

**POLITECNICO DI MILANO**  
**Facoltà di Architettura e Società**  
**Corso di laurea magistrale**  
**Architettura**



***GLI IMPALCATI A PIASTRA IN C.A.***  
***TECNOLOGIA, COSTRUZIONE E RAPPORTO CON LE***  
***DESTINAZIONI FUNZIONALI***

Relatore:  
Prof. Dario CORONELLI

Tesi di laurea di:  
Diego MAGGIO, mat. 725475

A.A. 2009-2010

# GLI IMPALCATI A PIASTRA IN C.A. TECNOLOGIA, COSTRUZIONE E RAPPORTO CON LE DESTINAZIONI FUNZIONALI

## INDICE

INDICE DELLE TABELLE.....	3
ABSTRACT .....	4
CAPITOLO 1 LA NASCITA E LA STORIA .....	5
1.1 Introduzione .....	5
1.2 Il Sistema Hennebique.....	6
1.3 Spiral Mushroom System di C.A.P. Turner .....	9
1.4 Solaio a fungo di Maillart.....	12
1.5 La Soletta Nervata di P.L. Nervi .....	15
1.6 Conclusioni .....	18
CAPITOLO 2 TIPOLOGIE E CLASSIFICAZIONE.....	19
2.1 Introduzione .....	19
2.2 Fondamenti.....	20
2.3 Tipologie di vincolo.....	21
2.4 Varianti .....	24
2.5 Conclusioni .....	28
CAPITOLO 3 IL FUNZIONAMENTO E LA PROGETTAZIONE .....	29
3.1 Introduzione .....	29
3.2 Fondamenti del funzionamento .....	30
3.3 Fondamenti del calcolo elastico .....	34
3.4 Metodo diretto - Piastra su pilastri .....	42
3.5 Vantaggi e svantaggi nella progettazione .....	44
3.6 Conclusioni .....	45
CAPITOLO 4 LA REALIZZAZIONE.....	46
4.1 Introduzione .....	46
4.2 La cassetatura e il disarmo .....	46
4.3 L' armatura .....	49

4.4 Conclusioni .....	51
CAPITOLO 5 APPLICAZIONI .....	52
5.1 Introduzione .....	52
5.2 Fondamenti del rapporto tra la Struttura e la Funzione .....	53
5.3 Esempi progettuali.....	56
Polo Direzionale "De Cecco" - Nuova sede FATER spa – Pescara .....	57
Uffici e stabilimento per Armitalia - Cinisello Balsamo (MI) .....	64
Edificio per uffici e abitazioni – Ginevra (CH) .....	70
Palestra Polivalente - Losone (CH).....	79
Centro Commerciale Auchan di Cinisello Balsamo (MI) .....	85
Istituto di Design Zollverein - Essen (DE) .....	92
Ospedale Sant'Anna – Como .....	99
5.4 Considerazioni riassuntive .....	111
5.5 L' immagine architettonica .....	114
5.6 Il caso irregolare .....	116
5.7 Conclusioni .....	121
CAPITOLO 6 CONCLUSIONI .....	122
BIBLIOGRAFIA .....	124

# INDICE DELLE TABELLE

## **CAPITOLO 2 TIPOLOGIE E CLASSIFICAZIONE**

**Tabella 1** Luci e rapporto spessore/luce delle differenti tipologie di appoggio (pag. 24)

**Tabella 2** Vantaggi e svantaggi delle differenti tipologie di appoggio (pag. 24)

**Tabella 3** Luci abituali e rapporto spessore/luce della piastra nervata (pag. 28)

**Tabella 4** Vantaggi e svantaggi della piastra nervata (pag. 28)

## **CAPITOLO 3 IL FUNZIONAMENTO E LA PROGETTAZIONE**

**Tabella 1** Vantaggi e svantaggi in fase di progettazione della piastra in cemento armato (pag. 45)

## **CAPITOLO 5 APPLICAZIONI**

**Tabella 1** Caratteristiche tipologiche, dimensionali e finalità della piastra (pag.113)

**Tabella 2** Caratteristiche della piastra in rapporto allo spazio architettonico del progetto (pag. 114)

**Tabella 3** Caratteristiche comuni tra i progetti (pag. 115)



## **ABSTRACT**

L'obiettivo principale di questo lavoro di tesi, è dimostrare come l'impalcato a piastra in c.a. grazie alle sue diverse tipologie, alle sue caratteristiche statiche e di sistema costruttivo, si adatta a molte destinazioni funzionali. La tesi affronta tutte le caratteristiche di questo sistema dopo un'analisi storica della sua nascita e della sua evoluzione; approfondendo gli aspetti tipologici, funzionali e costruttivi. Una parte consistente è dedicata ad analizzare delle applicazioni di progetti, con l'obiettivo di sostenere e dimostrare quanto detto; indagando i rapporti che si instaurano con e tra le destinazioni funzionali. Si tratta inoltre, della capacità della piastra di diventare elemento estetico del progetto e di funzionare anche su maglie irregolari di pilastri. L'impalcato a piastra in cemento armato è descritto come sistema versatile e vantaggioso, il notevole sviluppo nell'utilizzazione e la poca trattazione sono stati ulteriori motivi per cui ho deciso di trattare questo argomento.

# CAPITOLO 1 LA NASCITA E LA STORIA

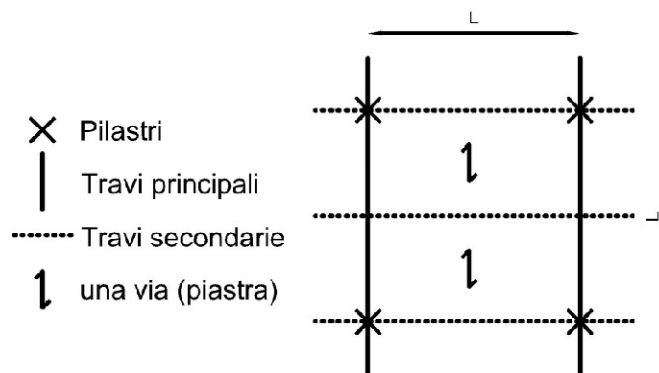
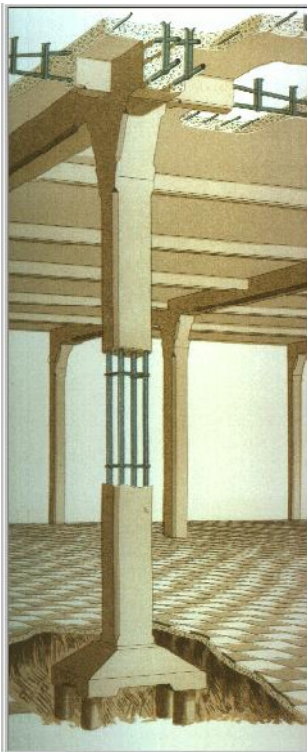
## 1.1 Introduzione

A cavallo del XIX e XX secolo prende piede un filone architettonico legato all'architettura industriale e allo strutturalismo, un linguaggio che non è costretto a nessuna mediazione per rendersi convincente o comprensibile. Grazie all'approfondimento scientifico questo filone acquista sempre più una fisionomia di alta carica espressiva, rispetto ai modelli pionieristici dell'architettura del ferro dell'Ottocento. Le grandi strutture in cemento armato hanno spesso in sé un'energia figurativa tale da poter esprimere i nuovi messaggi dello "spirito del tempo", senza come nei decenni precedenti rivestirsi di decorazioni stilistiche estratte dal vocabolario dell'Eclettismo. In questo modo la tecnologia delle costruzioni acquista maggiore sicurezza e fa sempre più spesso incursione, coi propri strumenti, direttamente nel campo dell'architettura e dell'estetica, con la quale finisce per identificarsi. Si delinea anche una nuova figura di ingegnere-architetto che a buon diritto diventa un personaggio chiave della contemporaneità (Muntoni, 2005).

E' in questo filone e con questo spirito che anche il sistema della piastra nasce e viene sperimentato; trovando molteplici applicazioni sia ingegneristiche che architettoniche. Questo capitolo affronta i passaggi chiave nella storia della progettazione delle piastre in cemento armato (c.a.) attraverso le innovazioni di questo sistema; suddividendo i principali contributi di coloro che nei decenni a cavallo del 1900 hanno sperimentato in Europa e negli Stati Uniti i vantaggi dell'impalcato a piastra in c.a. L'obiettivo è di comprendere le esigenze che hanno portato allo sviluppo e alla sperimentazione di questo sistema.

## 1.2 Il Sistema Hennebique

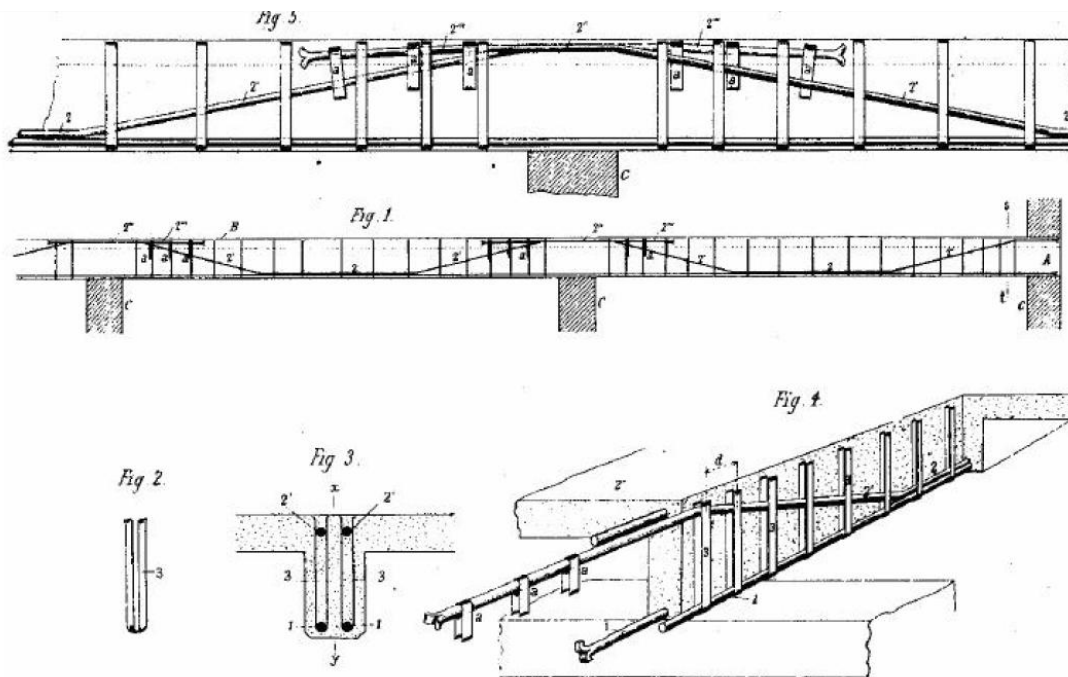
François Hennebique è stato un ingegnere e imprenditore francese, vissuto tra il 1842 e il 1921, è considerato uno dei padri del cemento armato. Il brevetto del suo sistema viene registrato per la prima volta l' 8 agosto del 1892 a Bruxelles, e nei successivi anni subisce diverse modifiche e miglioramenti; bisogna però sottolineare che egli già dal 1878 costruiva con questo sistema. Non si tratta di un vero impalcato a piastra in quanto è composto da elementi unidirezionali; certamente è però il primo impalcato completamente in cemento armato. Inoltre la rastremazione dei capitelli per resistere al taglio è un' intuizione fondamentale per gli sviluppi futuri. Consisteva nella costruzione completa di una ossatura portante monolitica in c.a. che prevedeva plinti di fondazione (o travi rovesce o platee), pilastri, travi principali, travi secondarie e solette (Fig. 1). Nei pilastri, in genere, erano previste armature metalliche longitudinali in barre a sezione circolare, tenute a posto sia da legature trasversali in filo di ferro, sia da fasce metalliche. Le solette avevano invece i ferri disposti in un'unica direzione, parallelamente alla trave principale; non si può quindi parlare di un vero e proprio funzionamento bidirezionale (Fig. 2), in funzione anche del rapporto tra le due luci (una è il doppio dell' altra). Caratteristico è il collegamento tra pilastri e travi che spesso presentava mensole di raccordo inclinate in prossimità dell'appoggio.



**Figura 2** Schema di una porzione dell' orditura degli elementi strutturali in pianta del Sistema Hennebique

**Figura 1** Spaccato assometrico dell' ossatura portante monolitica del Sistema Hennebique (da [www.sacs.it/tesi/indice.htm#cap5](http://www.sacs.it/tesi/indice.htm#cap5) – Tesi di Laurea)

Le travi collegate monoliticamente alle solette formavano in pratica delle strutture resistenti con sezione a "T", Sviluppate spesso nei due sensi ortogonali del solaio: La loro armatura era costituita da una serie di barre tonde, dislocate in prossimità della faccia inferiore della trave, altre, parallele alle prime, erano ripiegate alle due estremità verso l'alto (Fig. 4), in modo da assicurare nelle zone di incastro la presenza di armature metalliche sia al lembo inferiore che a quello superiore della struttura (Fig. 3). La ripartizione dei ferri diritti e dei ferri piegati era generalmente in parti uguali.

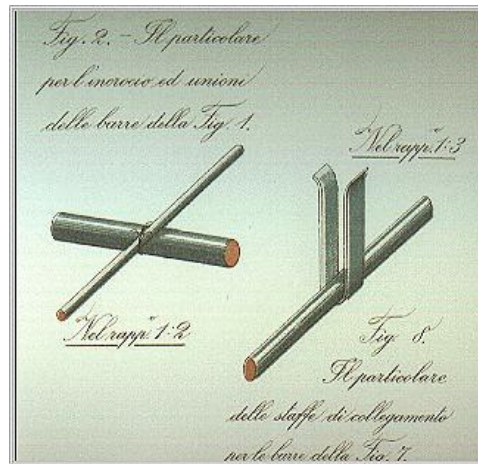


**Figura 3** Particolari costruttivi dei ferri d' armatura all' interno di una trave principale (da [www.ing.unlp.edu.ar](http://www.ing.unlp.edu.ar) - Hormigon armado notas sobre su evolucion y la de su teoria)

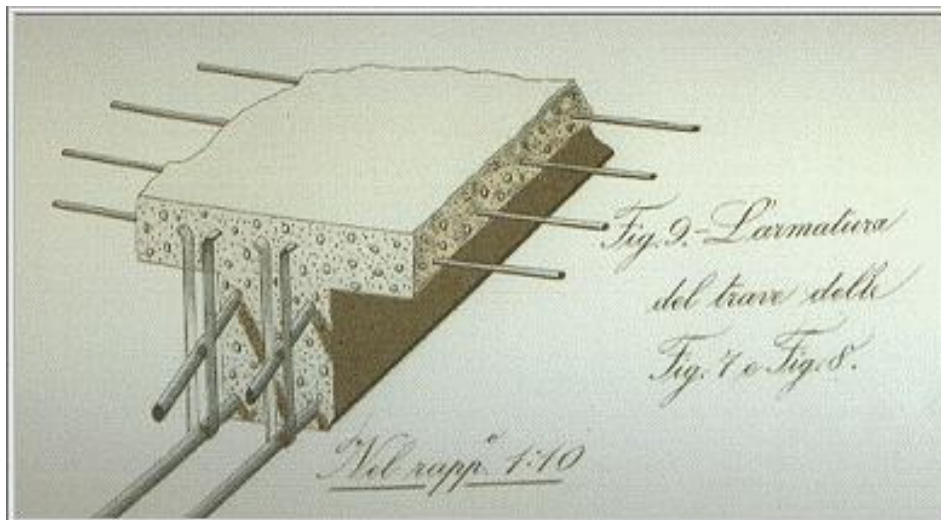
Risale all' agosto 1893, l' aggiunta di un attestato al brevetto del 1892. Questo miglioramento è in realtà una ridefinizione del dispositivo, una precisazione sulle staffe, che diventano la caratteristica principale del suo sistema (Delhumeau, 1999). Elementi a bracci verticali, in piattina di ferro (sezione 20x2 mm, 30x2 mm) che contrastano gli sforzi di taglio presenti nell'elemento inflesso (Fig. 5 e 6).



