

SISTEMA MISTO GENERALIZZATO ACCIAIO-CLS PER UN EDIFICIO PONTE AD USO RESIDENZIALE

CALOGERO DENTAMARO
VINCENZO DIPAOLA
FRANCESCA PRETE
GIUSEPPE PRETE

SUMMARY

In pursuit of new design shapes in order to maximize in industrial terms the work of joint venture companies, the realization of special structures defined by the combination of the considerable stiffness of reinforced concrete with the peculiarities of steel as light ductile and versatile material is developed.

In this paper the structural design developments of a particular composite steel and concrete system for residential bridge-building are described.

Each longitudinal façade of the construction exhibits in whole of its height a structural system characterized by a closed set of beams and uprights in realizing an highly resistant grid as Vierendeel wall-beam. The 24 m span and twostorey height frame is made up of steel profiles with welded connections partial frames, solidarized in construction site through bolted connections. The two structural longitudinal façades are connected by 12 m span steel and concrete composite "stub-girder" beams and reinforced concrete floor prefabricated slabs. This solution allowed the construction with large openspace, as floor areas entirely free. The "big steel box" is braced in both sides by reinforced concrete cores which contain the stairwells and utilities.

The structural design has been defined for the ultimate limit states and also for the serviceability limit states in accordance with specific standards for national and european application, by means of algorithms available in PC.

1. INTRODUZIONE

È noto come nel settore dell'edilizia civile multipiano le speciali tipologie definite "a ponte" e "a struttura sospesa" rappresentino le principali soluzioni costruttive atte a soddisfare richieste prestazionali eccezionali che possono essere di ordine statico, funzionale, architettonico (Fig. 1).

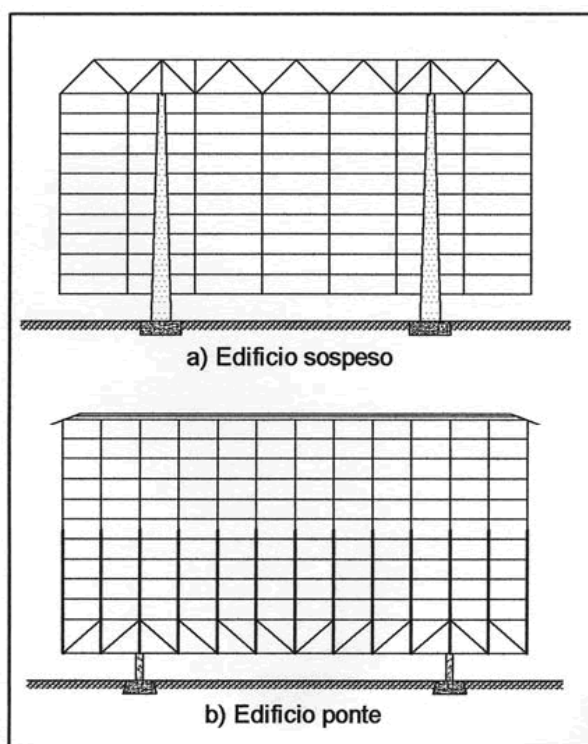


Figura 1.

In particolare la soluzione "a ponte", rispetto a quella "sospesa" dalla quale si può ritenere concettualmente derivata, consente di pervenire ugualmente a risultati progettuali significativi, quali ad esempio un'originale architettura associata a ridottissimi ingombri delle strutture verticali, ma con un'organizzazione statica meno problematica ed un montaggio meno oneroso perché assai più naturale.

In questa Nota ci si prefigge di dare idoneo "corpo strutturale" ad un'idea-progetto di edificio-ponte ad uso residenziale che si colloca nel quadro di specifiche ricerche di tipo applicativo, in corso presso la locale Facoltà di Architettura, sulle moderne tendenze della progettualità edilizia contemporanea in tema di caratteri compositivi di grande impatto architettonico, compatibili con particolari esigenze funzionali e ambientali.

La soluzione proposta rientra nell'ambito dei cosiddetti sistemi misti "generalizzati" acciaio-calcestruzzo, costituiti di norma da elementi costruttivi variamente realizzati (in carpenteria metallica, in cemento armato, in formazione composta acciaio-clc) ma sempre modulari, coordinati e finalizzati al conseguimento di un connubio strutturale che esalti le peculiari proprietà complementari dei due materiali in parola.

Sul piano esecutivo, in contrapposizione con un modello più tradizionale di prefabbricazione pesante che viene presentato in altra Memoria [1] di questo stesso Convegno, ci si riferisce qui ad una opzione alternativa e innovativa basata essenzialmente sull'impiego di componenti strutturali più leggeri, integralmente o parzialmente prefabbricati (con getti di completamento ridotti al minimo e con giunzioni di montaggio esclusivamente "a secco"), orientati ad un tipo di industrializzazione edilizia "aperta" in grado di ottimizzare, specie in ordine ai tempi di realizzazione, il risultato tecnico-economico finale della costruzione.

Tale soluzione costruttiva verrà nel seguito prima descritta ed illustrata, quindi verificata staticamente nelle sue componenti strutturali principali.

2. CARATTERISTICHE E REQUISITI PROGETTUALI DELL'EDIFICIO

La concezione progettuale dell'edificio in oggetto è finalizzata alla realizzazione di un concreto insediamento edilizio abitativo, in un preciso contesto geografico ed urbanistico, i cui caratteri architettonici, distributivi, tecnologici ed ambientali risultano ampiamente descritti nella già citata Memoria [1].

In questa sede ci si prefigge esclusivamente di presentare una speciale soluzione mista, in acciaio e clc armato, che si ritiene particolarmente idonea ed efficace, sul piano statico ed esecutivo, a risolvere il problema costruttivo, mediante tecniche di prefabbricazione industrializzata leggera, dell'ossatura strutturale portante di detto edificio.

Questo è rappresentato sinteticamente in Fig. 2 apportando lievi modifiche dei dati planimetrici (rispetto alle condizioni originarie) al solo scopo di poterlo assumere quale modello tipologico di riferimento modulare per costruzioni a parametri dimensionali standardizzati (modulo base 60 cm).

Nella fattispecie l'edificio "a ponte" si caratterizza con tre livelli di piani in elevazione su pianta rettangolare allungata, doppiamente simmetrica, delimitata sui lati corti dai due nuclei rigidi in c.a. costituenti i corpi scale, a sviluppo monolineare, collegati ai quattro robusti basamenti in c.a., situati ai vertici della pianta, sui quali si imposta l'intera struttura in elevazione, la quale, tenendo conto di impalcati di piano tessuti secondo l'asse minore della pianta, deve necessariamente essere concentrata in corrispondenza delle facciate longitudinali e quindi, con modesti aggetti terminali, posta in grado di scaricare tutte le azioni verticali sugli appoggi di estremità. In tal modo si va ben oltre la consueta prerogativa dei classici edifici-ponte, quella di comportare un primo livello (al piano terra) sgombro da pilastri, poiché in questo caso anche gli altri due piani utili risultano completamente liberi da ingombri strutturali interni consentendo pertanto una distribuzione flessibile, tipo "open space", per le esigenze funzionali delle civili abitazioni ivi previste.

