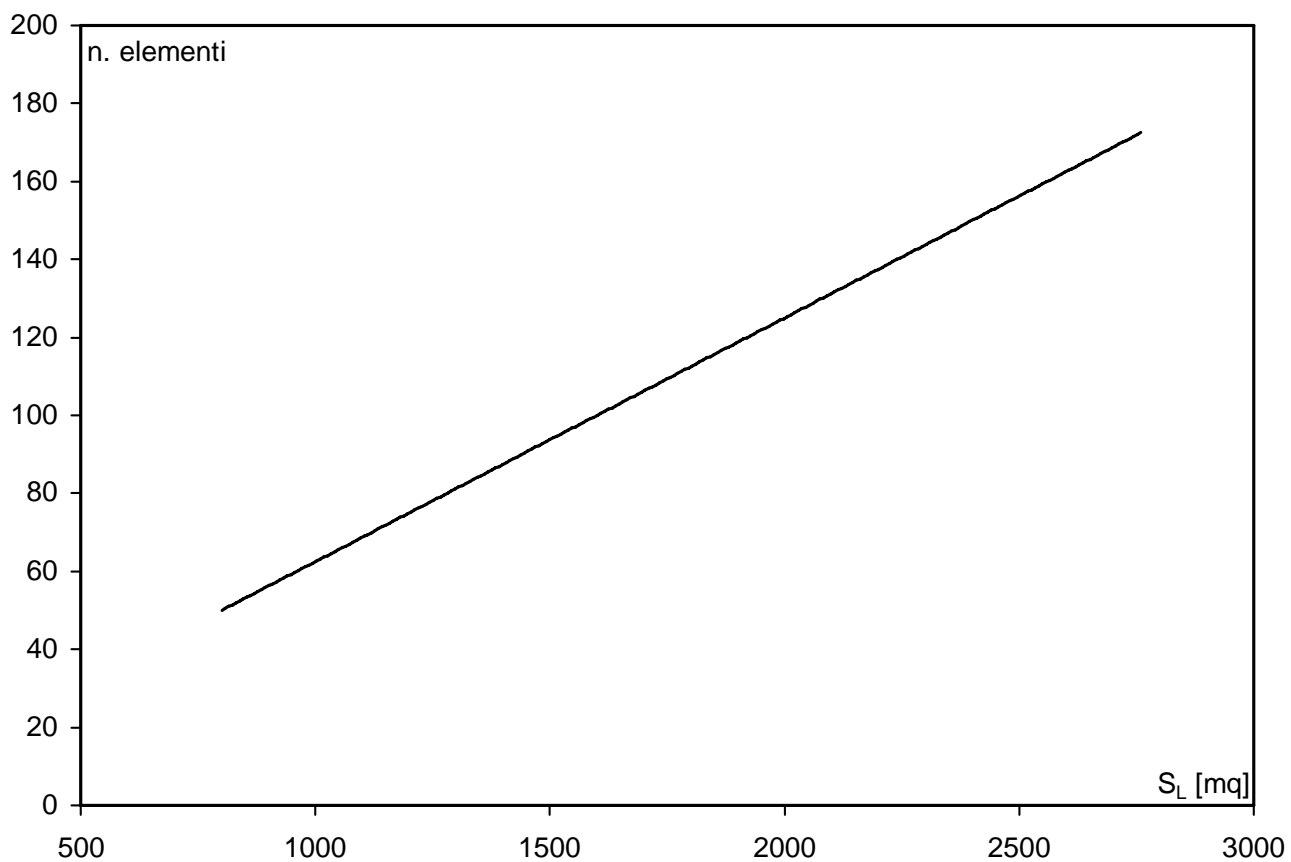


Fig.11-Numero degli elementi di tamponamento al variare della superficie laterale.

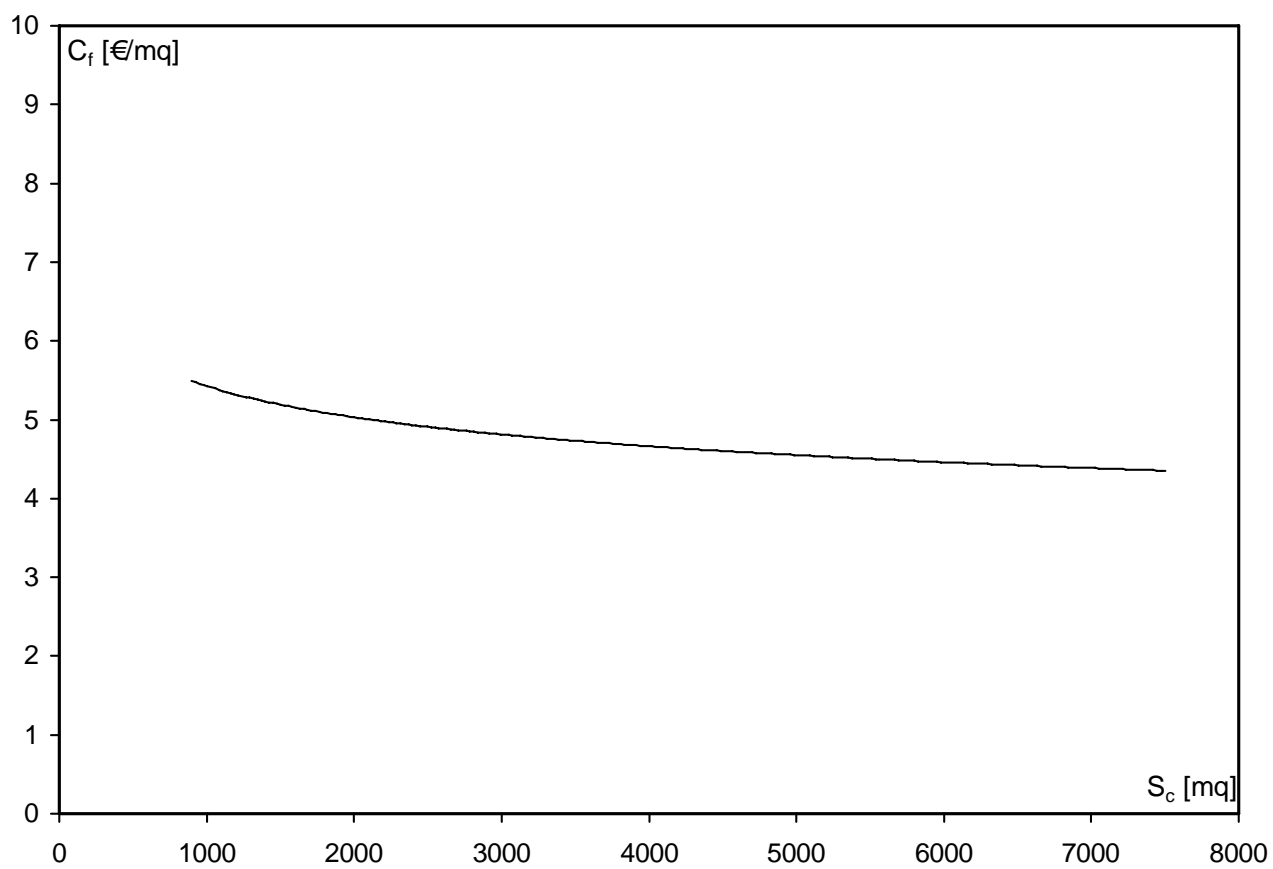


Fig.12-Costo dei plinti di fondazione al variare della superficie coperta (incluso montaggio).