**Figura 4** Sezione longitudinale di una trave (da [www.sacs.it/tesi/indice.htm#cap5](http://www.sacs.it/tesi/indice.htm#cap5) – Tesi di Laurea)



**Figura 5** A sinistra: particolare per l'incrocio e le unioni delle barre di ferro nelle solette prima del sistema Hennebique. A destra: particolare delle staffe di collegamento per le barre di ferro per le solette del sistema Hennebique. (da [www.sacs.it/tesi/indice.htm#cap5](http://www.sacs.it/tesi/indice.htm#cap5) – Tesi di Laurea)



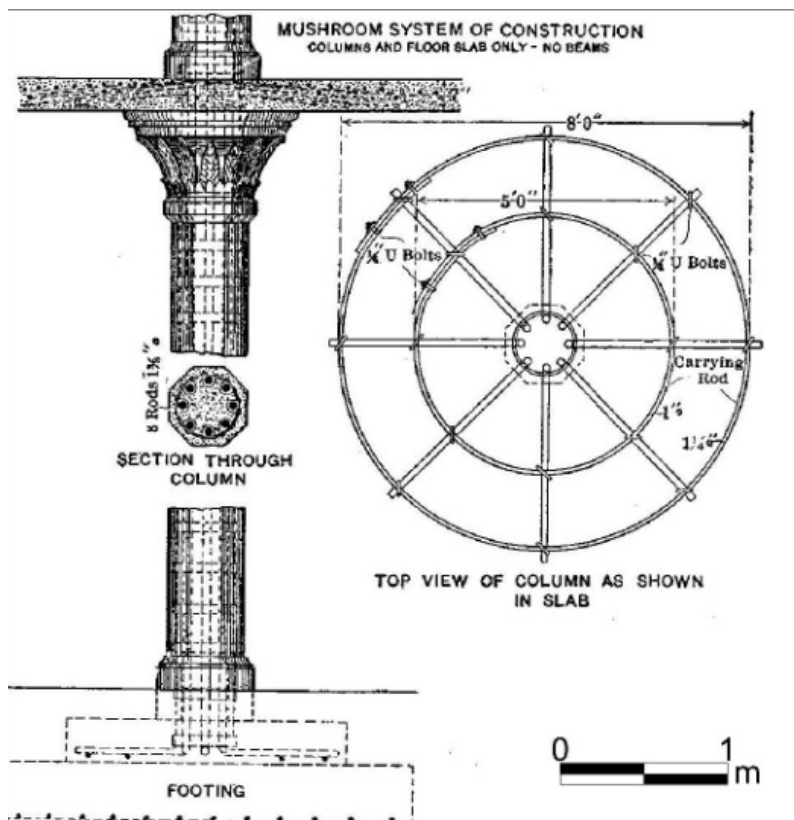
**Figura 6** Particolare dell' armatura di una trave secondaria (da [www.sacs.it/tesi/indice.htm#cap5](http://www.sacs.it/tesi/indice.htm#cap5) – Tesi di Laurea)

I dimensionamenti ottenuti con le formule empiriche di Hennebique sono abbastanza simili a quelli ottenuti con gli usuali metodi di progetto (tensioni ammissibili) e l'ottimo comportamento statico nel tempo delle opere, ne ha confermato indirettamente la validità nel contesto delle applicazioni svolte. I suoi brevetti vennero però ritenuti non validi nel 1903 dai tribunali francesi che, a torto, non riconobbero quanto essi differissero, nella loro concezione, dai precedenti brevetti di Monier.

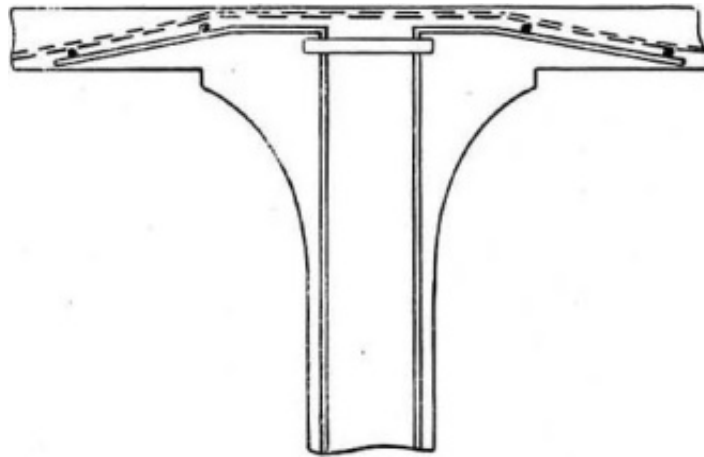
### 1.3 Spiral Mushroom System di C.A.P. Turner

Claude Allen Porter Turner è stato un ingegnere strutturista americano, vissuto tra il 1859 e il 1955, è conosciuto soprattutto per il suo brevetto del 1908 riguardo ad un innovativo sistema di supporto a piastra in cemento armato, noto con il nome di sistema di Turner o Spiral Mushroom System.

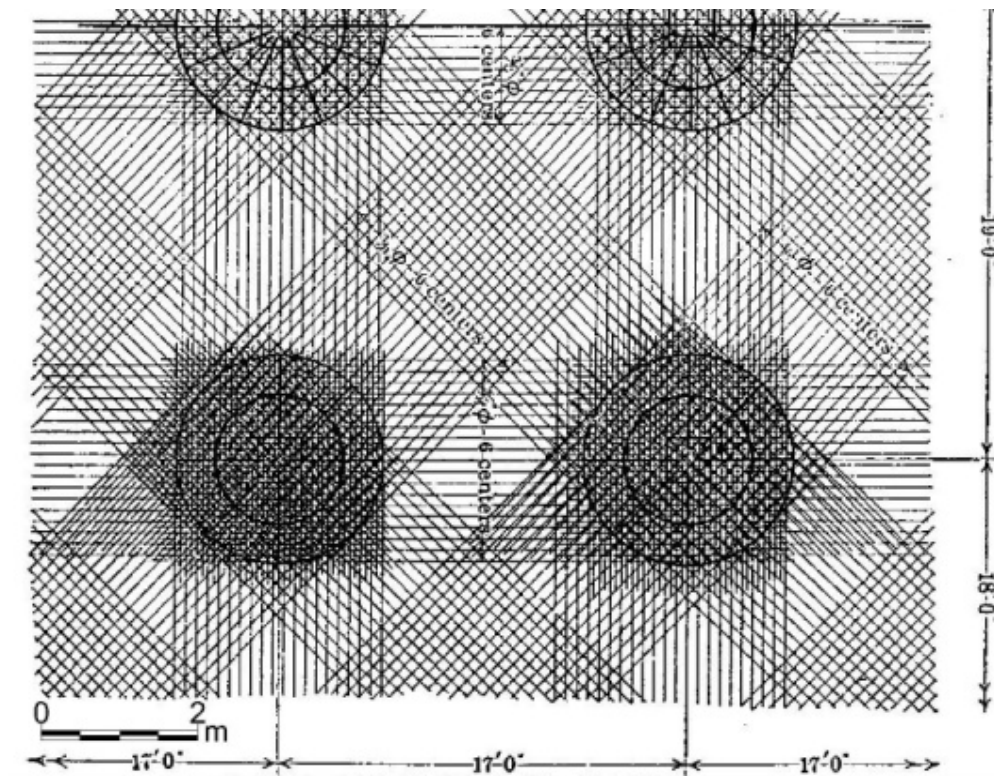
Il sistema è stato così denominato per la posizione particolare dell' armatura nella testa della colonna, da cui risulta una sorta di capitello. Turner aveva compreso l' importanza dell' armatura a taglio in corrispondenza delle colonne; ha previsto quindi in prossimità di queste dei supporti capaci di farsi carico del taglio. Infatti i ferri verticali del pilastro continuano il loro percorso aprendosi come un fungo e divenendo orizzontali all' interno della soletta (Fig. 8), dove sono poi legati tra loro da due cerchiature concentriche (Fig. 7). Questo fungo che si crea ha un diametro pari a  $\frac{1}{2}$  della luce tra i pilastri e risulta economicamente conveniente tra i 4 e i 9m (Fig. 9).



**Figura 7** Concezione della piastra con il Sistema Mushroom (da JOURNAL OF STRUCTURAL ENGINEERING vol. 128 n° 10 (ottobre 2002), pp. 1243-1252. *Contributions of C. A. P. Turner to Development of Reinforced Concrete Flat Slabs 1905-1909* by D. A. Gasparini, M.ASCE)



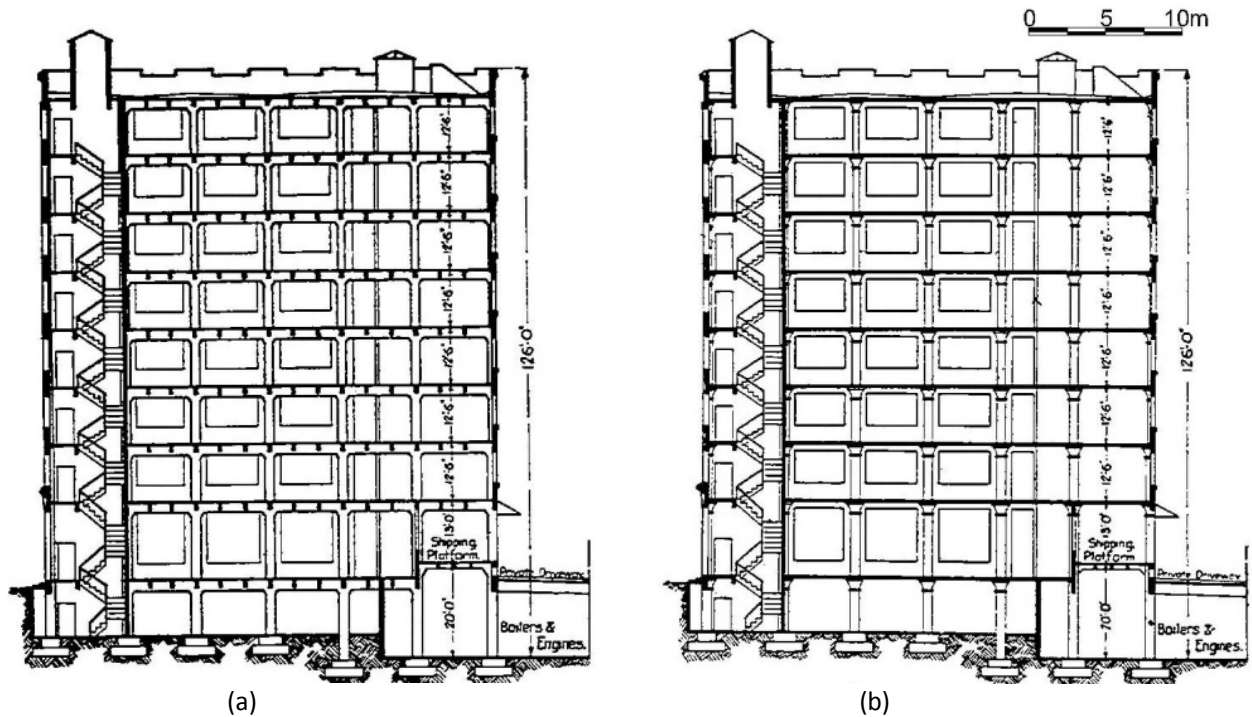
**Figura 8** Sezione verticale dell' attacco colonna-impalcato



**Figura 9** Andamento dell' armatura dello strato superiore ed inferiore in una porzione di impalcato (da JOURNAL OF STRUCTURAL ENGINEERING vol. 128 n° 10 (ottobre 2002), pp. 1243-1252. *Contributions of C. A. P. Turner to Development of Reinforced Concrete Flat Slabs 1905-1909* by D. A. Gasparini, M.ASCE)



L'eliminazione delle travi permetteva di risparmiare sui costi di intonaco e finitura, nonché di ridurre lo spessore dell'impalcato; data la sua natura come fu riportato dal consulente tecnico Sig. Giovanni Geist di Milwaukee, era particolarmente predisposto ad essere utilizzato per la costruzione di magazzini ed edifici simili (Turner, 1909). I vantaggi ottenuti da questo sistema erano: una migliore distribuzione della luce, un più facile utilizzo del soffitto piano (grazie all'eliminazione del sistema di travi) e l'assenza di vibrazioni (Fig. 10).



**Figura 10** Sezione di un edificio con sistema di travi (a) e Mushroom System (b) a confronto. Si nota come nel primo caso le travi interferiscano molto con gli ambienti interni dell'edificio (da Turner, C.A.P., M. Am. Soc. C. E. consulting engineer, 1909, *Concrete Steel Construction*. Farnham Printing & Stationery Company, Minneapolis, Vol.1, pp. 247-284)

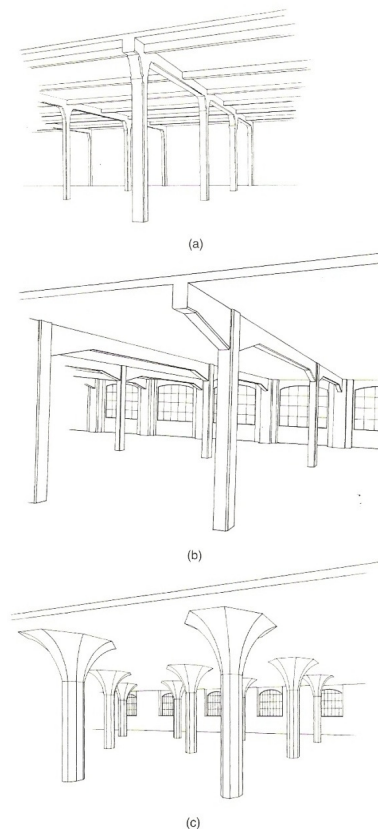
Nel breve periodo tra il 1905 e 1909 gli edifici con piastre in cemento armato diventano di uso comune negli Stati Uniti, soprattutto grazie agli sforzi di Turner. In seguito ha adattato il suo sistema di piastra anche per i ponti; non vi è dubbio che il progettista ha dimostrato l'affidabilità, l'efficacia e i bassi costi del sistema a piastra.



## 1.4 Solaio a fungo di Maillart

Altrettanto fondamentale è stata l'esperienza dell'ingegnere svizzero Robert Maillart, vissuto tra il 1872 e il 1940, egli si dedicò molto a ricercare nuove possibilità di applicazione del cemento armato, con risultati rilevanti anche dal punto di vista estetico. Suo fu il brevetto del solaio a fungo in Europa.

Sperimentando il lavoro di Hennebique da' infatti inizio ad una innovazione molto radicale, le strutture in c.a. secondo il metodo di Hennebique come abbiamo visto erano composte da un reticolo di travi principali e secondarie, collegate ai pilastri. Già nella costruzione di una fabbrica a Pfenniger Maillart aveva eliminato le travi secondarie; successivamente, attraverso prove su modelli, era arrivato all'idea di far sopportare il piano solamente ai pilastri (Fig. 11), allargandone con continuità la cima in capitelli, che meglio assorbivano gli sforzi. Nel corso del 1910 l'idea è brevettata. Il suo magazzino a Zurigo del 1910 è uno spartiacque nell'epopea delle strutture (Fig. 12). Nascono i *solai a fungo*, con una forma elegante che esprime chiaramente il percorso delle forze dal piano al pilastro.



**Figura 11** Evoluzione del sistema; (a) Il Sistema Hennebique (b) La fabbrica Pfenniger di Maillart (c) Zurich warehouse, 1910: Solaio a fungo di Maillart (da Billington, D.P., 1997, *Robert Maillart, Builder, Designer, and Artist*. Cambridge University Press)



**Figura 12** Zurich warehouse in Giesshübel Street, 1910 (da Billington, D.P. 1997, *Robert Maillart, Builder, Designer, and Artist*. Cambridge University Press)

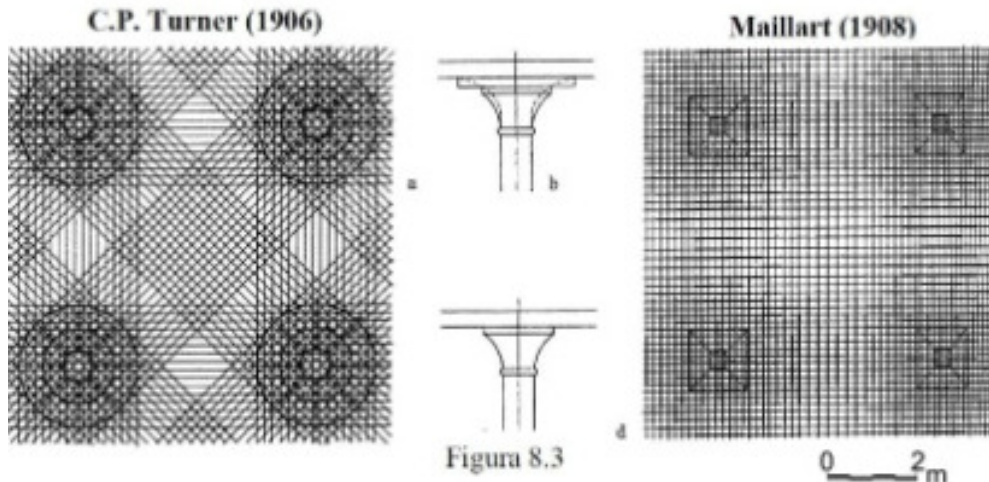
Bisogna sottolineare la grande capacità di carico del cemento armato, il basso costo, e l'aspetto funzionale delle piastre prive di travi. *“Non è solo il desiderio della bellezza che fa vedere le strutture come un tutto unico e non come singole parti, ma questo modo di vedere porta vantaggi economici. I solai a fungo possono essere un esempio. Vi sono molte teorie eleganti per solette su punti di supporto, tuttavia trattare le solette da sole non porta a buoni risultati economici, che invece si possono ottenere solo se si esamina tutta la struttura insieme: soletta, colonne e capitelli. Questo presenta particolari difficoltà di calcolo che si possono superare solo con modelli di studio e misure sulle strutture complete: questa è la differenza essenziale tra il mio metodo di calcolo delle solette e quelli esposti in molti regolamenti. L'ingegnere deve liberarsi delle usuali forme della tradizione, nate per vecchi materiali e deve cercare la forma ottimale per un utilizzo completo delle risorse dei nuovi materiali. Forse questo porterà, come è avvenuto per gli aeroplani e le automobili, ad una simile bellezza con un nuovo stile derivato dalle proprietà dei*

materiali "(Robert Maillart; da una lettera per la Società Svizzera degli Ingegneri ed Architetti, del 13/11/1937; da [www.giovannardierottini.it](http://www.giovannardierottini.it)).



**Figura 13** Prova di carico su modello, 1908 (da [www.giovannardierontini.it/Pubblicazioni](http://www.giovannardierontini.it/Pubblicazioni) - GIOVANNARDI FAUSTO, *Robert Maillart e l' emancipazione del C.A.*, Pubblicazione fuori commercio, 2007)

Anche se Maillart sembra abbia sviluppato la sua invenzione di piastra in modo indipendente, l'idea come abbiamo visto era già stata utilizzata in una forma diversa nel 1905 da C.A.P. Turner negli Stati Uniti. Una differenza interessante tra l'impalcato di Turner e quello di Maillart sta nella disposizione delle armature. Mentre Turner dispone l'armatura nella direzione dei momenti principali, Maillart adotta una disposizione analoga a quella utilizzata oggi (Fig. 14).