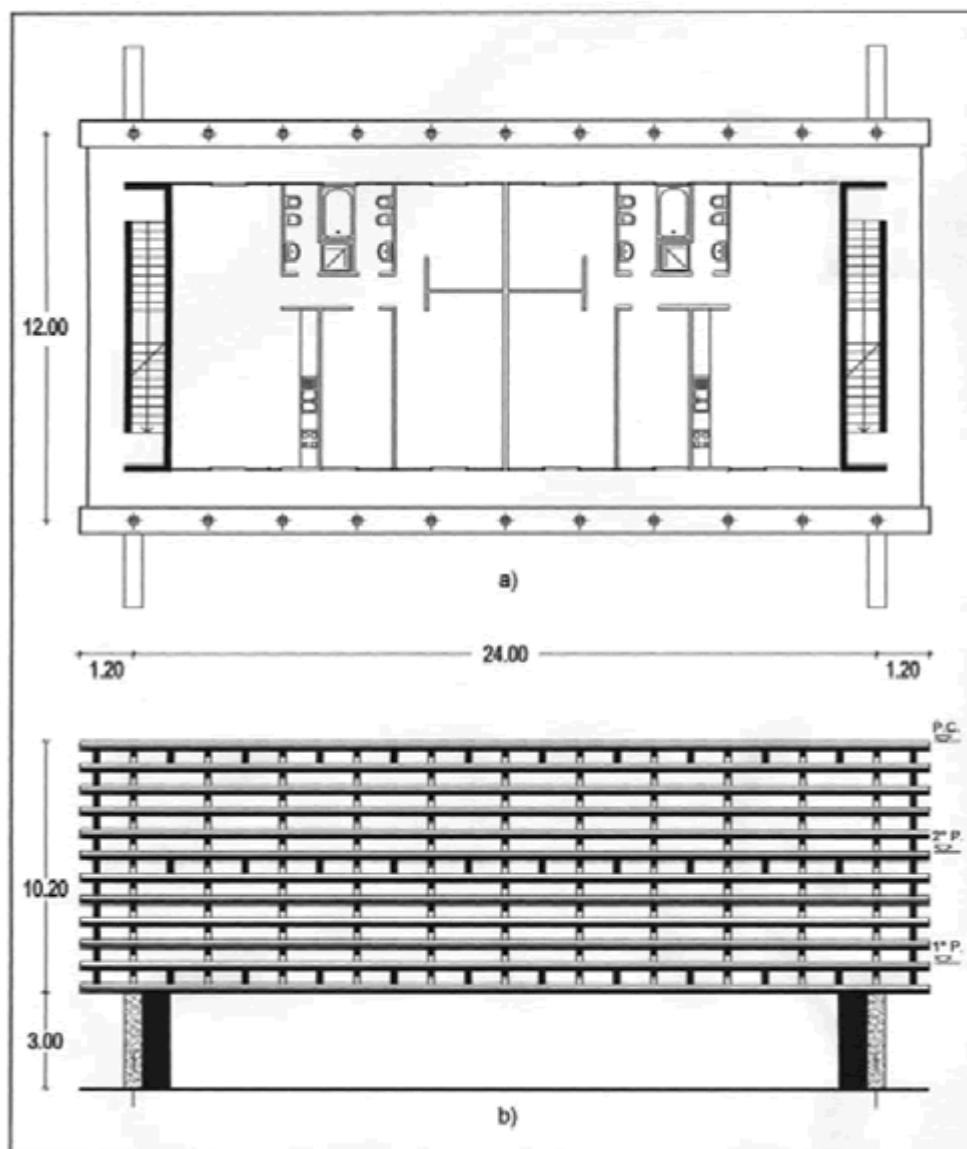


Figura 2.

Ciò implica, naturalmente, conseguenze strutturali importanti, derivanti dal sensibile aumento delle luci libere in gioco, sia in direzione longitudinale che trasversale, che richiedono un sistema resistente speciale, capace di assorbire tutti i carichi agenti in maniera assolutamente diversa dallo schema tradizionale a travi e pilastri diffusi in cui ciascun componente strutturale viene cementato, piano per piano, in base alla singola area di influenza. Occorre quindi concepire una soluzione costruttiva "ad hoc" basata su impalcati trasversali di solaio dotati di elevata rigidezza "a lastra", ma relativamente leggeri, sostenuti lungo i due lati longitudinali da una struttura intelaiata fittamente pluriconnessa, a tutta altezza di fabbricato, estremamente rigida a flessione e taglio. A tale scopo è riuscito assai utile coinvolgere la collaborazione statica di quegli elementi costruttivi complementari, caratterizzanti i prospetti longitudinali, che il progetto architettonico generale prevede come ricorsi orizzontali modulari motivati da requisiti estetici, impiantistici e biotecnologici.

3. SOLUZIONE COSTRUTTIVA IN SISTEMA MISTO ACCIAIO-CLS

Ribadendo che il progetto generale dell'edificio-ponte in esame è stato originariamente concepito per una strutturazione costituita da componenti prefabbricati in calcestruzzo armato ([Un edificio-ponte ad elementi prefabbricati per residenza. Parte 2: l'organizzazione e la risposta strutturale](#)), con questa Nota si intende proporre in alternativa una soluzione costruttiva basata sull'impiego diversificato ed integrato di elementi strutturali, prefabbricati e modulari, sia in formazione composita che (prevalentemente) in carpenteria metallica.

Si tratta di una soluzione riferita esclusivamente alla ossatura portante principale dell'edificio (fermi lasciando, invece, i nuclei rigidi dei corpi scale e i basamenti al piano

terra), che con caratteri di originalità può configurarsi tecnicamente quale "sistema misto generalizzato in acciaio-clc" e che sul piano statico-economico, come si cercherà di evidenziare, appare sicuramente competitiva, se non addirittura preferenziale, rispetto ad altre soluzioni.

Vengono quindi descritte e illustrate le principali caratteristiche esecutive del complesso strutturale proposto con riferimento ai grafici d'insieme e di dettaglio contenuti nelle figure che seguono.

Il sistema costruttivo è formato essenzialmente da **due sub-sistemi** componenti, coordinati e integrati fra loro, consistenti in estrema sintesi nella **struttura trasversale di piano** e nel **telaio longitudinale di facciata** (Fig.3).

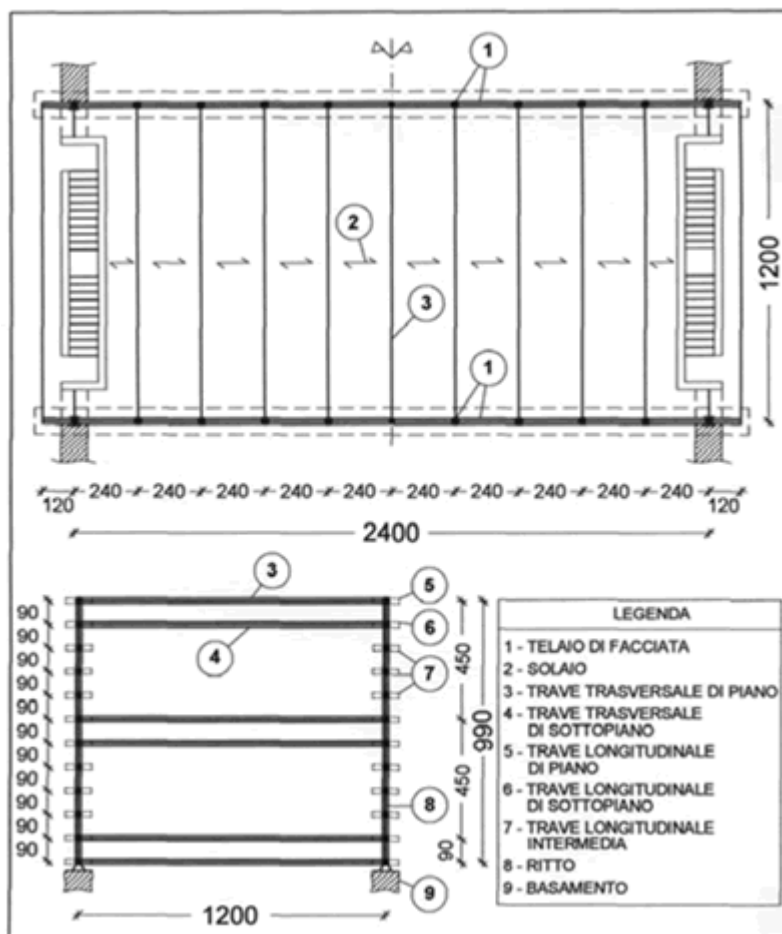


Figura 3.