## 1.5 La Soletta Nervata di P.L. Nervi

*"Come sempre in tutta la mia opera progettistica ho constatato che i suggerimenti statici interpretati e definiti con paziente opera di ricerca e di proporzionamento sono le più efficaci fonti di ispirazione architettonica. Per me questa regola è assoluta e senza eccezioni".*

P.L. Nervi

Fondamentale nel panorama italiano e non solo è stata l'esperienza di Pier Luigi Nervi, ingegnere nato a Sondrio nel 1891 e morto a Roma nel 1979. Con Nervi gli sviluppi del cemento armato tendono a personalizzarsi, anche nel campo degli impalcati piani con il principio della soletta nervata a travi incrociate. Un esempio è la sagomatura delle piastre quadrate su travi e pilastri della "Manifattura Tabacchi a Bologna"; 1951/52 (Fig.15).



**Figura 15** Manifattura Tabacchi a Bologna 1951/52

<http://130.186.90.103/index.php?/it/multimedia/tecnopolo-fotografie-rossi.html>

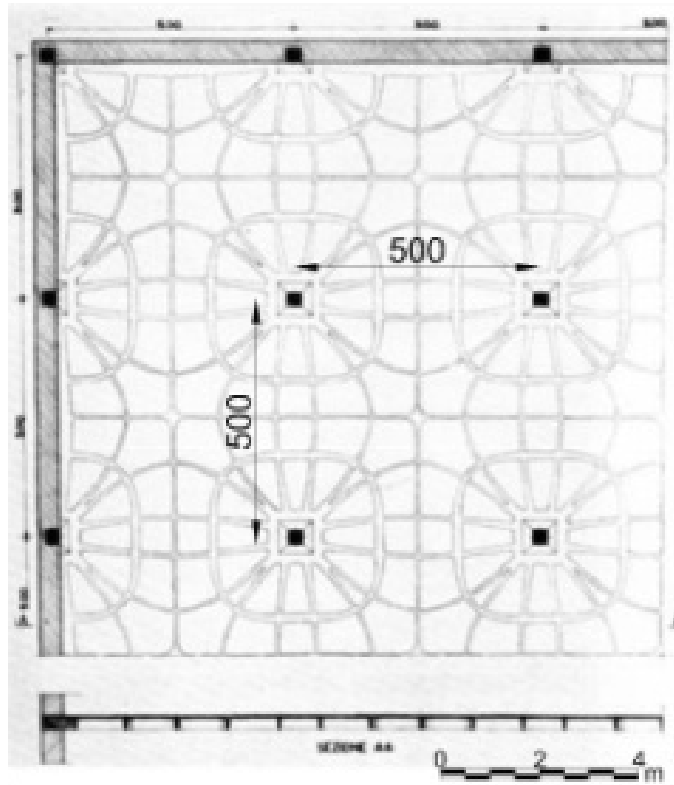


Ma l' esempio più virtuoso è certamente il "Lanificio Gatti" di Roma (1952), dove le nervature dei solai seguono l' andamento dei momenti principali (Fig. 16).

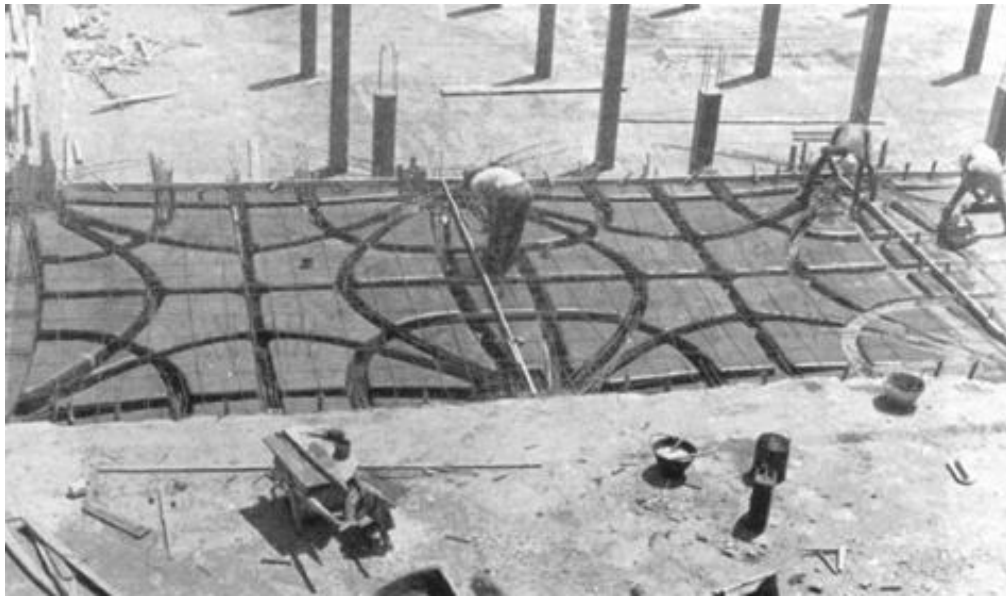


**Figura 16** Lanificio Gatti, Roma 1952, vista interna  
[www.uniroma2.it/didattica/AT22/deposito/2\\_pierluiginervi\\_1.pdf](http://www.uniroma2.it/didattica/AT22/deposito/2_pierluiginervi_1.pdf)

Come abbiamo visto per le precedenti soluzioni anche in questo caso le prestazioni del c.a. sono portate al limite, con un ulteriore passo in avanti. L' analisi delle sollecitazioni di flessione *in un dato punto* indica che vi sono due direzioni per cui le sollecitazioni stesse sono rispettivamente massime e minime, e per cui i tagli sono zero. Si tratta delle due *direzioni principali*. E' quindi possibile tracciare le *linee delle tensioni principali o isostatiche*, che rappresentano l' andamento delle tensioni di flessione nella lastra. Poiché lungo le isostatiche non si sviluppano azioni di taglio, la lastra può anche essere considerata come una griglia di travi *curve* ortogonali tra loro, ma che non trasmettono carichi alle travi adiacenti per azione di taglio (Salvadori, 1964). Questo è in linea teorica il procedimento che Nervi applica alla progettazione formale delle sue solette; infatti per lastre semplicemente appoggiate, la disposizione delle isostatiche è simile a quella delle nervature dell' impalcato del Lanificio Gatti (Fig. 17).



**Figura 17** Lanificio Gatti, Roma 1952, pianta dell' impalcato  
[www.uniroma2.it/didattica/AT22/deposito/2\\_pierluiginervi\\_1.pdf](http://www.uniroma2.it/didattica/AT22/deposito/2_pierluiginervi_1.pdf)



**Figura 18** Lanificio Gatti, Roma 1952, fase di realizzazione dell' impalcato con cassero in ferro-cemento reimpiegabile (da [www.uniroma2.it/didattica/AT22/deposito/2\\_pierluiginervi\\_1.pdf](http://www.uniroma2.it/didattica/AT22/deposito/2_pierluiginervi_1.pdf))

Il risultato estetico è molto soddisfacente, per contro tali nervature curve richiedono casseforme di alto costo; sono economicamente convenienti solo quando le casseforme stesse possono essere reimpiegate più volte. Sicuramente l'esperienza di Nervi rimane un passaggio chiave nella storia della progettazione degli impalcati a piastra in c.a.

## **1.6 Conclusioni**

Possiamo certamente indicare Hennebique come il primo progettista e costruttore di una struttura portante totalmente in c.a, ebbe l'intuizione di posizionare l'armatura della trave all'appoggio al lembo superiore. Tuttavia egli non aveva compreso a pieno la funzionalità di una piastra bidirezionale, le sue strutture lavoravano prevalentemente con elementi unidirezionali. Quasi contemporaneamente Maillart e Turner arrivarono invece alla stessa soluzione, ossia eliminare le travi e progettare un impalcato bidirezionale su dei pilastri a fungo. Turner posizionò l'armatura in modo staticamente più rigoroso; Maillart invece in modo più economico e pratico, come avviene oggi. Gli impalcati a piastra con Nervi mostrano le loro potenzialità statiche e raggiungono anche ottimi risultati estetici, a scapito di costi maggiori di realizzazione. Da questo capitolo si comprende come siano molteplici le esigenze che hanno portato alla sperimentazione e all'utilizzo del sistema a piastra in c.a., questo ne sottolinea le potenzialità la versatilità e non esclude eventuali sviluppi futuri.

## **CAPITOLO 2 TIPOLOGIE E CLASSIFICAZIONE**

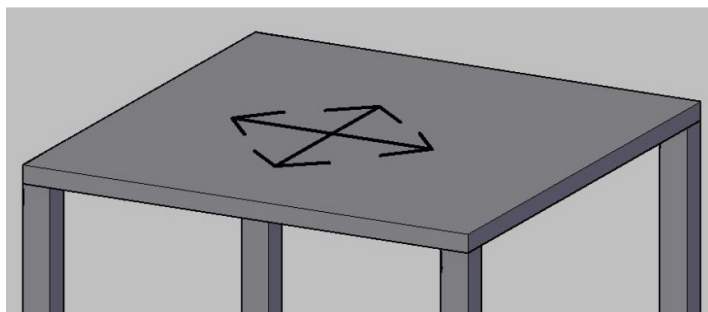
### **2.1 Introduzione**

Le piastre rappresentano una famiglia di elementi strutturali bidimensionali; piani e di spessore contenuto. Esse si prestano ad una grande varietà di impieghi: in funzione dei carichi, degli appoggi, della tipologia e del materiale con cui verranno realizzate; devono però il loro sviluppo all' avvento del moderno calcestruzzo armato. Le piastre possono essere appoggiate lungo tutto il loro contorno oppure unicamente nei punti prescelti, oppure da una combinazione di appoggi continui e puntiformi. L' obiettivo di questo capitolo è fare chiarezza classificando le piastre in funzione dei vincoli e della loro tipologia; individuando per ognuna le caratteristiche, i vantaggi e gli svantaggi. Risulta necessario fare questo tipo di ripartizione e di analisi anche alla luce dei successivi capitoli.

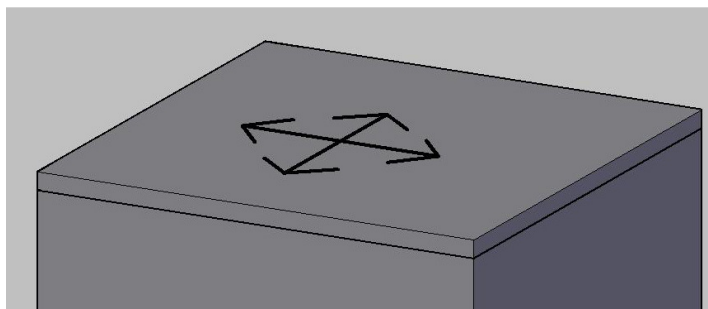


## 2.2 Fondamenti

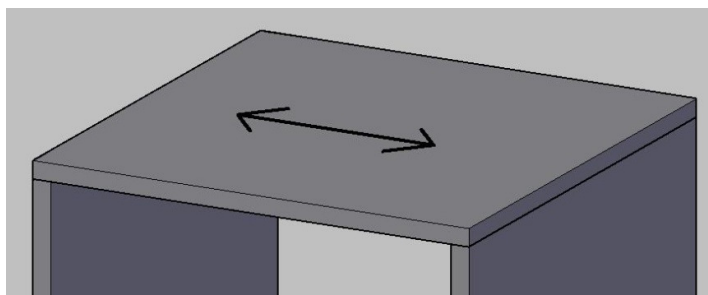
Esistono due grandi situazioni fondamentali in cui dividere le piastre - in funzione dell'organizzazione spaziale del sistema degli appoggi - Il sistema ad una oppure a due vie. Nel *sistema ad una via* la struttura trasferisce i carichi al terreno agendo in un'unica direzione (Fig. 3); mentre nel *sistema a due vie* le direzioni sono almeno due (Fig. 1), e il meccanismo di trasferimento dei carichi non sempre è facile da determinare. Una piastra quadrata, piana, che si appoggia ai suoi lati su quattro sistemi di supporto continui è un sistema a due vie (Fig. 2). Una certa disposizione degli appoggi, porta spesso ad un vantaggio o ad uno svantaggio in termini dell'utilizzo efficiente dei materiali, per questa ragione è utile subito distinguere tra sistemi ad una via o due vie.



**Figura 1** Appoggi puntiformi: comportamento bidirezionale (le frecce indicano le azioni interne)



**Figura 2** Appoggi lineari su tutti i lati: comportamento bidirezionale (le frecce indicano le azioni interne)



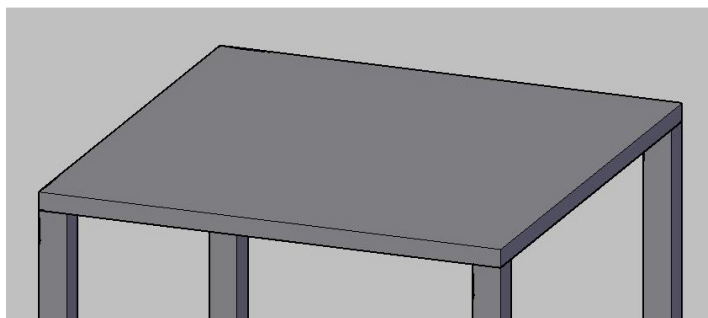
**Figura 3** Appoggi lineari su due lati: comportamento monodirezionale (le frecce indicano le azioni interne)

### 2.3 Tipologie di vincolo

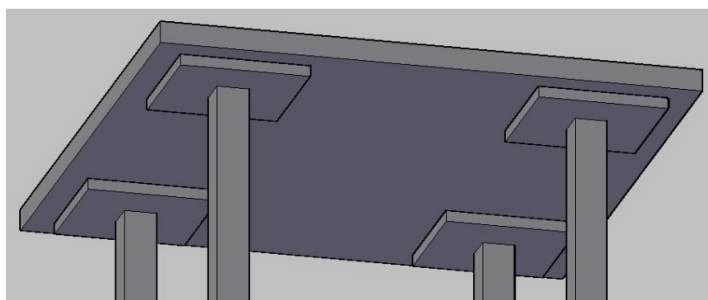
Un'ulteriore classificazione delle piastre è basata sulla disposizione dei vincoli; possono essere puntiformi (pilastri) o continui (travi di bordo o muri). La disposizione dei vincoli come abbiamo visto ha un'influenza diretta sul modo di funzionare della piastra, infatti nel caso in cui i vincoli sono allineati in parallelo si parla di piastra unidirezionale, mentre il suo comportamento è bidirezionale se la disposizione dei vincoli è a maglia. L'importanza nella scelta dei vincoli è fondamentale per la luce che bisogna coprire, e per lo spessore di piastra che si vuole ottenere. La varietà di condizioni di appoggio possibile rende quindi la piastra un elemento strutturale altamente versatile. La piastra potrebbe anche appoggiare su uno schema combinato di vincoli puntiformi e vincoli continui, un ibrido tra una maglia di pilastri e una maglia di setti, oppure su una disposizione di vincoli non regolare, che non segue una maglia riconoscibile. Analizziamo ora la casistica citata considerando una piastra a spessore costante.

*Le colonne* - La piastra a spessore costante su pilastri presenta numerosi vantaggi, essa permette il massimo sfruttamento dello spazio sottostante (Fig. 4) e la sua tecnica costruttiva è semplice e rapida. Infatti per la realizzazione della cassera, non si deve tenere conto dei differenti spessori, cassettoni o travi di bordo e permette la massima facilità per la sistemazione degli impianti. Questa soluzione si adatta a campi quadrati o rettangolari medio piccoli, 6-9m (Tab. 1); è uno schema particolarmente vantaggioso per coprire superfici ampie e mantenere una grande libertà di utilizzo dello spazio in pianta (Tab.2).

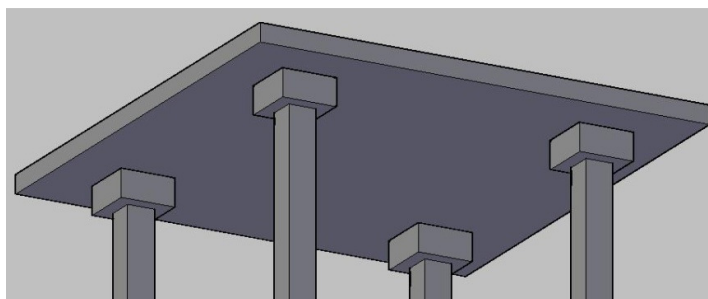
L'appoggio su colonne presenta alcune varianti: si può prevedere un ispessimento della soletta in corrispondenza dei pilastri (Fig. 5), oppure la realizzazione di un capitello sopra la colonna stessa (Fig. 6). Queste varianti permettono di aumentare la rigidità del sistema, evitare il *punzonamento* (vedi paragrafo 3.5) e ottenere delle luci maggiori – fino a 12m (Tab. 1).