A) Il **sub-sistema trasversale** è costituito dagli impalcati di piano realizzati in orditura doppia, con pannelli prefabbricati modulari di clc armato normale o precompresso di piccolo spessore (10 cm), tessuti con continuità secondo l'asse maggiore in pianta su luci di 2.40 m e sostenuti da **travi metalliche trasversali** di tipo speciale, anch'esse prefabbricate, che rappresentano l'aspetto più originale e significativo del contesto strutturale, a cui sarà dedicato uno specifico approfondimento nel paragrafo successivo.

Queste travi, disposte a tutta larghezza del corpo di fabbrica (con luce libera di 12 m), scaricano in semplice appoggio sulle travi longitudinali di facciata, piano per piano, i relativi carichi verticali, permanenti e accidentali, collaborando staticamente con il solaio in formazione composta acciaio-clc mediante connettori a pioli solidarizzati in modo discontinuo ai pannelli prefabbricati con sigillatura cementizia eseguita in opera; la generica maglia strutturale di solaio, insieme col particolare del pannello tipo in c.a., sono illustrati in Fig. 4.

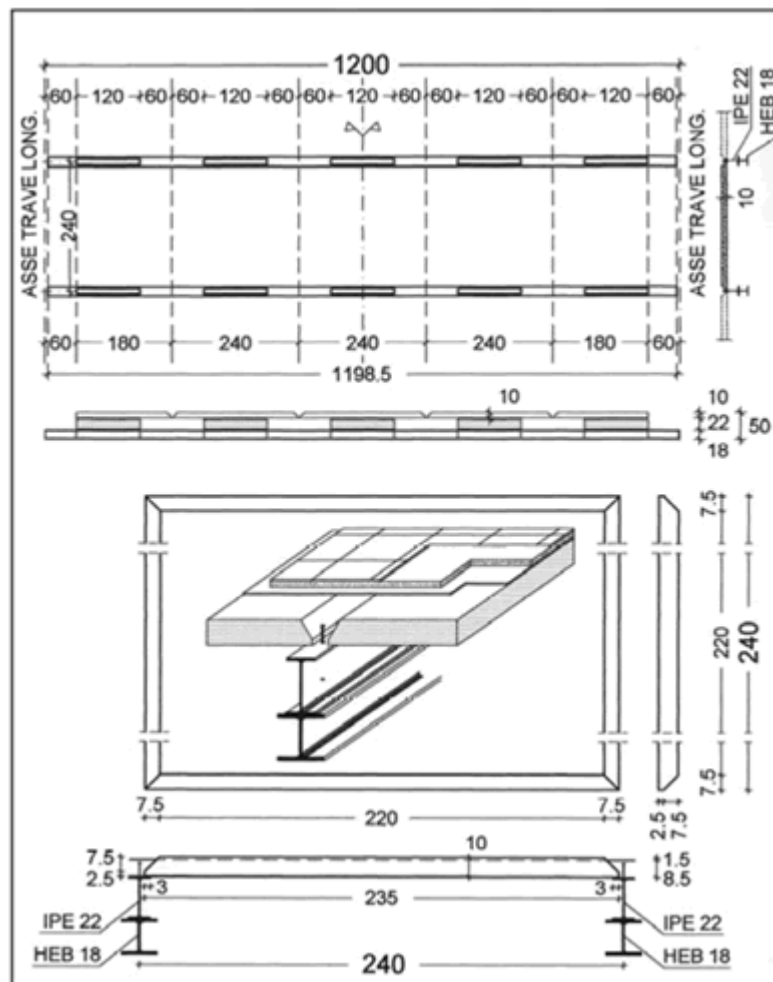


Figura 4.

In esercizio il complesso monolitico di ciascun impalcato funziona quindi come lastra infinitamente rigida nel proprio piano per trasmettere ai nuclei controventanti in c.a. di estremità, ai quali è connesso, tutte le possibili azioni orizzontali.

Il sub-sistema è completato, per ciascuno dei tre piani dell'edificio, da una ulteriore **trave trasversale**, cosiddetta **di sottopiano**, posta a livello dell'intercapedine di ventilazione e atta a sostenere, mediante un normale profilo laminato, il controsoffitto con il relativo ordito.

Detta trave, sempre con luce libera di 12 m, risulta semplicemente appoggiata su di una corrispondente **trave longitudinale di sottopiano** appartenente all'intelaiatura di facciata.

B) Il **sub-sistema longitudinale** è costituito dai due **telai metallici di facciata**, composti da un'orditura estremamente fitta e modulare di traversi continui e ritti interrotti rigidamente interconnessi in corrispondenza dei nodi e semplicemente appoggiati, con luce libera di 24 m, sui basamenti di fondazione.

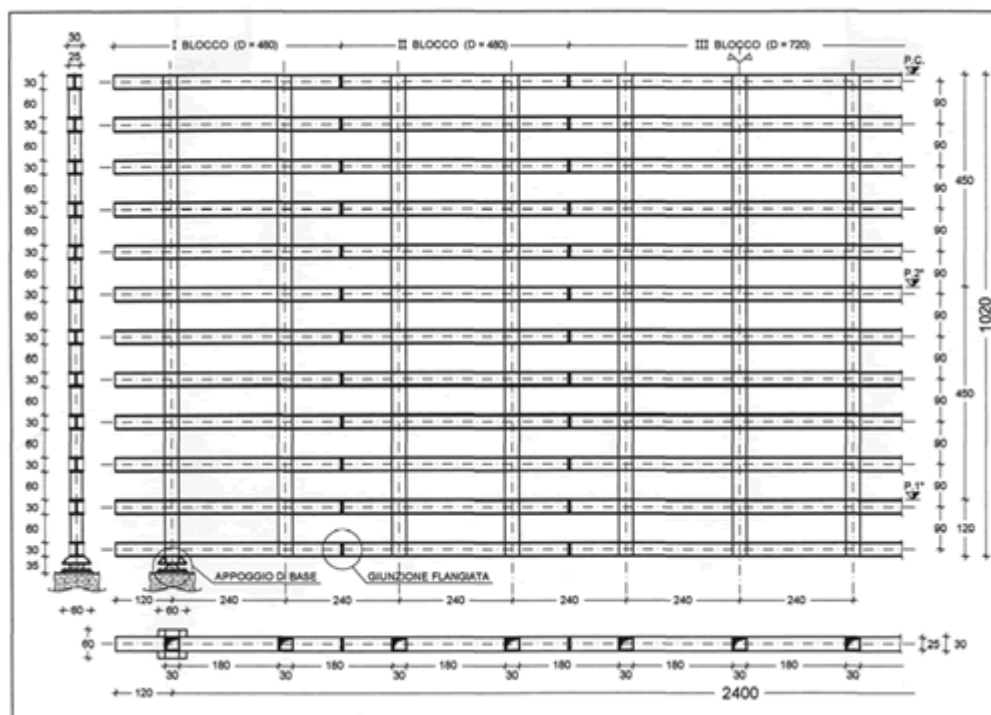


Figura 5.