**Figura 4** Piastra a spessore costante su colonne

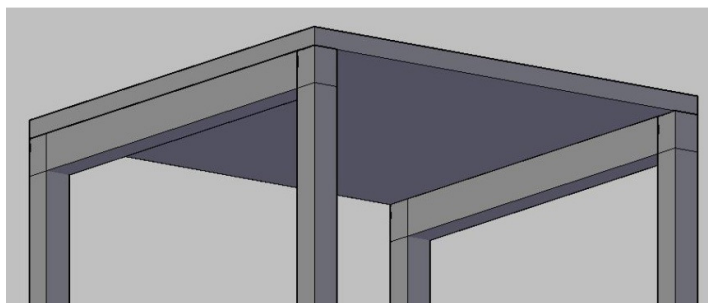


**Figura 5** Piastra su colonne con ispessimento dei punti di appoggio

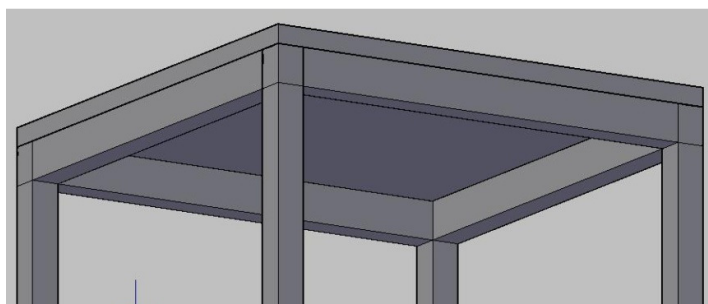


**Figura 6** Piastra su colonne con capitelli

*Le travi* – L' utilizzo delle travi come detto è un vincolo continuo, necessita di un dimensionamento minore rispetto al caso di piastra su colonne, si posso coprire luci maggiori e ottenere uno spessore minore della soletta. Bisogna distinguere però l' appoggio su due travi (che configura un comportamento unidirezionale della piastra, Fig. 7) dall' appoggio su quattro travi (che configura un comportamento bidirezionale della piastra, Fig. 8), il secondo caso infatti permette di ottenere luci ancora maggiori – fino a 15m (Tab 1). Questa soluzione continua a garantire un' elevata libertà dell' utilizzo dello spazio in pianta e si adatta bene alle destinazioni residenziali e industriali (Tab. 2); per contro si evidenzia una maggiore complessità della cassetta dovuta appunto alla presenza delle travi.

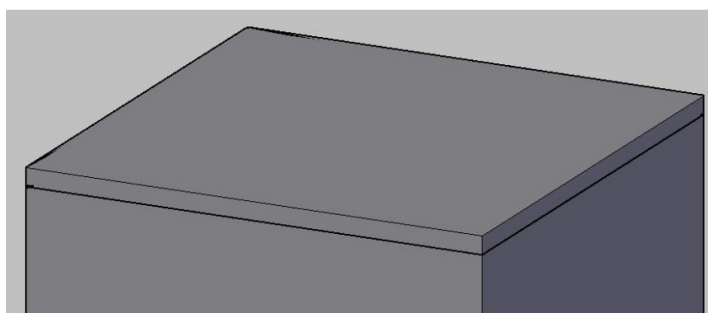


**Figura 7** Piastra su travi disposte su due lati



**Figura 8** Piastra su travi disposte su 4 lati

*Le pareti* – Le pareti come detto per le travi, possono essere disposte su due lati paralleli o sui quattro lati (Fig. 9); ma gli svantaggi rispetto ai precedenti schemi sono notevoli. Le luci copribili sono minori e la libertà di utilizzo in pianta dello spazio coperto è scarsa, si tratta di uno schema utilizzabile solo in edifici abitativi modulari (Tab. 2). Presenta però il vantaggio di un utilizzo ridotto dei materiali e una facile costruzione, in quanto lo spessore della soletta rimane costante su tutta la superficie.



**Figura 9** Piastra su pareti portanti

TIPO DI SISTEMA	LUCI ABITUALI	RAPPORTO SPESSORE/LUCE
<i>Piastra su pareti portanti</i>	<i>Fino a 8m</i>	<i>1/25-1/35</i>
<i>Piastra su travi su due lati</i>	<i>6-12m</i>	<i>1/25-1/35</i>
<i>Piastra su travi su quattro lati</i>	<i>6-15m</i>	<i>1/25-1/35</i>
<i>Piastra a spessore costante su colonne</i>	<i>6-9m</i>	<i>1/20-1/30</i>
<i>Piastra su colonne con spessori o capitelli</i>	<i>7-12m</i>	<i>1/25-1/35</i>

**Tabella 1** Luci e rapporto spessore/luce delle differenti tipologie di appoggio

TIPO DI SISTEMA	VANTAGGI	SVANTAGGI	TIPO DI COSTRUZIONE
Piastra a spessore costante su colonne	Massima facilità costruttiva: facile disposizione degli impianti, riduzione dei tempi di costruzione	Maggiore utilizzo di materiali. Critica la verifica al punzonamento. Necessità del controllo degli spostamenti e fessurazione	Abitazioni, magazzini, edifici commerciali, parcheggi, ospedali.
Piastra su colonne con ispessimento o capitelli nei punti di appoggio	Elevata resistenza al punzonamento	Maggiore complessità della cassetta	Magazzini, edifici commerciali e industriali, parcheggi
Piastra su travi disposte sui lati	Maggiore libertà di utilizzo dello spazio in pianta	Maggiore complessità della cassetta	Edifici abitativi e industriali
Piastra su pareti portanti	Utilizzo di materiali ridotto	Scarsa libertà di utilizzo in pianta dello spazio coperto	Edifici abitativi modulari

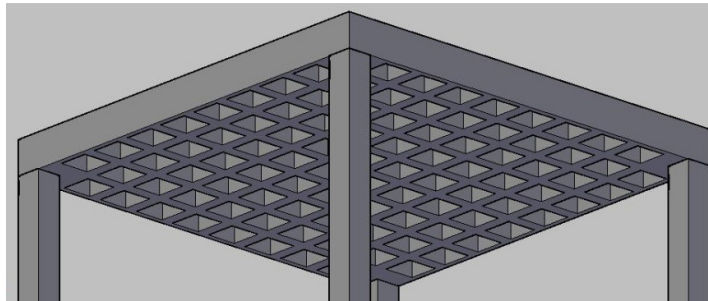
**Tabella 2** Vantaggi e svantaggi delle differenti tipologie di appoggio

## 2.4 Varianti

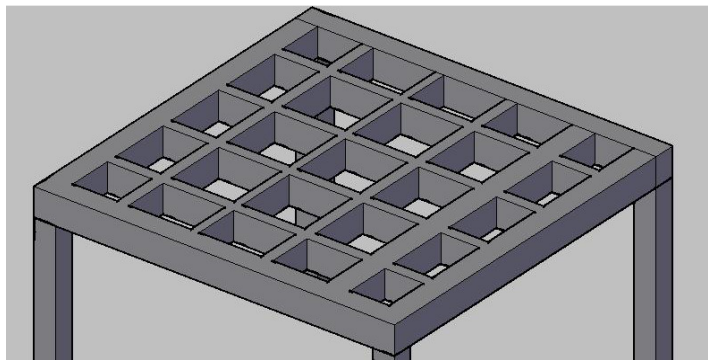
La piastra a tutto spessore non è l' unica soluzione possibile, esistono diverse soluzioni che trovano un compromesso tra rigidità e leggerezza. Analizziamo di seguito le numerose varianti e le loro caratteristiche.

*Piastre nervate* – Questa soluzione è utilizzabile sia per il caso unidirezionale - con nervature in un solo senso a unire due vincoli continui disposti in parallelo - che bidirezionale - con nervature disposte a maglia (Fig. 10). La piastra nervata permette

di coprire grandi luci (Tab. 3) e sopportare carichi elevati, aumenta però molto la complessità di cassetatura. Nel caso di un appoggio su colonne, la capacità complessiva di coprire una luce può essere incrementata evitando di svuotare le linee tra le colonne, si ottiene così il comportamento a due vie tipico di una piastra su travi. Le varianti di questo sistema sono molteplici e i parametri in gioco pesano le diverse esigenze (economiche, statiche, funzionali ed estetiche). Per esempio una piastra nervata a spessore costante, può essere realizzata con nervature di differente larghezza per seguire l'andamento dei momenti flettenti dovuti ai carichi verticali (Fig. 11).

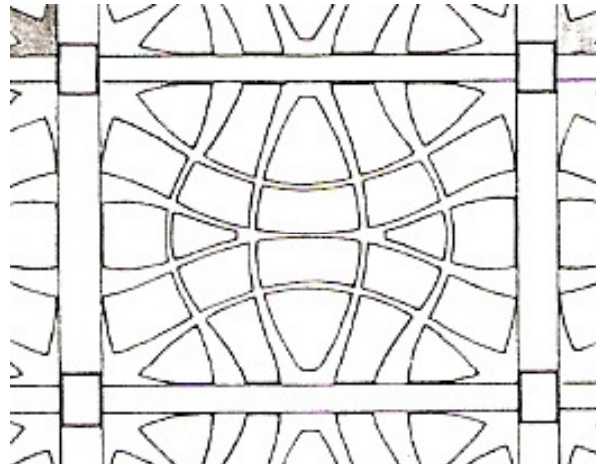


**Figura 10** Piastra nervata a cassettoni su colonne



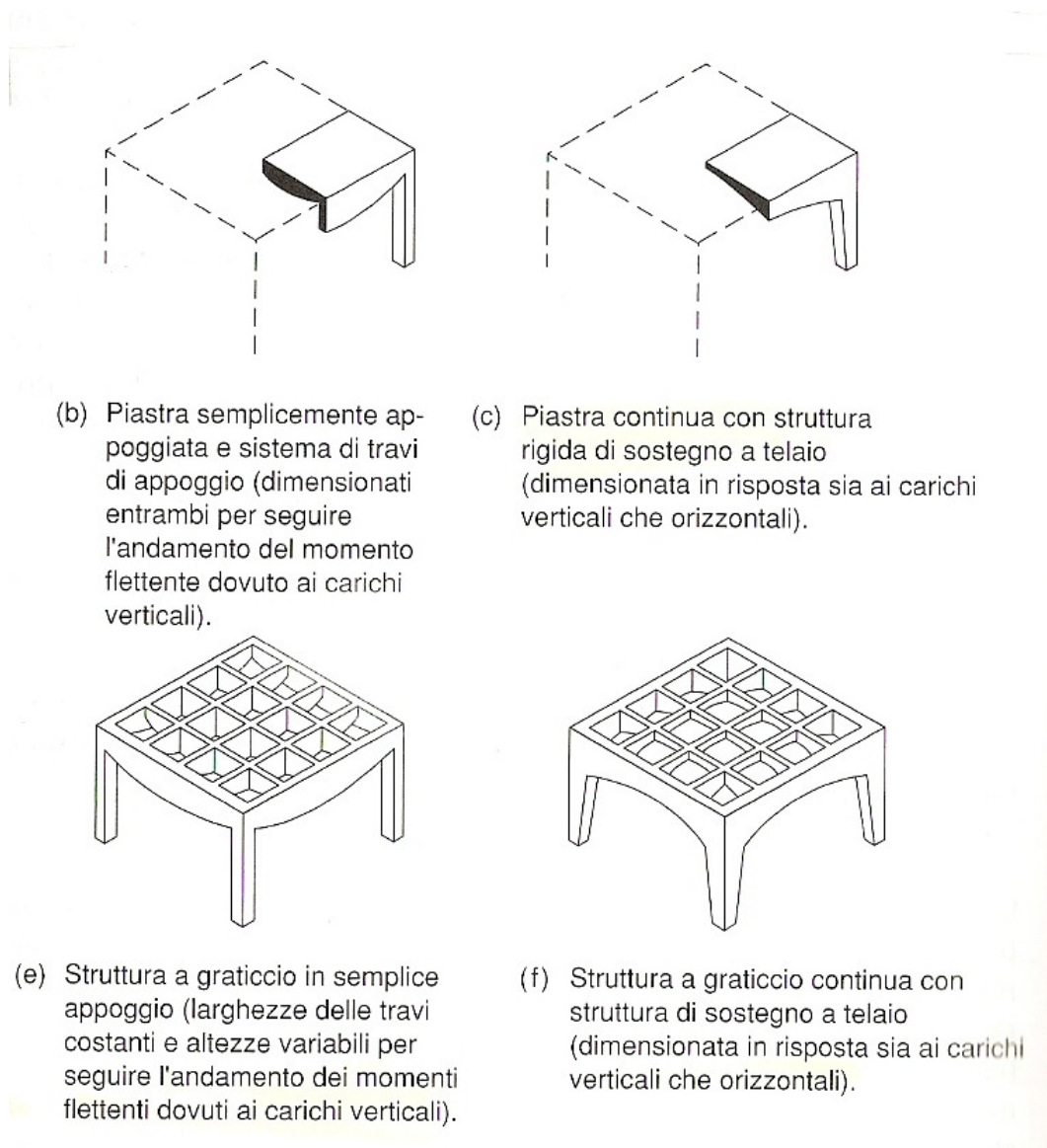
**Figura 11** Struttura a graticcio con la larghezza delle travi che varia

Ancora più particolare è il caso delle piastre nervate che riflettono l'andamento delle linee isostatiche (paragrafo 3.2). E' una soluzione di complessa progettazione e realizzazione, ma il risultato finale permette di elevare la qualità e le prestazioni del materiale – la struttura può diventare immagine architettonica (Fig. 12).



**Figura 12** Struttura continua di piastra con nervature che riflettono l'andamento delle linee isostatiche (da Salvadori, M. 1964, *Le strutture in architettura*. Etas Kompass, Milano)

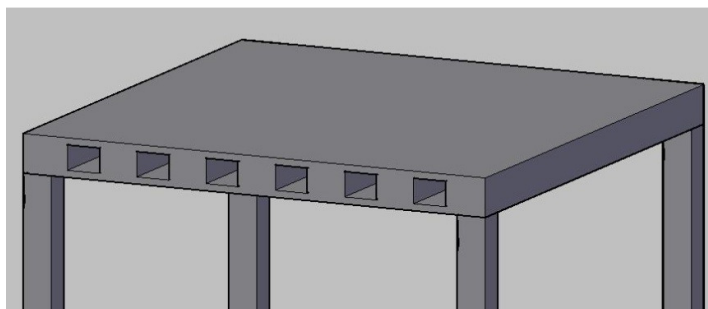
*Piastre con spessore variabile* – Sino ad ora abbiamo considerato solo piastre a spessore costante, ma le alternative possibili sono molteplici; a favore di un buon funzionamento statico (nonché di un utilizzo ottimale del materiale) ma a scapito di una facile realizzazione. Per esempio: nel caso si voglia seguire l'andamento del momento flettente dovuto ai carichi verticali (semplice appoggio), la piastra presenterà un andamento convesso verso la mezzera (Fig. 13-b); avrà invece un andamento concavo per risposta sia ai carichi verticali che orizzontali (Fig. 13-c). Quanto descritto sopra vale anche per una piastra nervata, in questo caso varierà lo spessore delle nervature (Fig. 13-e/f).



**Figura 13** Piastre con spessore variabile (da Schodek, D. L. 2004, *Strutture*. Pàtron Editore, Bologna)

*Piastre alleggerite* – Questa soluzione presenta un nucleo cavo, con vuoti disposti in parallelo all' interno dello spessore – un solaio alveolare (Fig. 14). I vantaggi sono simili alle piastre nervate; si ottiene un risparmio di materiale e un buon compromesso tra rigidità e leggerezza. Il nucleo cavo è ottenibile con diverse soluzioni (vedi capitolo riferito al sistema costruttivo).





**Figura 14** Piastra alleggerita su colonne

TIPO DI SISTEMA	LUCI ABITUALI	RAPPORTO SPESSORE/LUCE
<i>Piastra nervata a cassettoni su colonne</i>	<i>12-20m</i>	<i>1/15-1/20</i>

**Tabella 3** Luci abituali e rapporto spessore/luce della piastra nervata

TIPO DI SISTEMA	VANTAGGI	SVANTAGGI	TIPO DI COSTRUZIONE
Piastra nervata a cassettoni appoggiata su colonne	Copertura di grandi luci e capacità di reggere grandi carichi	Maggiore utilizzo di materiali; maggiore complessità di cassetatura; possibili problemi acustici	Edifici industriali e commerciali

**Tabella 4** Vantaggi e svantaggi della piastra nevata

## 2.5 Conclusioni

Da questo capitolo si può capire quanto il tipo di appoggio influenzi l'impalcato a piastra; esso determina le luci copribili, lo spessore della piastra, le modalità costruttive e di conseguenza è legato alla destinazione funzionale. Sono subito chiare la versatilità e la gamma tipologica di questo sistema, che risulta molto ricco di soluzioni. Inoltre si evince come la progettazione di luci maggiori sia in conflitto con una facile ed economica realizzazione; infatti le travi, i capitelli e le varianti alla piastra, permettono di coprire luci maggiori ma complicano molto le fasi di cassetatura. Inaspettatamente questo sistema si è rivelato anche molto propenso a risultati di tipo estetico; le varianti tipologiche alla piastra di spessore costante sono numerose e possono stimolare la fantasia compositiva.

## CAPITOLO 3 IL FUNZIONAMENTO E LA PROGETTAZIONE

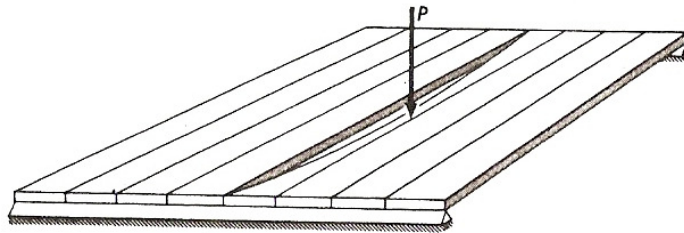
### 3.1 Introduzione

Questo capitolo getta le basi per la comprensione del funzionamento statico delle piastre e individua i metodi di calcolo per i casi più comuni. Il calcolo elastico permette un approccio al comportamento meccanico; di facile comprensione per le piastre a geometria semplice e più difficile da gestire per geometrie irregolari. Il metodo diretto trattato al punto 4, permette invece un dimensionamento dell'armatura in modo semplificato per piastre continue su campi rettangolari. Questo capitolo non ha l'ambizione di esaurire un argomento così specifico e già poco trattato nella bibliografia specialistica; vuole quantomeno chiarire le idee per un approccio più consapevole agli obiettivi di questa tesi.

La soluzione del solaio bidimensionale in opera portata al culmine dai grandi ingegneri di tutto il mondo a metà del secolo scorso non ha invece trovato terreno fertile nell'edilizia italiana a causa del costo della mano d'opera in fase di cassetatura e del maggior utilizzo di materiali rispetto a sistemi di latero-cemento. La scomparsa delle strutture piane e curve di calcestruzzo è stata poi seguita dall'analoga scomparsa dei relativi insegnamenti, a livello universitario (tranne poche eccezioni), che hanno causato un vuoto culturale nell'attuale generazione di professionisti, assolutamente disarmati di fronte a contraddittorie e pressanti richieste del mercato, ormai incompatibili con una tradizionale struttura in elementi lineari, siano essi di laterocemento, di prefabbricato o di acciaio (Arketipo n° 28, 2008).

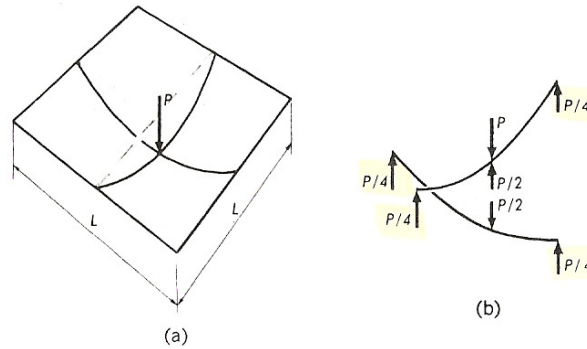
### 3.2 Fondamenti del funzionamento

Gli elementi resistenti unidimensionali possono essere impiegati per coprire una superficie rettangolare, ma tale soluzione risulta generalmente poco pratica ed irrazionale. Per esempio, una serie di travi disposte parallelamente ad uno dei lati del rettangolo può servire a tal fine, ma un carico concentrato viene portato esclusivamente dalla trave sottostante al carico, mentre tutte le altre travi restano non sollecitate (Fig. 1). Queste considerazioni portano a ritenere che sarebbe più logico, dal punto di vista strutturale, avere una “trasmissione dei carichi in due direzioni”. Tale trasmissione si ottiene ricorrendo alle piastre; cioè a *strutture resistenti bidimensionali*, lavoranti in un piano. Per avere un buon funzionamento bidirezionale quando si copre un campo rettangolare il rapporto tra i lati  $a/b$  (dove  $a$  è il lato maggiore), non deve superare 1,5; altrimenti se una direzione è molto più rigida dell’ altra, essa porta la maggior parte del carico e la trasmissione avviene ancora sostanzialmente in una sola direzione.



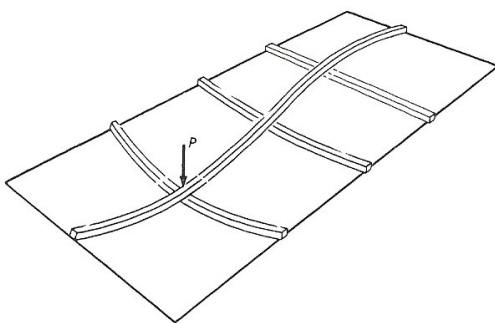
**Figura 1** Impalcato composto da una serie di travi parallele indipendenti (da Salvadori, M. 1964, *Le strutture in architettura*. Etas Kompass, Milano)

Iniziamo considerando due travi identiche semplicemente appoggiate che vengono disposte l’ una sull’ altra in direzioni ortogonali, ed un carico concentrato viene applicato alla loro intersezione, il carico viene trasmesso agli appoggi alle estremità di *entrambe* le travi, ossia *in due direzioni* (Fig. 2). Pertanto, la reazione su ciascun appoggio equivale ad un quarto del carico, e la “trasmissione in due direzioni” riduce il carico agli appoggi a metà del valore che si avrebbe con la trasmissione in un’ unica direzione.

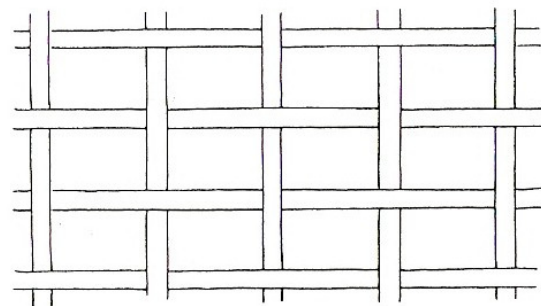


**Figura 2** Trasmissione dei carichi in due direzioni su travi uguali (da Salvadori, M. 1964, *Le strutture in architettura*. Etas Kompass, Milano)

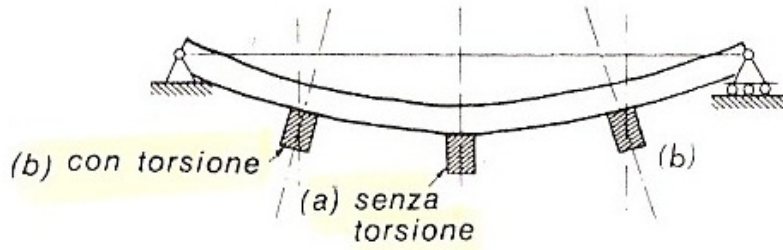
Immaginiamo ora di coprire una superficie rettangolare con una *griglia* di travi disposte ortogonalmente tra loro, se tutte le travi che corrono in una direzione sono sovrapposte a quelle disposte nell' altra direzione, ciascuna delle travi dell' ordine superiore si comporta come una trave continua su appoggi flessibili costituiti dalle travi dell' ordine inferiore. Una migliore collaborazione tra i due ordini di travi si può ottenere "intrecciando" le travi (Fig. 3 e 4). Quando l' intersezione delle due travi non corrisponde alla mezzeria, le sezioni si abbassano e inoltre ruotano. Ciò indica che l' azione torcente è capace di trasmettere una parte del carico, riducendo così gli abbassamenti nella griglia (Fig. 5).



**Figura 3** Sollevamento della trave superiore della griglia (da Salvadori, M. 1964, *Le strutture in architettura*. Etas Kompass, Milano)

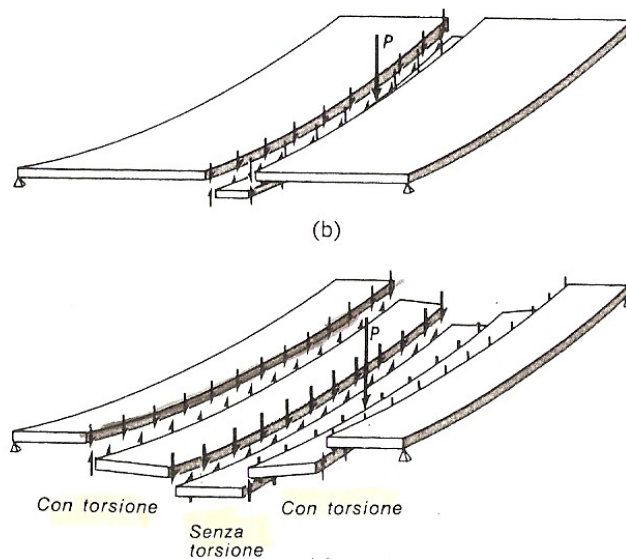


**Figura 4** Griglia intrecciata (da Salvadori, M. 1964, *Le strutture in architettura*. Etas Kompass, Milano)



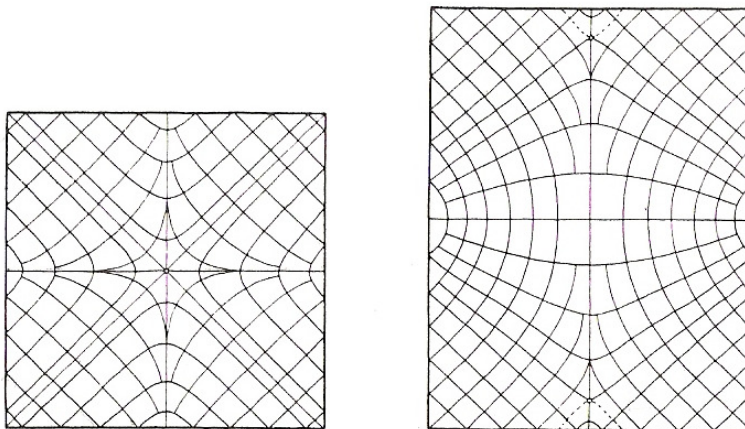
**Figura 5** Comportamento di una griglia con e senza torsione (da Salvadori, M. 1964, *Le strutture in architettura*. Etas Kompass, Milano)

Se si considera ora ogni striscia di piastra come una trave agente in quella direzione; si nota come il comportamento di una piastra è analogo a quello di una griglia di travi saldate con un numero infinito di travi infinitamente vicine tra loro, quindi sotto carico si inflette e si torce in tutti i suoi punti. Le flessioni producono azioni del tipo trave, e cioè tensioni di flessione e taglio, *in due direzioni*; la torsione produce tensioni tangenziali di torsione. Ma le "travi" di una piastra sono tutte solidali tra loro, di modo che la trave caricata trascina verso il basso le due travi parallele adiacenti e trasmette a loro parte del carico (Fig. 6). La differenza fra le azioni di taglio provenienti dalla trave caricata e quelle trasmesse alle travi adiacenti provoca l'azione torcente. L'analisi delle sollecitazioni di flessione in un dato punto indica però che vi sono due direzioni per cui le sollecitazioni stesse sono rispettivamente massime e minime, e per cui i tagli sono zero; si tratta delle due *direzioni principali*.



**Figura 6** Comportamento di una piastra (da Salvadori, M. 1964, *Le strutture in architettura*. Etas Kompass, Milano)

Se indichiamo con delle crocette le *direzioni principali* in diversi punti della piastra, è possibile tracciare le linee delle *tensioni principali o isostatiche*, che rappresentano l'andamento delle tensioni di flessione nella piastra. Poiché lungo le isostatiche non si sviluppano azioni di taglio, la lastra può anche essere considerata come una griglia di travi curve ortogonali tra loro (Fig. 7).



**Figura 7** Isostatiche di piastre semplicemente appoggiate con carico uniformemente ripartito (da Salvadori, M. 1964, *Le strutture in architettura*. Etas Kompass, Milano)

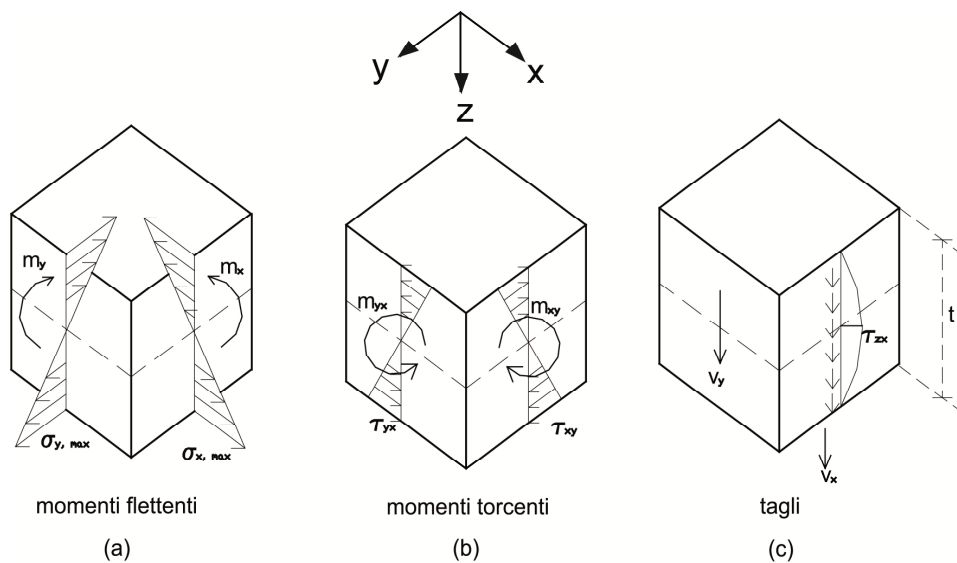
*Le riserva di resistenza delle lastre* - Una delle caratteristiche essenziali delle strutture bidimensionali è la loro ampia riserva di resistenza, che deriva da due ragioni distinte: la redistribuzione delle tensioni e l'azione di membrana. In una lastra, le tensioni più elevate, e cioè le tensioni principali massime, si verificano solo in uno o pochi punti, e la maggior parte degli elementi sono sollecitati al di sotto dei valori ammissibili. All'aumentare del carico, l'elemento più sollecitato redistribuisce le tensioni sulla sua altezza, mentre negli altri elementi le tensioni aumentano elasticamente. Mentre nella trave la redistribuzione delle tensioni può avere luogo in una sola od in poche sezioni prima del cedimento, in una lastra tale redistribuzione può verificarsi su una intera linea di elementi; pertanto, la riserva di resistenza posseduta da una struttura bidimensionale come una lastra è maggiore di quella di una struttura unidimensionale.

### 3.3 Fondamenti del calcolo elastico

Per calcolare delle piastre in cls di piccolo spessore rispetto alle luci coperte; la teoria più comune considera il loro comportamento elastico. Sulla base però di alcune ipotesi:

- spessore  $< 1/5$  della minima luce effettiva
- spostamenti  $< 1/5$  dello spessore
- il materiale è omogeneo ed isotropo, con comportamento elastico lineare
- il regime deformativo prevalente è quello flessionale
- il piano medio non si deforma; subisce solo spostamenti verticali
- La tensione  $\sigma_z$  è trascurabile

Le azioni interne della piastra in un punto sono: due momenti flettenti  $m_x$ ,  $m_y$  ciascuno agente su una faccia dell' elemento di piastra; due momenti torcenti  $m_{xy} = m_{yx}$  agenti sulle facce ortogonali, due forze di taglio  $V_x$  e  $V_y$  in direzione ortogonale al piano della piastra, agenti sulle due facce.



**Figura 8** Azioni interne e tensioni in una piastra (da Gambarova, P. G., Coronelli, D., Bamonte, P. 2007, *Linee guida per la progettazione delle piastre in c.a.* Pàtron Editore, Bologna)

La presenza di queste componenti di sollecitazione è alla base del funzionamento particolarmente efficiente delle piastre, che fanno affidamento su due meccanismi resistenti flessionali in direzione ortogonali fra di loro, e su un meccanismo torsionale. Le distribuzioni degli sforzi sono: *normali* per i momenti flettenti e *tangenziali* per il momento torcente e i tagli.

L'equilibrio della piastra implica l'annullarsi della risultante delle forze verticali agenti su ciascun elementino e dei momenti risultanti rispetto agli assi x e y. Tali condizioni sono riassunte in un'unica *equazione di equilibrio* della piastra, detta *equazione della superficie elastica*:

$$\frac{\partial^4 W}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 W}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 W}{\partial y^4} = \frac{p}{B}$$

Dove:

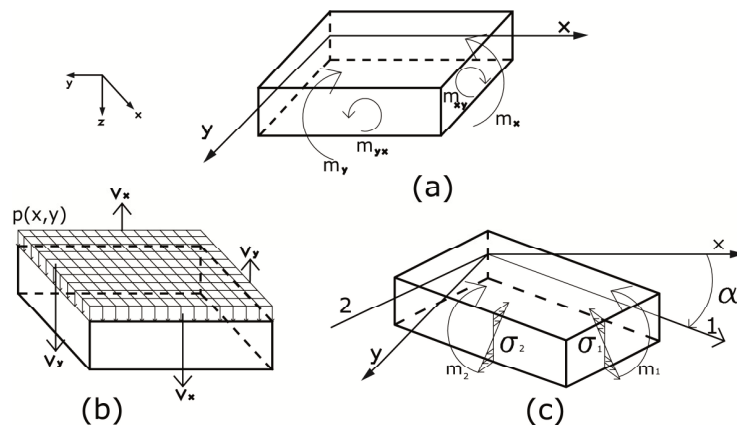
$p = p(x,y)$  è il carico distribuito per unità di superficie che agisce sulla piastra.

La quantità B rappresenta la rigidità flessionale della piastra:

$$B = \frac{Et^3}{12(1 - \nu^2)}$$

Rispetto all'equazione della linea elastica di una trave snella con sezione unitaria, allineata ad esempio con l'asse x, va notata la presenza di tre termini aggiuntivi, di cui due  $(\frac{\partial^4 W}{\partial x^2 \partial y^2}; \frac{\partial^4 W}{\partial y^4})$  rappresentano l'effetto favorevole della flessione trasversale e della torsione, ed il terzo  $(1 - \nu^2)$  contenuto in B l'effetto irrigidente della continuità laterale delle varie strisce parallele in cui si può idealmente ritenere scomposta la piastra. Risolvendo l'equazione della superficie elastica con le dovute condizioni al contorno, si ottiene lo spostamento  $w(x,y)$ ; da questo poi si ricava la distribuzione delle azioni interne. Come negli stati tensionali piani; anche nel piano medio della piastra è possibile definire le direzioni dei momenti principali, in corrispondenza dei quali si annullano i momenti torcenti, e agiscono i massimi e minimi momenti flettenti.