Le travi longitudinali, di piano, di sottopiano e intermedie, sono disposte al passo verticale costante di 90 cm, nel rispetto dei richiesti ricorsi architettonici di prospetto, e sono realizzate con profili laminati in acciaio di dimensioni praticamente unificate (HEA 30 e HEB 30).

I montanti verticali, interassati di 2.40 m, sono realizzati con tronchi di profilati tubolari a sezione rettangolare (30 cm x 25 cm) di spessori diversi, intercalati alle suddette travi orizzontali e ad esse presaldati con cordoni d'angolo. Ne scaturisce in definitiva, per ciascuna facciata dell'edificio, una struttura a graticcio metallico di notevole efficienza dal punto di vista sia statico-costruttivo che architettonico-funzionale.

- Per il primo aspetto si osserva che, grazie alle misure molto ridotte della maglia (al netto 180 cm x 60 cm), l'ossatura portante presenta, a fronte di sezioni resistenti di dimensioni relativamente modeste, un'elevatissima rigidezza complessiva a flessione e taglio che consente il superamento della ragguardevole luce libera di 24 m con sollecitazioni e deformazioni assai contenute, come si mostrerà in appresso, ancorché con impiego di acciai di qualità ordinaria (Fig. 5). Inoltre la particolare campitura, caratterizzata da tronchi di montanti sensibilmente più corti dei traversi e quindi notevolmente più rigidi rispetto a questi, favorisce un comportamento tensionale d'insieme del graticcio strutturale conforme al cosiddetto modello VIERENDEEL - ENGESSER, configurabile cioè come una speciale travatura VIERENDEEL a connessione multipla funzionante staticamente nella condizione di ENGESSER, in base alla quale i singoli campi dei traversi si possono ritenere pressoché perfettamente incastrati ai montanti contigui.

Da ciò consegue, come il calcolo dimostrerà, che le sezioni di mezzera dei traversi stessi, soggette a momento flettente nullo o quasi, sono assimilabili meccanicamente a cerniere interne al sistema strutturale e quindi sedi ideali per la collocazione delle necessarie giunzioni di montaggio.

In quest'ottica viene definita la soluzione progettuale del graticcio di facciata illustrato nella già citata Fig.5: operativamente esso risulta suddiviso in cinque blocchi strutturali indipendenti (corrispondenti, per la simmetria, a tre tipologie di telai parziali), avente ciascuno dimensioni complessive compatibili con un trasporto "normale", da realizzarsi in officina e da connettersi in sito mediante semplici giunzioni flangiate, con bulloni pretesi, a completo ripristino di sezione (Fig. 6).

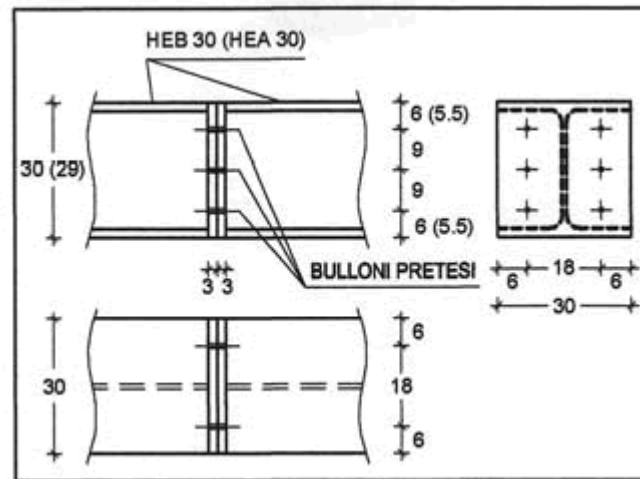


Figura 6. Giunzione flangiata

In Fig. 7, infine, è schematizzato il dispositivo costruttivo adottato per l'appoggio di base del telaio; si tratta di una tipica cerniera oscillante a contatto lineare ancorata al basamento di c.a. e congegnata in modo tale da consentire anche un calibrato scorrimento orizzontale, utile, tra l'altro, per assicurare l'indifferenza termica all'intero organismo strutturale.

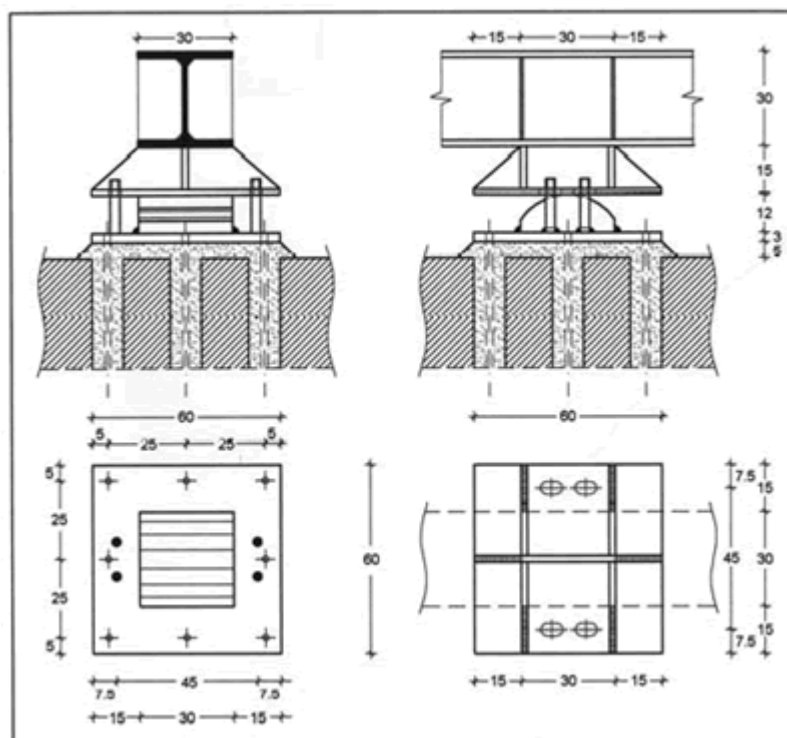


Figura 7. Appoggio di base

- Sul piano architettonico va rilevato che la soluzione prevista riesce a rispettare e soddisfare i requisiti formali e funzionali richiesti dal progetto generale, come evidenziato dallo stralcio di "sezione attrezzata", trasversale al corpo di fabbrica, rappresentato in Fig. 8.

Gli elementi costruttivi di prospetto, orizzontali e verticali, modulati sulla misura standard di 30 cm per la superficie in vista, si mostrano senza soluzione di continuità grazie al rivestimento delle travi realizzato con un opportuno carter in lamiera preverniciata; questo serve: a nascondere tutti i giunti (sia longitudinali che trasversali), a delineare le lesene orizzontali di facciata in aggetto rispetto ai ritzi, a definire la posizione arretrata della tompagnatura, a scandire la spaziatura in altezza (60 cm) delle intercapedini di ventilazione.

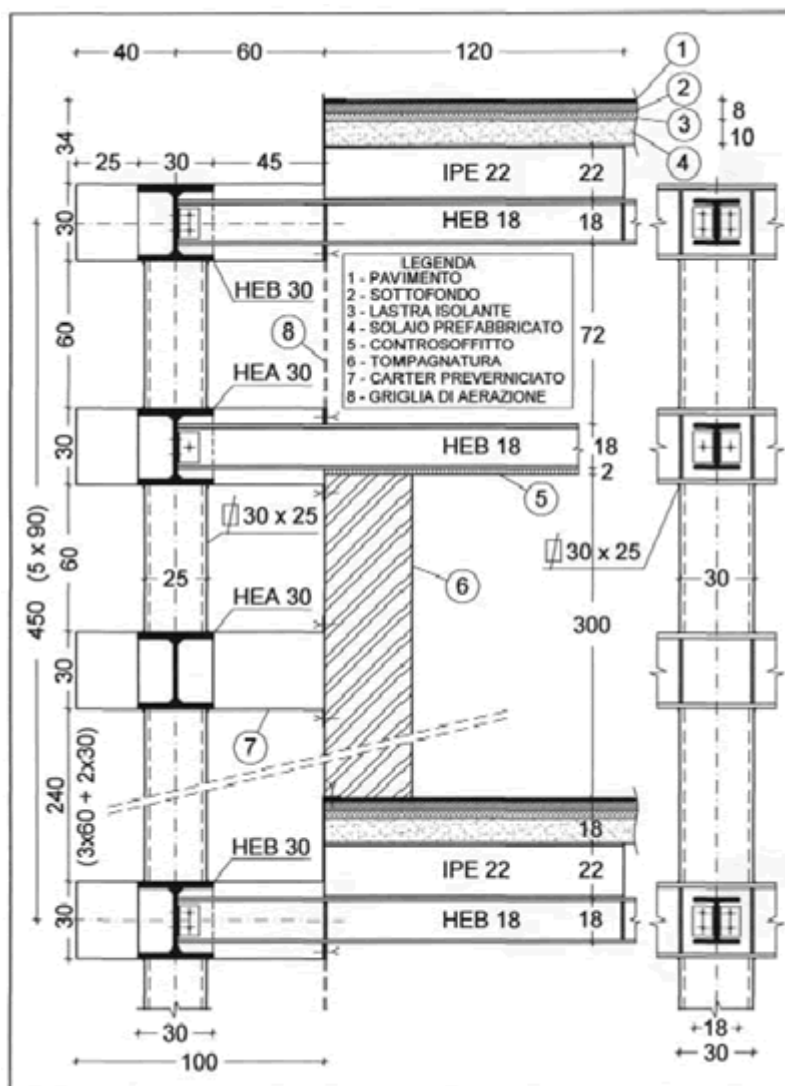


Figura 8.

Pertanto un materiale come l'acciaio tradizionalmente associato alla funzione portante trova qui applicazione anche nel rivestire, separare, filtrare e proteggere lo spazio interno dall'ambiente esterno. Ciò implica che, oltre all'aspetto statico, l'impiego dell'acciaio in facciata contribuisce alla ricerca di soluzioni espressive e funzionali che elevano il materiale a componente non solo strutturale ma anche estetico-architettonico.

4. ANALISI STATICA DELLE STRUTTURE PRINCIPALI

Il calcolo strutturale è stato elaborato con l'ausilio del programma automatico orientato SAP 2000 N.L., implementato su PC, applicando la normativa europea relativa ai pertinenti Eurocodici [2], [3] armonizzati con le regole complementari prescritte dalla normativa tecnica nazionale [4].

Per le verifiche tensionali si è impiegato il procedimento allo stato limite ultimo (S.L.U.) di collasso plastico, metodo consentito grazie alla assunzione di profili metallici con sezioni sempre delle classi 1 e 2, ossia compatte. I controlli di deformabilità sono stati condotti allo stato limite di servizio (S.L.S.), in relazione alla "combinazione rara" dei carichi agenti.

A titolo esemplificativo, e molto sinteticamente, si riportano i risultati dell'analisi statica estesa alle sole componenti strutturali più significative dell'edificio: la **trave trasversale di piano**, in uno speciale sistema acciaio-clt, e il **telaio metallico longitudinale** di facciata. Essa è riferita esclusivamente ai carichi gravitazionali, permanenti e accidentali, riservando l'assorbimento delle azioni orizzontali, vento e/o sisma, alla resistenza del sistema irrigidente interconnesso costituito dal complesso degli impalcati monolitici e dei nucleiscale in c.a.

4.1 TRAVE TRASVERSALE DI PIANO

Come accennato in precedenza, essa rappresenta l'elemento costruttivo più interessante e originale del fabbricato in oggetto in quanto applicazione pratica di un particolare modello strutturale per impalcati di edifici multipiano, noto in letteratura tecnica come "stub-girder system", i cui primi studi teorici risalgono agli anni '70 [5], [6] con successivi sviluppi in campo sperimentale [7],[8].

Si tratta in sostanza di un versatile sistema costituito da una trave metallica di base e da una soletta in c.a. separate da una serie di spezzoni di laminati in acciaio, chiamati "stubs", saldati alla trave di base e collegati alla soletta tramite connettori a taglio, come illustrato dalla Fig. 9 in cui è posto a confronto con il tradizionale schema di trave composta acciaio-clt.

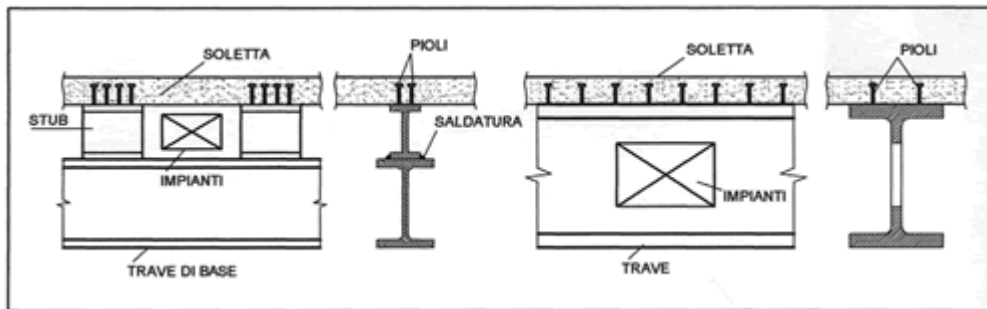


Figura 9.

Ebbene, rispetto alla tipologia classica, l'esperienza ha dimostrato che la nuova soluzione evidenzia un cospicuo vantaggio economico, con una riduzione dell'ordine del 25% in peso strutturale e del 15% in costo complessivo, oltre al vantaggio funzionale derivante dall'agevole permeabilità agli impianti a pavimento che evita, in casi di necessità, l'onerosa foratura delle travi.

Con queste positive premesse il nostro Gruppo di Ricerca, operante presso il Dipartimento D.I.C.A. del locale Politecnico, ha quindi ritenuto utile approfondire la tematica delle "stubgirders" affrontandone lo studio statico anche in regime elasto-plastico nello spirito del calcolo agli stati limite della Normativa Europea [3]; ne è scaturito un procedimento analitico che fornisce una soddisfacente risoluzione del problema espressa in un'apposita Memoria recentemente redatta e attualmente in corso di pubblicazione [9].

Da tale Memoria si desume pertanto, come esempio applicativo della formulazione generale, il calcolo strutturale della trave trasversale di piano in oggetto, le cui caratteristiche costruttive, dei materiali e di carico sono indicate in Fig. 10.

Si riportano i risultati salienti relativi alle verifiche statiche allo stato limite di plasticizzazione e allo stato limite di deformabilità flessionale, trascurando, a vantaggio di sicurezza, il contributo dell'armatura compressa della soletta.