**Figura 9** Equilibrio alla rotazione e alla traslazione di un elemento di piastra (da Gambarova, P. G., Coronelli, D., Bamonte, P. 2007, *Linee guida per la progettazione delle piastre in c.a.* Pàtron Editore, Bologna)

La trascurabilità della tensione  $\sigma_z$  permette di riconoscere che ogni strato della piastra parallelo ai piani  $x$  e  $y$  è uno stato tensionale piano  $(\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy})$ , cui si può associare uno stato tensionale principale  $(\sigma_1, \sigma_2$  con direzione  $\alpha$  rispetto a  $x$  e  $y$ ). Variando le tensioni  $\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy}$  linearmente lungo lo spessore – gli stati tensionale dei vari strati hanno le stesse direzioni principali; si noti inoltre che sui piani principali 1- $z$  e 2- $z$  non agisce alcun momento torcente, e che i momenti  $m_1$  e  $m_2$  sono localmente il massimo positivo e il massimo negativo, se sono di segno opposto, oppure il massimo positivo (negativo) ed il minimo positivo (negativo) se  $m_1$  e  $m_2$  sono dello stesso segno.

Per il calcolo di una piastra sono richieste due condizioni al contorno per ciascun lato, che specifichino quali sono le componenti di spostamento, di rotazione, o di azione interna note in tale posizione.

La soluzione della *equazione della superficie* elastica fornisce: la *deformata* e la *distribuzione delle azioni interne*; in funzione della *geometria*, dei *vincoli* e dei *carichi*. Questo può essere sviluppato con due metodi di soluzione:

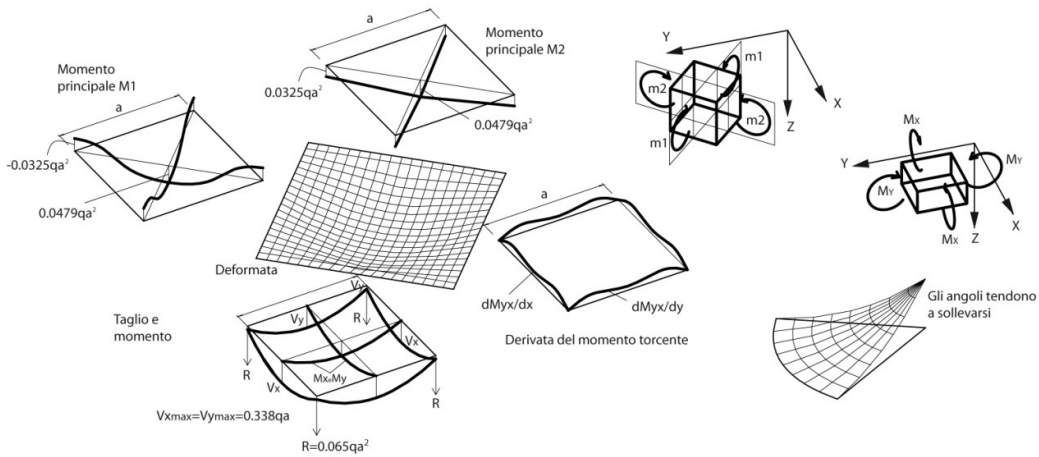
- *soluzione analitica* in forma chiusa, che fornisce l'equazione in ogni punto della piastra, come sviluppo in serie di funzioni;
- *soluzione numerica* a elementi finiti o alle differenze finite, che valuta la soluzione elastica in un numero discreto di punti

### 3.3.1 Soluzione analitica

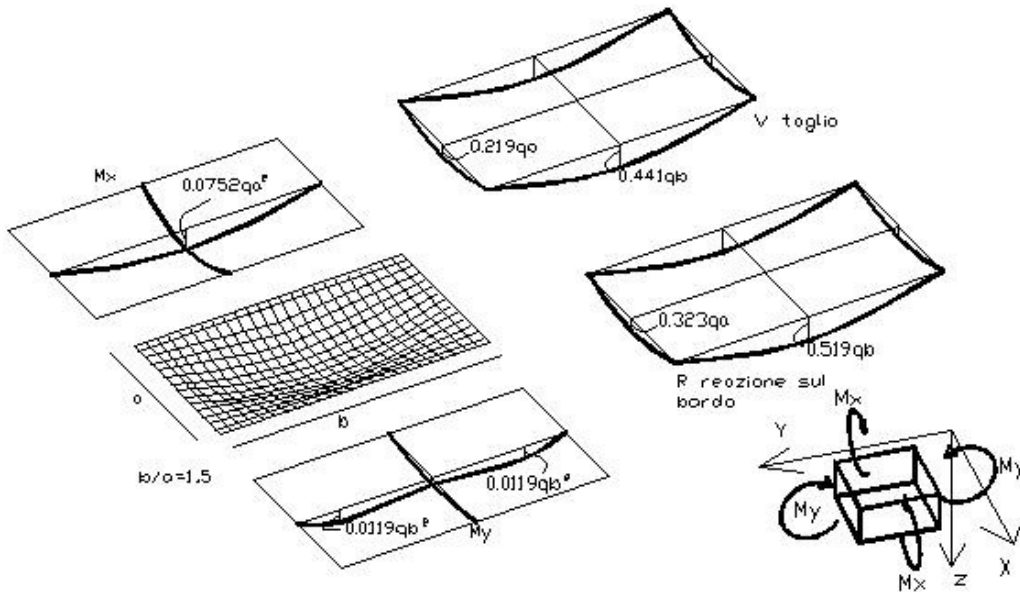
La soluzione in forma chiusa della superficie della linea elastica è risolvibile solo nei casi più semplici di geometria e di vincolo: come per esempio piastra quadrata o rettangolare; in semplice appoggio, incastrata o su appoggi puntiformi. Si ricava per via analitica la funzione che fornisce lo *spostamento verticale* del piano medio della piastra, una volta derivata si ricavano le espressioni dei *momenti* e dei *tagli*. Segue la soluzione di alcuni casi significativi della risposta delle piastre.

#### *Piastra quadrata e rettangolare in semplice appoggio sui lati*

Essendo in semplice appoggio sono vincolati gli spostamenti verticali in ogni punto dei lati, mentre le rotazioni sono libere. Nel caso della piastra quadrata, il momento flettente  $m_x = m_y$  nel baricentro è circa 3.5 volte minore del momento che si avrebbe in una trave dello stesso spessore ed appoggiata agli estremi. In corrispondenza degli angoli, la presenza di forte momento torcente fa deviare di  $45^\circ$  le direzioni principali della flessione rispetto alle direzioni x e y dei lati, essi agiscono lungo i piani diagonali e sono di segno diverso. I momenti torcenti contribuiscono anche ad aumentare l'azione tagliante lungo i lati; e negli angoli della piastra danno origine a quattro forze concentrate R equiverse con il carico distribuito, la loro intensità è pari al doppio del momento torcente per unità di lunghezza agente in quel punto. Le reazioni concentrate agli appoggi R assumono per la piastra quadrata ciascuna valore compreso tra  $1/11$  e  $1/13 pa^2$ .



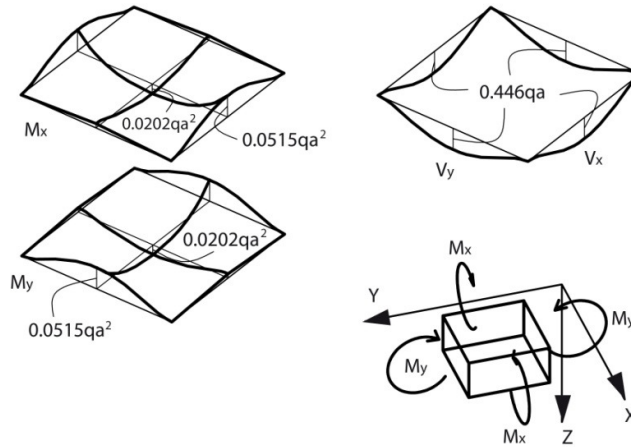
**Figura 10** Momenti flettenti in una piastra quadrata con appoggi continui sui lati (da Gambarova, P. G., Coronelli, D., Bamonte, P. 2007, *Linee guida per la progettazione delle piastre in c.a.* Pàtron Editore, Bologna)



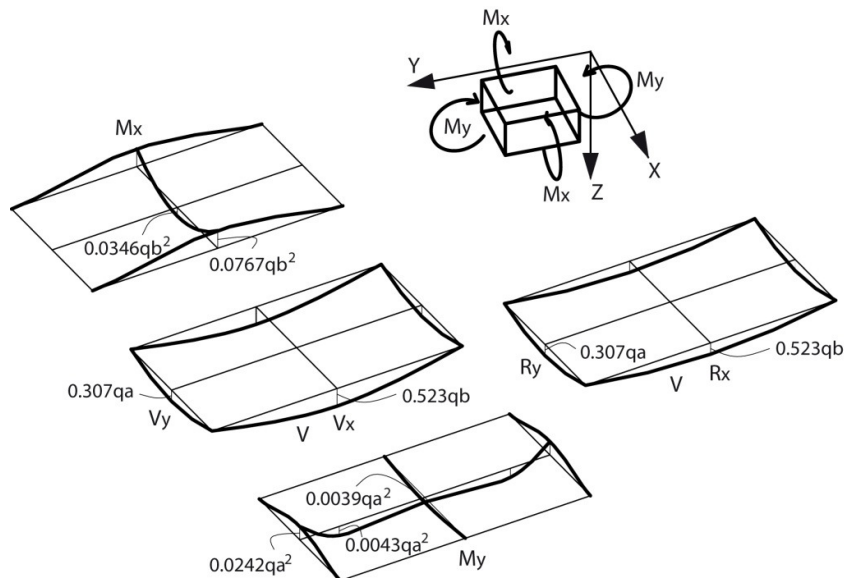
**Figura 11** Piastra rettangolare appoggiata su 4 lati (da Gambarova, P. G., Coronelli, D., Bamonte, P. 2007, *Linee guida per la progettazione delle piastre in c.a.* Pàtron Editore, Bologna)

### Piastra quadrata e rettangolare con i lati incastrati

Il caso di incastro sui lati è di particolare interesse in quanto rappresentano con buona approssimazione la continuità tra piastra e piastra nel caso di piastra continua su più campi.



**Figura 12** Azioni interne e deformata per la piastra quadrata incastrata su 4 lati (da Gambarova, P. G., Coronelli, D., Bamonte, P. 2007, *Linee guida per la progettazione delle piastre in c.a.* Pàtron Editore, Bologna)

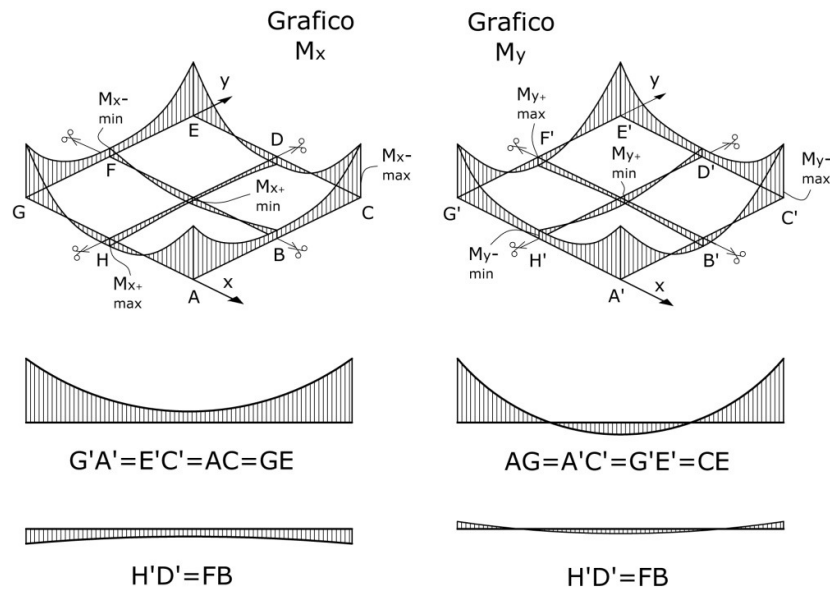


**Figura 13** Azioni interne e deformata per la piastra rettangolare con 4 lati incastrati (rapporto tra i lati  $b/a = 1.5$ ). (Da Gambarova, P. G., Coronelli, D., Bamonte, P. 2007, *Linee guida per la progettazione delle piastre in c.a.* Pàtron Editore, Bologna)

## Piastra su pilastri

L'aspetto principale del funzionamento delle piastre su pilastri è la concentrazione di sollecitazioni che si verifica in corrispondenza degli appoggi. Come per esempio i picchi di momento flettente negativo nel caso di più campi continui oppure le elevate sollecitazioni di taglio che possono portare alla rottura per punzonamento della piastra. Ovviamente i risultati dipendono dalla dimensione della sezione dei pilastri di appoggio in rapporto alla luce della piastra, e dalla forma della sezione.

I momenti flettenti presentano dei picchi in corrispondenza dei pilastri e una riduzione notevole nella zona immediatamente adiacente. Si osserva inoltre che i momenti flettenti di maggiore intensità si trovano nella porzione di piastra appartenente ad una striscia laterale che congiunge idealmente le due colonne opposte; mentre la striscia centrale presenta momenti flettenti di minore intensità. Bisogna sottolineare che non è possibile operare eccessive redistribuzioni del momento dalle sezioni di appoggio a quelle in campata, per evitare problemi di punzonamento della piastra.

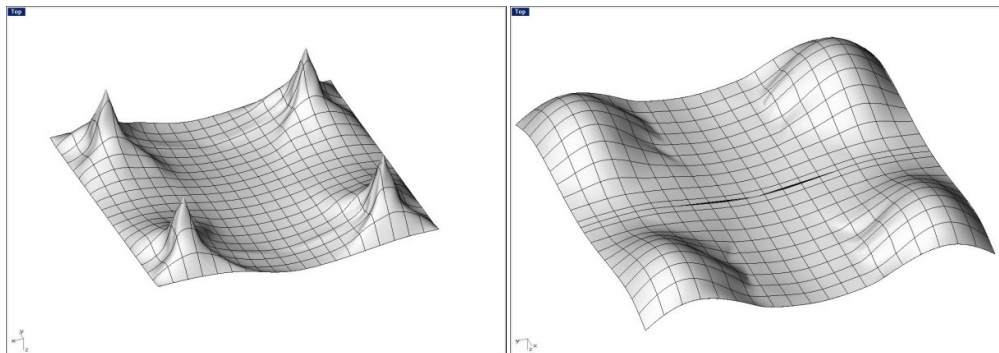


**Figura 14** Momenti flettenti in un campo continuo di piastra su colonne (da Gambarova, P. G., Coronelli, D., Bamonte, P. 2007, *Linee guida per la progettazione delle piastre in c.a.* Pàtron Editore, Bologna)

### 3.3.2 Soluzione numerica

La soluzione numerica si basa sulla modellazione ad elementi finiti con codici di calcolo; i più diffusi programmi in commercio includono librerie di elementi per il calcolo delle piastre. Questi permettono di realizzare sia geometrie prestabilite che geometrie particolari; più la mesh sarà fitta e maggiormente saranno dettagliati i risultati. L'analisi fornisce infatti gli spostamenti in tutti i nodi e le distribuzioni delle sollecitazioni (momenti flettenti, torcenti e taglio) in ogni nodo della suddivisione. Questa soluzione si rivela molto vantaggiosa nei casi di geometria o vincoli complessi e irregolari, ad esempio con la presenza di grandi fori oppure di carichi concentrati di notevole entità. Se si considera anche la fessurazione del calcestruzzo e lo snervamento dell'acciaio con questo metodo è possibile valutare gli spostamenti in modo più accurato rispetto alla soluzione puramente elastica.

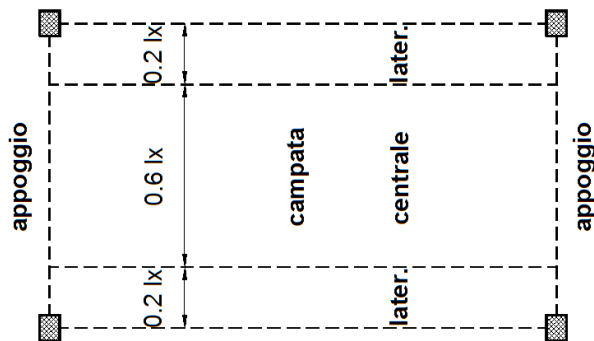
Un aspetto centrale della modellazione riguarda la zona di collegamento con i pilastri; è infatti necessario innanzitutto infittire adeguatamente la mesh in queste zone. E' possibile considerare gli appoggi puntiformi, oppure modellare l'ampiezza della superficie di contatto. Nel primo caso si ottiene un andamento dei momenti flettenti con dei picchi di sollecitazione molto accentuati, mentre nel secondo caso si ottengono degli andamenti più smussati con picchi meno elevati, con conseguente aumento dei momenti in campata (fig....). Quest'ultimo andamento è ovviamente più realistico, data la effettiva geometria del problema. Qualora si usi il modello di appoggio puntiforme, occorre valutare i momenti al filo del pilastro, per evitare di prendere in considerazione valori non realistici e troppo elevati delle sollecitazioni.



**Figura 15** Modellazione della zona di appoggio nelle piastre su colonne: diagramma del momento flettente  $M_x$ , appoggio puntiforme (sinistra) e appoggio di dimensioni pari alla sezione del pilastro (destra) . (Da Gambarova, P. G., Coronelli, D., Bamonte, P. 2007, *Linee guida per la progettazione delle piastre in c.a.* Pàtron Editore, Bologna)

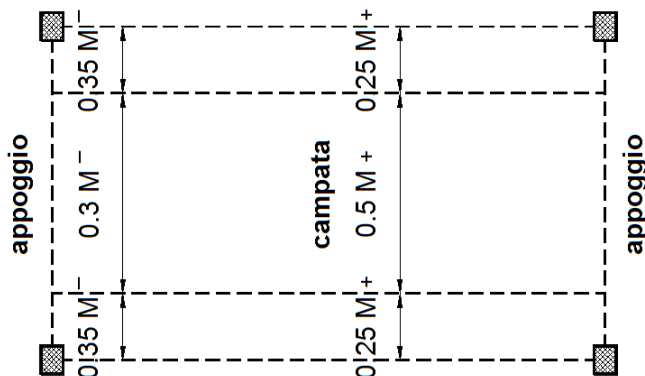
### 3.4 Metodo diretto - Piastra su pilastri

Si tratta di un procedimento di calcolo semplificato che permette il dimensionamento delle armature suddividendo il momento totale in un momento positivo in campata (35%) e uno negativo sulla sezione dell' appoggio (65%). Ne nasce un procedimento di progetto che suddivide la piastra in due tipi di strisce, una laterale e una centrale. La larghezza di queste strisce può essere presa pari a metà del campo di piastra oppure dare una larghezza maggiore alla striscia centrale (ad esempio il 60% della larghezza totale, Fig. 16).



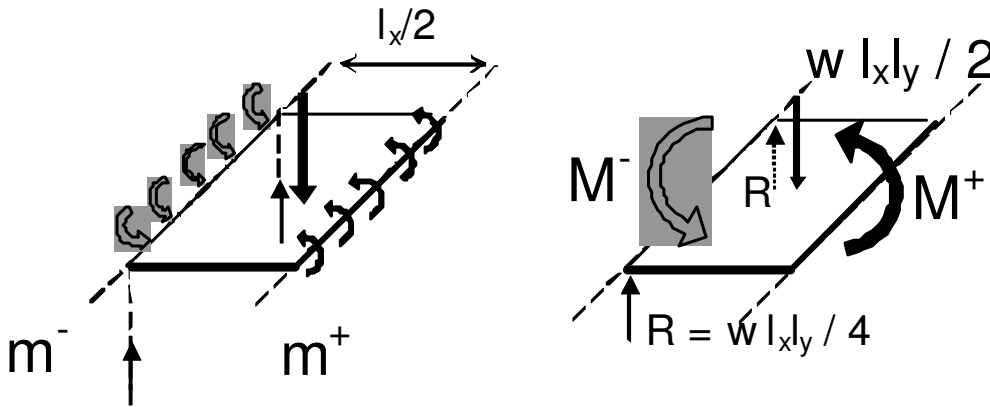
**Figura 16** Larghezza delle strisce (da Gambarova, P. G., Coronelli, D., Bamonte, P. 2007, *Linee guida per la progettazione delle piastre in c.a.* Pàtron Editore, Bologna)

Le percentuali del momento totale che vanno affidate a ciascuna striscia, vengono decise con riferimento alla soluzione elastica: è possibile affidare il 70% del momento negativo alla striscia laterale in corrispondenza alle colonne, e il 30% alla striscia centrale; per quanto riguarda invece i momenti positivi in campata, vanno affidati al 50% alle strisce laterali e 50% a quelle centrali (Fig. 17).



**Figura 17** Momenti flettenti di competenza di ciascuna striscia (da Gambarova, P. G., Coronelli, D.,

La suddivisione del momento totale in un momento positivo e uno negativo nasce dal fatto che per ovvi motivi di equilibrio la loro somma lungo le sezioni in corrispondenza ai pilastri e in campata deve essere pari al momento totale dovuto al carico,  $w l_y l_x^2 / 8$  (Fig. 18).



**Figura 18** Equilibrio di un campo di piastra su colonne, momenti flettenti in direzione x (da Gambarova, P. G., Coronelli, D., Bamonte, P. 2007, *Linee guida per la progettazione delle piastre in c.a.* Pàtron Editore, Bologna)

E' possibile considerare un valore della luce ridotto di metà della dimensione del pilastro a ciascuna estremità in modo da tenere in conto della dimensione della sezione dei pilastri, rispetto al caso di un appoggio puntiforme.

La porzione del momento flettente che viene affidata a ciascuna striscia, nella direzione sugli appoggi o in campata, rappresenta l' integrale dei momenti flettenti per unità di lunghezza lungo quel tratto. Le armature pertanto vengono dimensionate per ciascuna striscia, valutando un momento di progetto medio per unità di lunghezza, e quindi il diametro e passo dei ferri necessari. Queste ripartizioni del momento totale interno fra integrale dei momenti negativi e positivi, e fra le strisce centrale e laterale, come già detto, fanno riferimento alla soluzione elastica delle sollecitazioni nella piastra su colonne. E' conveniente procedere senza operare redistribuzioni dei momenti tra i valori sugli appoggi e quelli in campata, per avere un buon comportamento della struttura in esercizio, con fessurazione e frecce limitate. Un ulteriore motivo che induce a evitare redistribuzioni è il pericolo di punzonamento delle piastre in corrispondenza all' appoggio sui pilastri, che può essere favorito dalla fessurazione dovuta alla flessione e dallo snervamento delle armature in tali zone (Gambarova et al., 2007).



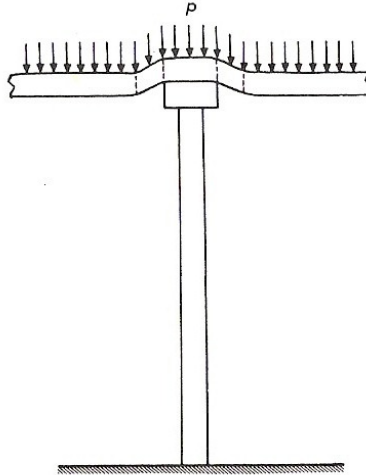
### 3.5 Vantaggi e svantaggi nella progettazione

La scelta del sistema strutturale a piastra in c.a. anche in fase di progettazione presenta dei vantaggi e degli svantaggi; si nota che i vantaggi riguardano maggiormente la progettazione della geometria (il sistema è versatile ad assumere forme irregolari e appoggi differenti) e gli svantaggi quella del calcolo strutturale (Tabella 1).

VANTAGGI	SVANTAGGI
Maggiore facilità nella progettazione di un perimetro irregolare	<i>Progettazione strutturale più delicata riguardo a: carichi in fondazione e punzonamento</i>
<i>Maggiore facilità nella progettazione di bucatore passanti nella soletta</i>	<i>Progettazione strutturale più delicata riguardo alla risposta sismica</i>
<i>Versatile ai diversi tipi di appoggio</i>	

**Tabella 1** Vantaggi e svantaggi in fase di progettazione della piastra in cemento armato

**Il punzonamento** è uno dei veri dettagli decisivi per la sicurezza strutturale delle piastre appoggiate su colonne, o su altri tipi di appoggi puntiformi. Nei pressi di tali punti, a causa degli elevati sforzi di taglio all'interno della struttura si può verificare un tipo di rottura per punzonamento. L'intera reazione vincolare fornita da una colonna per esempio, deve essere distribuita secondo un meccanismo di resistenza a taglio nella zona di interfaccia tra piastra e colonna (Fig. 19). L'area della piastra che fornisce resistenza alla rottura per punzonamento può essere trovata considerando le potenziali linee di rottura, è la stessa della superficie della fessura. Ovviamente l'estensione delle fessure dipende in modo critico dallo spessore della piastra e dal perimetro della colonna. Le soluzioni al punzonamento possono essere: una disposizione specifica dell'armatura, la realizzazione di un capitello (solitamente rastremato perché il materiale al di sotto della linea dei 45° non è attivo) o l'ispessimento della piastra (su tutta la superficie oppure localmente). In alcuni casi particolari in cui i carichi sono particolarmente elevati, gli spessori di appoggio e i capitelli delle colonne possono essere utilizzati insieme. Anche nelle piastre nervate il taglio può essere un problema; in tal caso è sufficiente non svuotare l'area adiacente all'estremità di una colonna. Nella piastra su travi invece il taglio non presenta un grande problema; essendo le loro aree piuttosto grandi ed essendo facile posizionare l'armatura.



**Figura 19** Taglio per punzonamento in una piastra poggiate su un pilastro (da Salvadori, M. 1964, *Le strutture in architettura*. Etas Kompass, Milano)

**La risposta sismica** di una struttura a piastra dipende molto dal fatto che la soletta sia gettata in modo monolitico con le colonne; in modo da formare delle strutture a telaio capaci di portare dei carichi laterali. Come per il punzonamento anche la capacità di portare dei carichi laterali è funzione dello spessore della struttura orizzontale all' interfaccia con le colonne. Infatti l' utilizzo di capitelli per colonne, o di spessori, aumenta la capacità del sistema. Per quanto riguarda invece le piastre nervate e quelle su travi; esse rispondono bene a carichi laterali di notevole entità, perché formano dei sistemi a telaio.

### 3.6 Conclusioni

Da questo capitolo emerge la complessità della progettazione di piastre piane, soprattutto per casi irregolari; si rivelano molto utili i programmi di calcolo e il metodo diretto per le piastre su pilastri a maglia regolare. Nella loro progettazione emerge come siano due i punti fondamentali da tenere sotto controllo, ossia gli spostamenti (nel caso specifico le frecce) e il punzonamento. Forse è stata proprio la loro complessità nel funzionamento (maggiore di una struttura di elementi monodirezionali) che ha permesso di raggiungere traguardi come quelli dell' Ing. Pier Luigi Nervi.

## CAPITOLO 4 LA REALIZZAZIONE

### 4.1 Introduzione

Il seguente capitolo affronterà i metodi costruttivi di questo sistema strutturale - analizzando i più attuali e moderni metodi di realizzazione. Il suo crescente utilizzo negli ultimi decenni (divenuto forte concorrente dei solai in laterocemento) è dovuto anche all' economicità e alla velocità realizzativa, oltre che alle sue caratteristiche strutturali e tipologiche.

Un'opera in cemento armato, implica la costruzione di una cassetta di sostegno; questa è un'operazione molto importante che richiede tempo; precisione e molta attenzione per l'incolumità di chi opera. Il sistema della piastra in c.a. e la sperimentazione tecnologica hanno portato a innovative metodologie di cassetta, disarmo, posizionamento dei ferri e degli alleggerimenti.

### 4.2 La cassetta e il disarmo

La moderna cassetta di una piastra in c.a. - rispetto al passato - presenta un numero minore di componenti, più leggeri e facili da assemblare. Esistono progetti e brevetti di diversi sistemi di cassaforma; in funzione della destinazione funzionale e delle dimensioni totali dell'impalcato. Le principali tipologie di cassaforma possono essere:

- *a telaio* (adatta per i solai del residenziale); è composta da puntelli, pannelli e piccole travi. Nella sua configurazione standard, i puntelli coprono l'area con una maglia poco fitta, che fa risparmiare tempo per la movimentazione e facilita l'agibilità della zona. Travi e pannelli a telaio sono dotati di sgocciolatoio. I bordi dei telai sono smussati, il che riduce i tempi di pulizia (Fig. 1).
- *a graticcio* (adatta per i solai del residenziale); è composta da puntelli, pannelli e graticci di travi. Si tratta di un impalcato a graticcio adattabile telesopicamente alla geometria da cassetta, messo in opera dal piano inferiore. I graticci sono appesi dal basso, sollevati con un'asta e successivamente sostenuti dai puntelli (Fig. 2).

- *a trave* (adatta per grandi luci); è composta da puntelli, pannelli e travi regolabili telescopicamente per adattarsi alla geometria della pianta da armare. Si minimizza in questo modo la superficie residua (Fig. 3).
- *a tavoli* (adatta per grandi superfici); è concepita come un elemento unico preassemblato in diverse dimensioni. Uno dei punti critici dell'impiego è il costo del trasporto, generalmente elevato a causa dell'ingombro dell'attrezzatura, nonostante i puntelli sono ripiegabili (Fig. 4).

In quanto il sistema è modulare; può avanzare alla casseratura una porzione di solaio di dimensioni minori del modulo, detta *zona di compensazione*. Si procede in tal caso con il montaggio di un accessorio del sistema oppure realizzando in opera un cassero su misura.



**Figura 1** Casseratura a telaio  
(www.peri.it)



**Figura 2** Casseratura a graticcio  
(www.peri.it)



**Figura 3** Casseratura a trave  
(www.peri.it)



**Figura 4** Casseratura a tavoli  
(www.peri.it)

Tra i *puntelli* più innovativi esistono quelli con il dispositivo meccanico *testa a caduta*, applicato alla loro sommità. Questo dispositivo permette di abbreviare i tempi di disarmo; dopo un solo giorno è possibile togliere i *pannelli* e riutilizzarli per la fase successiva – si riduce così l'attrezzatura e si realizza un *ciclo continuo di produzione*.

La soluzione di impalcato a piastra in c.a. può anche essere lasciato a vista (Fig. 5); questo permette di evidenziare le forme e le caratteristiche strutturali della costruzione ma influisce molto nella fase realizzativa. Infatti per ogni specifica piastra, progettata con una determinata finitura superficiale del calcestruzzo a vista, esiste una soluzione di cassaforma ottimale, che può spaziare dall'impiego di casseforme di serie a quello di casseforme progettate "ad hoc".

Particolare attenzione deve essere posta nel disarmo delle casseforme, che potrebbe causare screpolature sulla superficie a vista della struttura: esistono per tali ragioni dei prodotti chimici disincrostanti, che agevolano lo smontaggio. E' importante, comunque, un lavoro coordinato tra i diversi addetti ai lavori, committenti, progettisti, mano d'opera specializzata e produttori del cemento.



**Figura 5** Parcheggio interrato – Fulda, Germania – 2005 (www.peri.it)

### 4.3 L' armatura

La posa dei ferri di armatura in un solaio è un'operazione delicata, la sua razionalizzazione (possibile nella progettazione di una piastra) assume un'importanza fondamentale, soprattutto per conseguire elevate velocità di posa. Di regola, le barre vengono disposte sempre secondo due direzioni tra di loro ortogonali. Si hanno pertanto due strati inferiori e due strati superiori di barre diritte. I due strati di armatura inferiori sono distanziati dal cassero con vari dispositivi, tra i quali particolarmente efficienti si dimostrano quelli a sviluppo lineare, in plastica o in fibrocemento (Fig. 6). I due strati d'armatura superiori devono essere distanziati da quelli inferiori con dispositivi che devono facilitare la posa. I sistemi maggiormente utilizzati prevedono l'utilizzo di tralicci; ferri sagomati ad omega; assemblaggi di staffe; reti elettrosaldate piegate in verticale.

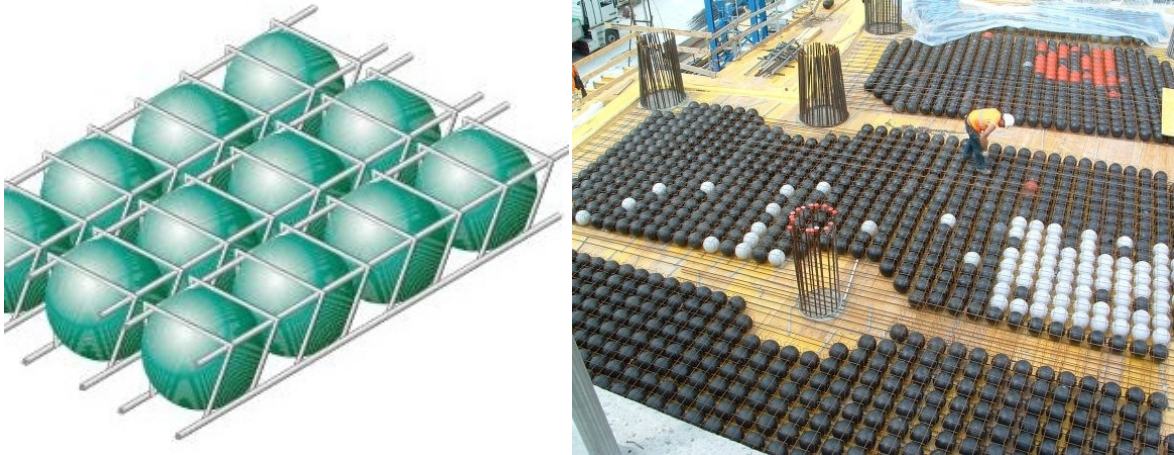


**Figura 6** Dispositivi in fibrocemento addetti a distanziare le armature inferiori del solaio dal cassero (www.peri.it)

Per ottenere una piastra alleggerita basterà posizionare nel getto degli elementi di alleggerimento a perdere; ne esistono di varia forma, tecnologia e materiale (principalmente polistirolo e plastica riciclata). I vantaggi sono legati al principio fondamentale della riduzione del materiale (il peso del solaio si riduce fino al 35%) senza alcuna influenza sulla portata; infatti con l' utilizzo di sfere cave si ha una riduzione del peso di circa 2 kN/m<sup>2</sup> fino a circa 5 kN/m<sup>2</sup>. Il calcestruzzo può anche essere gettato in due fasi, con la possibilità di fissare al cassero le singole gabbie di alleggerimento o moduli base armatura preassemblati. In questo modo si evita il galleggiamento degli elementi di alleggerimento (Fig. 7).



In ambedue i casi la gabbia di alleggerimento viene posata sull'armatura inferiore già posizionata. Successivamente viene legata l'armatura superiore alle gabbie di alleggerimento e quindi eseguito il getto di calcestruzzo. Altri sistemi prevedono invece il getto al termine della posa di tutta l'armatura, disaccoppiando totalmente le fasi di messa in opera e di esecuzione dei getti (Fig. 8).