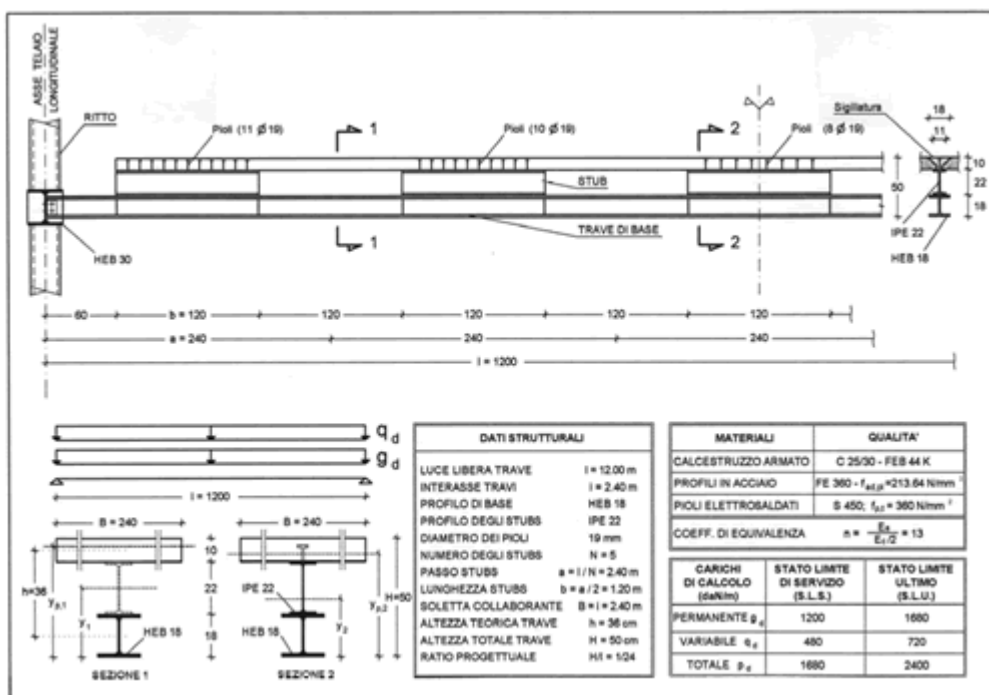


Figura 10.

- **Proprietà geometrico-inerziali dei componenti**

- Profilo di base: $A_a = 65.3 \text{ cm}^2$; $J_a = 3831 \text{ cm}^4$.
- Profilo degli stubs: $A_s = 33.4 \text{ cm}^2$; $J_s = 2772 \text{ cm}^4$.
- Soletta omogeneizzata: $A_c/n = 184.6 \text{ cm}^2$; $J_c/n = 1538 \text{ cm}^4$.

- **Proprietà geometrico-inerziali delle sezioni composte**

Sezione 1:

- $y_1 = 35.6 \text{ cm}$ (posizione asse neutro elastico);
- $y_{p,1} = 45.6 \text{ cm}$ (posizione asse neutro plastico);
- $A_1 = 249.9 \text{ cm}^2$; $J_1 = 67884 \text{ cm}^4$.

Sezione 2:

- $y_2 = 34.8 \text{ cm}$ (posizione asse neutro elastico);
- $y_{p,2} = 43.4 \text{ cm}$ (posizione asse neutro plastico);
- $A_2 = 283.3 \text{ cm}^2$; $J_2 = 71937 \text{ cm}^4$.

- **Sollecitazioni di calcolo**

- Taglio massimo all'appoggio:
 $V_{Sd} = p_{d,ult} l / 2 = 14400 \text{ daN}$
- Momento massimo al centro:
 $M_{Sd} = p_{d,ult} l^2 / 8 = 43200 \text{ daN}$
- Taglio esterno in asse al 1° stub:
 $V_{Sd,s} = V_{Sd} - p_{d,ult} a / 2 = 11520 \text{ daN}$
- Taglio interno al 1° stub:
 $v_{Sd,s} = a V_{Sd,s} / h = 76800 \text{ daN}$
- Momenti interni al 1° stub:
 $m'_{Sd,s} = a V_{Sd,s} A_c / nA_1 = 20423 \text{ daN}\cdot\text{m}$;
 $m''_{Sd,s} = a V_{Sd,s} A_a / A_1 = 7225 \text{ daN}\cdot\text{m}$.

- **Resistenze al limite plastico**

- Taglio resistente plastico della sezione 1:
 $V_{pl,Rd,1} = 19627 \text{ daN} (>V_{Sd})$
- Momento resistente plastico della sezione 1:
 $M_{pl,Rd,1} = 54129 \text{ daN}\cdot\text{m} (>M_{Sd})$
- Momento resistente plastico della sezione 2:
 $M_{pl,Rd,2} = 65224 \text{ daN}\cdot\text{m} (>>M_{Sd})$
- Taglio resistente plastico degli stubs:
 $v_{pl,Rd,s} = 87328 \text{ daN} (>v_{Sd,s})$
- Momento resistente plastico degli stubs:
 $m_{pl,Rd,s} = 45377 \text{ daN}\cdot\text{m} (>m'_{Sd,s})$

- **Deformabilità al limite di servizio**

- Momento d'inerzia globale efficace:

$$J_{\text{eff}} = (J_1 + J_2) / 2 = 69910 \text{ cm}^4$$

- Freccia massima al centro:

$$f = 0.013 p_{d,\text{ser}} l^4 / E_a J_{\text{eff}} = 3.09 \text{ cm } (\approx l / 400)$$

- **Connettori a taglio trave-soletta a completo ripristino**

- Taglio longitudinale compressivo:

$$V_I = f_{ad,pl} [A_a + (A_a + A_s)] / 2 = 175185 \text{ daN}$$

- Diametro, altezza e passo dei pioli:

$$d_p = 1.9 \text{ cm}; h_p = 8 \text{ cm } (> 4d_p); p_p = 10 \text{ cm } (> 5d_p)$$

- Resistenza di calcolo a taglio del piolo:

$$P_{Rd} = 0.8 f_{p,t} \pi d_p^2 / 4 = 7310 \text{ daN}$$

- Numero totale di pioli richiesti:

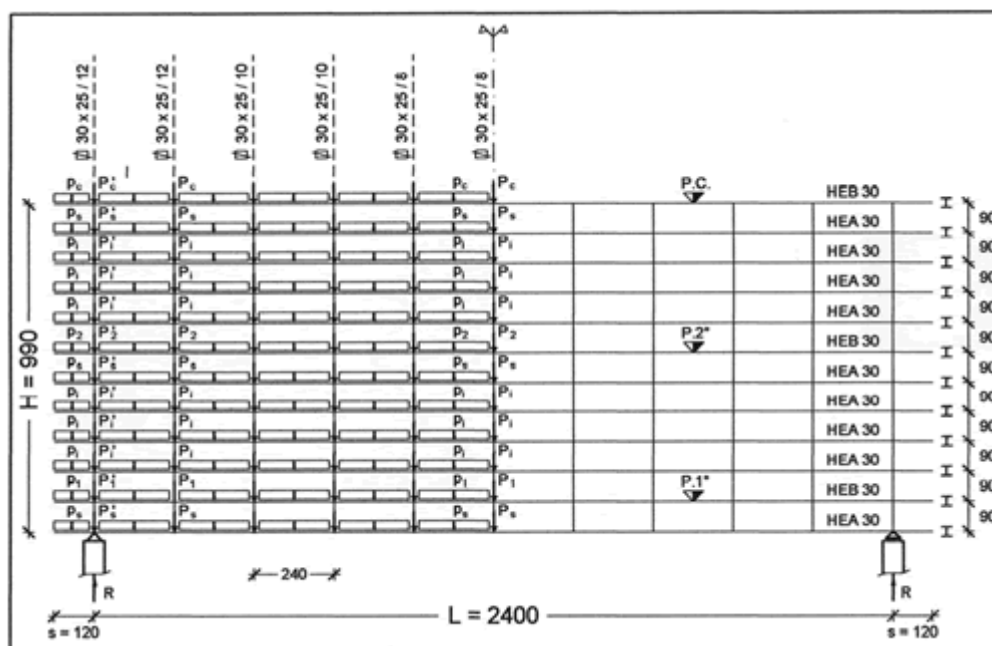
$$n_p = 2V_I / P_{Rd} \approx 50$$

- Distribuzione dei pioli sugli stubs:

$$(11+10+8+10+11) = 50$$

- Verifica dei pioli del 1° stub:

$$V_{Rd,s} = 11P_{Rd} = 80410 \text{ daN } (> v_{Sd,s})$$



CARICHI DI CALCOLO (CONCENTRATI E DISTRIBUITI)	STATO LIMITE DI SERVIZIO (S.L.S.)	STATO LIMITE ULTIMO (S.L.U.)
AL PIANO DI COPERTURA $\left\{ \begin{array}{l} P'_c \text{ (daN)} \\ P_c \text{ (daN)} \\ p_c \text{ (daN/m)} \end{array} \right.$	800 7920 150	1120 11160 210
AI PIANI 1° E 2° $\left\{ \begin{array}{l} P'_1 = P'_2 \text{ (daN)} \\ P_1 = P_2 \text{ (daN)} \\ p_1 = p_2 \text{ (daN/m)} \end{array} \right.$	1060 10130 1150	1510 14470 1610
AI LIVELLI DI SOTTOPIANO E INTERMEDI $\left\{ \begin{array}{l} P'_s \text{ (daN)} \\ P'_i \text{ (daN)} \\ P_s \text{ (daN)} \\ P_i \text{ (daN)} \\ p_s \text{ (daN/m)} \\ p_i \text{ (daN/m)} \end{array} \right.$	130 50 800 50 90 90	180 70 1120 70 126 126
EFFETTI DI CALCOLO	S.L.S.	S.L.U.
REAZIONI VINCOLARI R (kN)	1856	2628
MAX DEFORMAZIONI $\left\{ \begin{array}{l} \delta_v \text{ (cm)} \\ \delta_o \text{ (cm)} \end{array} \right.$	3.25 0.57	4.61 0.81

PROFILI METALLICI	QUALITA' ACCIAIO
TRAVI $\left\{ \begin{array}{l} \text{HEB 30} \\ \text{HEA 30} \end{array} \right.$	Fe 360 Fe 360
RITTI $\left\{ \begin{array}{l} \square 30 \times 25 / 12 \\ \square 30 \times 25 / 10 \\ \square 30 \times 25 / 8 \end{array} \right.$	Fe 510 Fe 360 Fe 360

Figura 11.

4.2 TELAIO LONGITUDINALE DI FACCIATA

Il telaio metallico di facciata, come già evidenziato in precedenza, presenta una trama strutturale estremamente fitta e modulare, tale cioè da poterlo assimilare sul piano statico a una travatura di parete del tipo VIERENDEELENGESESSER, caratterizzata da una distribuzione diffusa e omogenea delle rigidezze taglio-flessionali fra tutti gli elementi componenti, correnti e montanti.

Ciò è puntualmente confermato dalla soluzione del relativo problema tensionale, che è stata ottenuta completamente per via automatica con un'analisi numerica in campo elasto-plastico qui sintetizzata nella seguente serie di grafici.

In Fig.11 sono innanzitutto riportati, assieme allo schema strutturale generale, alle caratteristiche dimensionali e qualitative dei profili adottati e alle azioni di calcolo, i valori risultanti delle reazioni e delle deformazioni. Riguardo a queste ultime, in particolare, va rimarcato il livello di deformabilità assai contenuto, con una freccia massima di servizio inferiore a 1/700 della luce libera della travatura.

Nelle Figg. 12-13-14 viene rispettivamente diagrammato l'andamento delle sollecitazioni di momento M_{Sd} (daN·m), taglio V_{Sd} (daN) e sforzo assiale N_{Sd} (daN), allo S.L.U., in tutte

le membrature del sistema; atteso che V_{Sd} in nessun caso eccede il 50% del taglio plastico $V_{pl,Rd}$, la verifica di sicurezza al limite di resistenza plastica in dette membrature, condotta in base all'espressione linearizzata (più conservativa):

$$N_{Sd} / N_{pl,Rd} + M_{Sd} / M_{pl,Rd} \leq 1$$

è fornita infine dai "coefficienti di rendimento" indicati nella mappa numerica globale di Fig. 15.

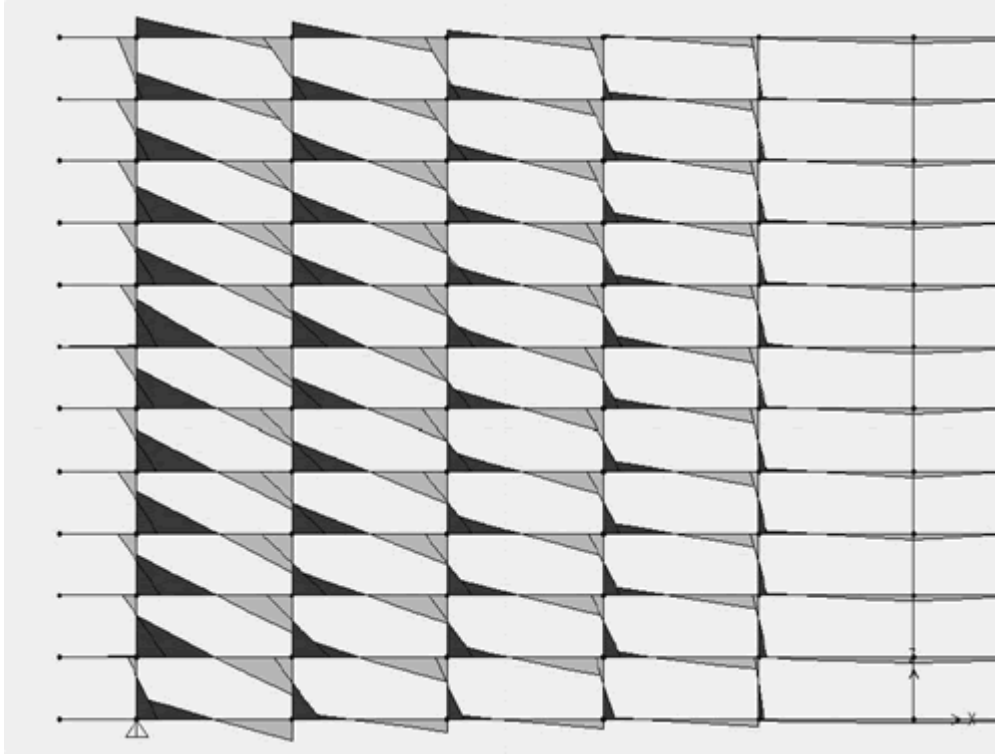


Figura 12. Diagramma dei momenti flettenti

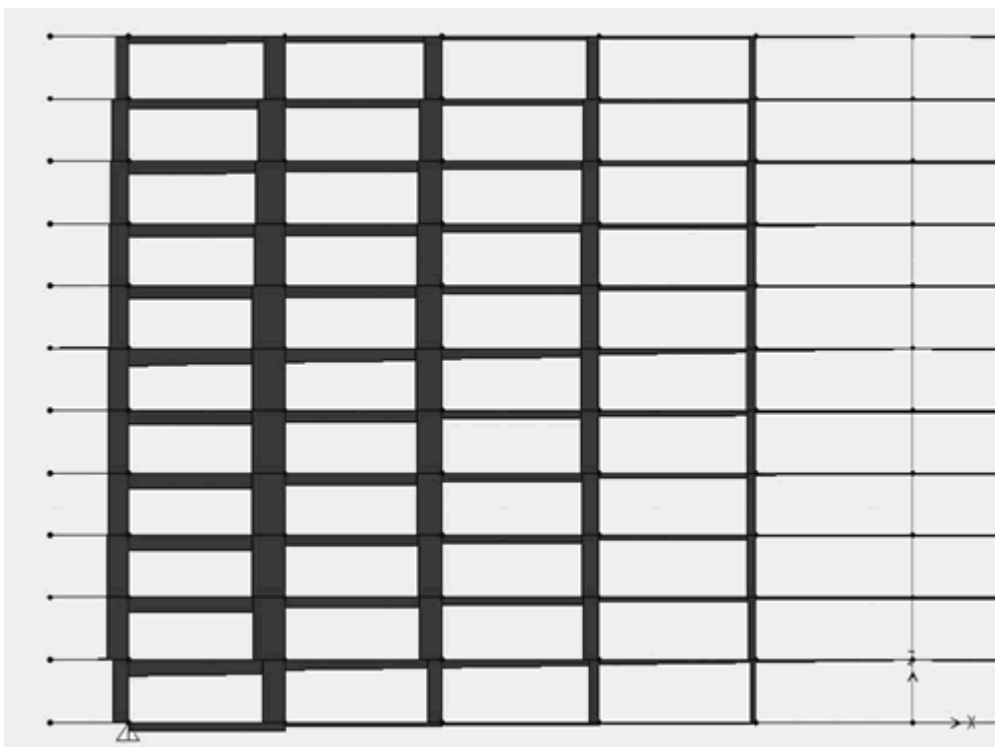


Figura 13. Diagramma degli sforzi taglienti

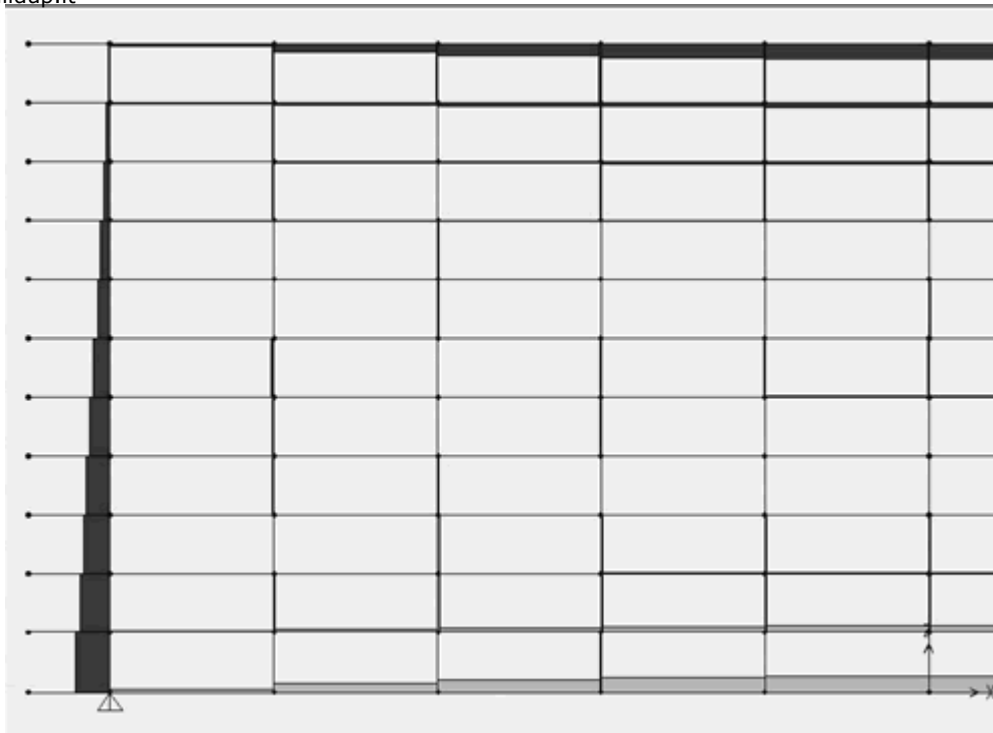


Figura 14. Diagramma degli sforzi assiali

0,004	0,277	0,365	0,396	0,445	0,558	0,495	0,385	0,497	0,210	0,470	0,039
0,003	0,318	0,587	0,385	0,566	0,637	0,483	0,380	0,370	0,206	0,248	0,028
0,003	0,339	0,702	0,380	0,613	0,519	0,489	0,380	0,333	0,187	0,171	0,009
0,003	0,374	0,763	0,372	0,640	0,627	0,499	0,364	0,328	0,189	0,151	0,012
0,003	0,473	0,779	0,433	0,647	0,623	0,502	0,435	0,330	0,235	0,151	0,033
0,028	0,553	0,726	0,469	0,544	0,610	0,415	0,422	0,266	0,222	0,114	0,018
0,003	0,574	0,824	0,410	0,641	0,519	0,489	0,356	0,314	0,180	0,133	0,002
0,003	0,649	0,862	0,412	0,648	0,540	0,486	0,373	0,309	0,198	0,126	0,020
0,003	0,748	0,877	0,419	0,636	0,570	0,474	0,389	0,302	0,222	0,126	0,041
0,003	0,689	0,831	0,480	0,583	0,630	0,453	0,444	0,306	0,283	0,152	0,069
0,028	0,860	0,666	0,380	0,463	0,370	0,411	0,249	0,339	0,123	0,253	0,001
0,003	0,564		0,522		0,567		0,571		0,543		

Figura 15. Coefficienti di rendimento

5. BIBLIOGRAFIA

[1] DENTAMARO C., DIPAOLO V., MOCCIA C./DI BERNARDO V.: "Un edificio-ponte ad elementi prefabbricati per residenza - Parte 1a: l'architettura, la costruzione ed il montaggio/Parte 2a: l'organizzazione e la risposta strutturale", 15° Congresso CTE, Bari, Nov. 2004.

[2] UNI-ENV1993-1.1-EUROCODICE3:

"Progettazione delle strutture in acciaio. Parte 1.1: Regole generali e regole per gli edifici". Giugno 1994.

[3] UNI-ENV1994-1.1-EUROCODICE4:

"Progettazione delle strutture composte acciaio-calcestruzzo. Parte 1.1: Regole generali e regole per gli edifici", Febb. 1995.

[4] D.M. 9/1/1996: "Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle

strutture in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche", Febb. 1996.

[5] COLACO J.P.: "A Stub-Girder System for High-Rise Buildings", AISC Engineering Journal, July 1972.

[6] HRABOK M.M., HOSAIN M.U.: "Analysis of Stub-Girders Using Substructuring", Computers and Structures, Vol.8, N.5, 1978.

[7] BJORHOVDE R.: "Testing of Full-Size Stub- Girder", Structural Engineering Report, University of Alberta, Canada, June 1981.

[8] BJORHOVDE R.: "Poutres mixtes composées sur tronçons courts: un système de plancher efficace", Construction Metallique, N.2, 1985.

[9] DENTAMARO C., DIPAOLA V., PRETE F., PRETE G.: "Composite Stub-Girders Plastic Analysis", in corso di pubblicazione, 2004.

Contatti con gli autori:

Calogero Dentamaro: c.dentamaro@poliba.it

Vincenzo Dipaola: v.dipaola@poliba.it

Francesca Prete: f.prete@poliba.it

Giuseppe Prete: g.prete@poliba.it