**Figura 7** Gabbia di armatura contenente i corpi di alleggerimento (a sinistra). Moduli di impalcato posizionati prima del getto (a destra)



**Figura 8** Particolare degli alleggerimenti poco prima dell'esecuzione del getto

Gli elementi utilizzati per le piastre a cassettoni, a differenza di quelli per le piastre alleggerite non sono a perdere; si tratta di iglù in plastica che vengono staccati dall'intradosso dell'impalcato durante il disarmo. Anche per questi elementi ci sono diverse tecnologie; essi poggiano solitamente su una struttura di sostegno piana; oppure su una struttura provvisoria di travetti (Fig. 9). Dopo il loro posizionamento si può procedere ad armare l'impalcato.



Figura 9 Posizionamento degli iglù (a sinistra). Armatura dell' impalcato (a destra)

#### 4.4 Conclusioni

Bisogna sottolineare che rispetto ad un più classico solaio in laterocemento; la soletta piena in modo particolare, presenta sicuramente due importanti vantaggi in fase realizzativa: una maggiore rapidità costruttiva e una maggiore sicurezza per i lavoratori.

Negli ultimi decenni il sistema strutturale in questione è stato perfezionato anche da questo punto di vista; ottenendo ottimi risultati:

- Gli elementi di cassetta sono meno numerosi, più leggeri, maneggevoli e facili da pulire
- Esiste il disarmo parziale
- E' sempre maggiore la rapidità e la sicurezza costruttiva
- E' maggiore la facilità nella preparazione di una foratura
- Si ha la quasi indipendenza da forniture esterne e con il minimo "magazzino" possibile all' interno dell' area di cantiere



## CAPITOLO 5 APPLICAZIONI

### 5.1 Introduzione

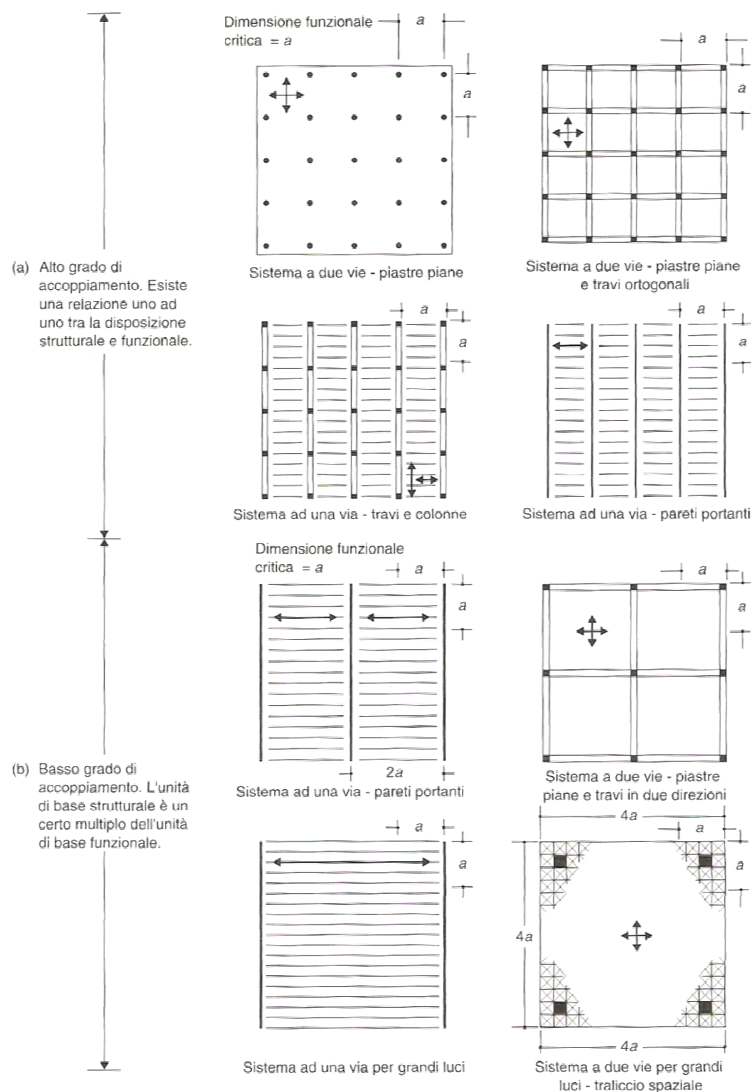
Questo capitolo principalmente tratta una rassegna di edifici che hanno uno schema strutturale a piastra; scelti per diversa destinazione funzionale. I progetti sono stati studiati e classificati con delle schede, messe poi a confronto; il fine è quello di verificare quanto detto teoricamente all' interno di questa tesi, individuando come il sistema della piastra risponde e si adatta ad ogni singola destinazione funzionale e da cosa sia stata dettata la scelta di adottarlo.

Infatti come abbiamo visto, alla soluzione in opera a piastra viene riconosciuta una ricca varietà di vantaggi, dalla possibilità di ottenere i minimi spessori di solaio alla risoluzione di problematiche legate a irregolarità distributive, dalla qualità della finitura superficiale del calcestruzzo alla ricerca di una perfetta planarità dell'intradosso con assenza di travi ribassate, dalla possibilità di ottenere produzioni estremamente elevate al superamento di problematiche organizzative e logistiche del cantiere.

## 5.2 Fondamenti del rapporto tra la Struttura e la Funzione

L'adozione di una particolare configurazione funzionale per un edificio spesso determina in larga misura la struttura utilizzata. Per questa ragione il processo di progettazione di una struttura è implicitamente collegato al progetto dell'intero edificio; l'uno non può realmente esistere senza l'altro (Schodek, 2004).

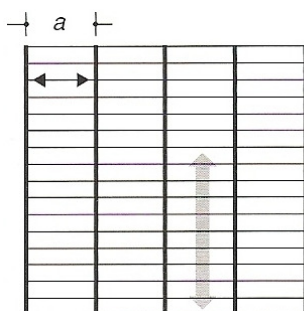
Ogni edificio presenta delle dimensioni critiche che definiscono una distanza minima tra i punti di appoggio; esse derivano da necessità funzionali oppure da semplici intenti progettuali più soggettivi.



**Figura 1** Grado di accoppiamento tra distribuzione funzionale e strutturale (da Schodek, D. L. 2004, *Strutture*. Pàtron Editore, Bologna)

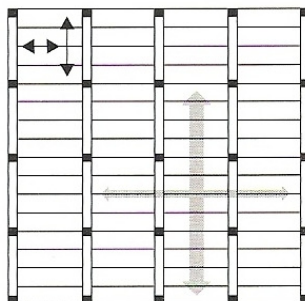
In fase progettuale nasce un rapporto tra la disposizione dei supporti verticali e le dimensioni critiche, la sua scelta determina la dimensione delle luci orizzontali. Nel caso più restrittivo, la dimensione del modulo strutturale corrisponde direttamente allo spazio delle dimensioni critiche ( $a_1$  e  $a_2$ ); in alternativa, la struttura selezionata deve poter superare luci multiple di  $a_1$  e  $a_2$ . Esempi di relazioni molto strette oppure blande tra il sistema dei supporti verticali, il sistema degli elementi orizzontali e le dimensioni funzionali critiche, vengono mostrati nella Figura 1.

Gli spazi delimitati dal sistema a pareti portanti unidirezionali hanno una forte connotazione di planarità (Fig. 2).



**Figura 2** Spazio a sviluppo lineare (da Schodek, D. L. 2004, *Strutture*. Pàtron Editore, Bologna)

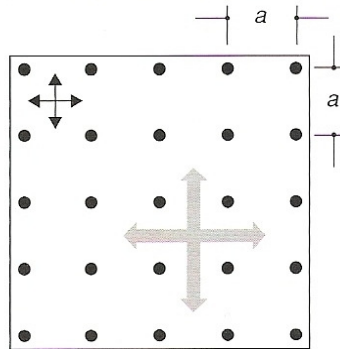
Gli spazi formati dal sistema a travi e colonne risultano anch'essi fondamentalmente unidirezionali, possiedono però un asse secondario aggiuntivo nella direzione trasversale (Fig. 3).



**Figura 3** Spazio a sviluppo lineare con asse secondario (da Schodek, D. L. 2004, *Strutture*. Pàtron Editore, Bologna)

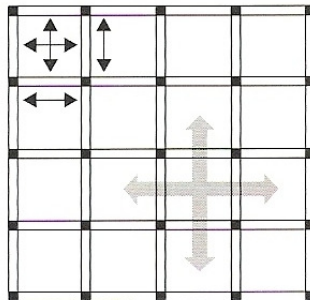
Lo spazio formato dal sistema di piastre piane su pilastri è bidirezionale, dato che nessuno degli assi è predominante. Gli spazi così formati sono relativamente neutri.

Colonne rotonde, o quadrate, non alterano questa bidirezionalità. Le colonne rettangolari, invece, fanno divenire dominate uno oppure l'altro degli assi (Fig. 4).



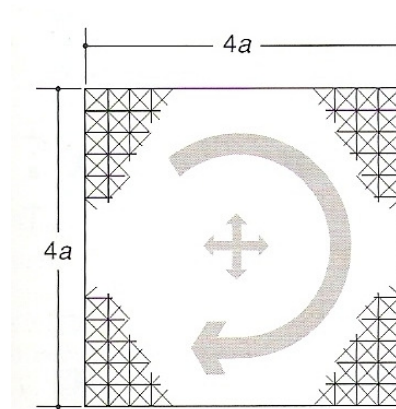
**Figura 4** Spazio a sviluppo bidirezionale (da Schodek, D. L. 2004, *Strutture*. Pàtron Editore, Bologna)

Gli spazi formati da un sistema bidirezionale di pilastri e travi risultano meno neutri, con le travi che enfatizzano ancora di più la direzionalità degli spazi (Fig. 5).



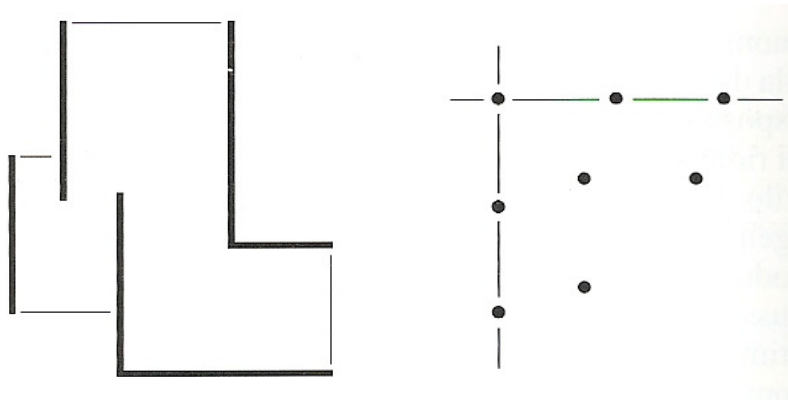
**Figura 5** Spazio a sviluppo bidirezionale (da Schodek, D. L. 2004, *Strutture*. Pàtron Editore, Bologna)

Gli spazi formati al di sotto di una superficie molto grande, completamente neutra (quale può essere un piano), sono non direzionali. Questo si basa sull'ipotesi che la direzionalità impartita dal sistema dei supporti non influenzi l'osservatore (Fig. 6).



**Figura 6** Spazio neutro (da Schodek, D. L. 2004, *Strutture*. Pàtron Editore, Bologna)

Nelle situazioni in cui la distribuzione dei supporti verticali è irregolare, alcuni sistemi strutturali si dimostrano più interessanti di altri. Griglie completamente irregolari rendono difficile l' utilizzo efficace o economico dei sistemi che coinvolgono un elevato numero di elementi ripetitivi prodotti in serie, o unità modulari (Fig. 7). Nei casi caratterizzati dalla irregolarità della distribuzione sono generalmente preferibili i sistemi realizzati con calcestruzzo gettato in opera, dato che le anomalie possono essere trattate più semplicemente, e un sistema di semplici piastre in calcestruzzo armato, può essere in grado di accomodare molte delle irregolarità nel posizionamento dei supporti.



**Figura 7** Griglie irregolari (da Schodek, D. L. 2004, *Strutture*. Pàtron Editore, Bologna)

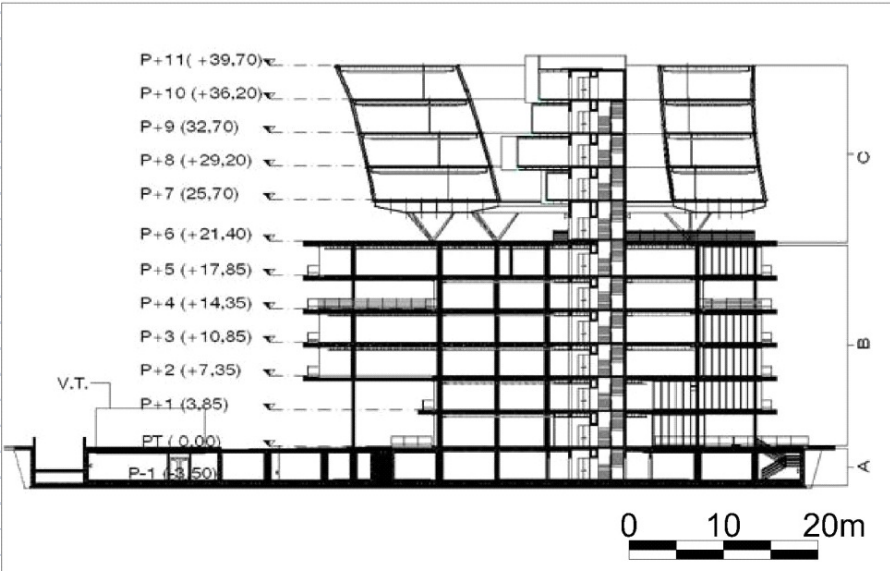
### 5.3 Esempi progettuali

I progetti analizzati sono:

- *Polo Direzionale "De Cecco" - Nuova sede FATER spa - Pescara*
- *Uffici e stabilimento per Armitalia - Cinisello Balsamo (MI)*
- *Edificio per uffici e abitazioni – Ginevra (CH)*
- *Palestra Polivalente - Losone (CH)*
- *Centro Commerciale Auchan di Cinisello Balsamo (MI)*
- *Istituto di Design Zollverein - Essen (DE)*
- *Ospedale Sant'Anna – Como*

Seguono le schede di ogni singolo progetto

# Polo Direzionale "De Cecco" - Nuova sede FATER spa – Pescara

Scheda													
1	Polo Direzionale "De Cecco" - Nuova sede FATER spa - Pescara (IT)												
A	INFORMAZIONI GENERALI												
	<table border="1"> <tr> <td style="text-align: right;"><i>Progettista</i></td> <td>Arch. Massimiliano Fuksas</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;"><i>Città</i></td> <td>Pescara</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;"><i>Anno di progettazione</i></td> <td>2005</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;"><i>Fine lavori</i></td> <td>2007</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;"><i>Destinazione Funzionale</i></td> <td>Edificio polifunzionale</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;"><i>Committente</i></td> <td>De Cecco spa</td> </tr> </table>	<i>Progettista</i>	Arch. Massimiliano Fuksas	<i>Città</i>	Pescara	<i>Anno di progettazione</i>	2005	<i>Fine lavori</i>	2007	<i>Destinazione Funzionale</i>	Edificio polifunzionale	<i>Committente</i>	De Cecco spa
<i>Progettista</i>	Arch. Massimiliano Fuksas												
<i>Città</i>	Pescara												
<i>Anno di progettazione</i>	2005												
<i>Fine lavori</i>	2007												
<i>Destinazione Funzionale</i>	Edificio polifunzionale												
<i>Committente</i>	De Cecco spa												
B	PROGETTO												
	<p><b>Il progetto architettonico</b></p> <p>Il Polo Direzionale De Cecco è il risultato dell'unione di due elementi semplici la cui relazione spaziale reciproca costituisce l'organismo generale: l'edificio basso con i "piani bucati" e "l'edificio anulare" sovrastante. Il primo costituisce l'appoggio per l'elemento emergente protagonista dell'edificio anulare; così come si ricerca una semplicità strutturale nei "piani bucati" tanto più la struttura superiore avrà una complessità tridimensionale. La dualità compositiva si riflette anche nelle differenze tecnologiche, impiantistiche e strutturali del sistema generale. L'edificio anulare è l'organismo centrale che caratterizza il progetto, la sua mesh strutturale caleidoscopica contrasta marcatamente con l'orizzontalità dell'edificio basso; il vuoto del sesto piano, accentua la differenza volumetrica tra i due corpi. I "piani bucati" consentono di dare all'edificio un'illuminazione anche nei punti più interni, si crea in questo modo un sistema verticale e diagonale di spazi su diverse altezze che garantiscono una serie infinita di scorci interni; la ricerca di spazi di lavoro mai banali e sempre 'sorprendenti' costituisce la prerogativa del progetto - questo permette di migliorare altamente le condizioni di vivibilità e produttività.</p> <p>Indichiamo con la lettera "A" la parte di edificio interrata (adibita a parcheggio), con la lettera "B" la parte di edificio fuori terra fino al piano 6° (+21,40m e 2100mq per piano) e con la lettera "C" la parte relativa agli ultimi 5 solai (Fig. 1). Con "VT" si individua un piccolo fabbricato a struttura metallica adibito a centrale tecnologica. Il corpo "A" in pianta si sviluppa per circa 5.500mq. Di questa superficie circa 2.100mq si sviluppano sotto la proiezione del sedime del corpo "B" mentre i restanti 3.400mq sono esterni a detto sedime.</p>												
													
	Figura 1 - Sezione tipo												

B	PROGETTO
	<p><b>La distribuzione degli spazi</b></p> <p>I due sottosistemi costituiti dai 'piani bucati' e dall'edificio anulare' avranno una distribuzione comune verticale, ma contemporaneamente flussi orizzontali completamente diversi. I 'piani bucati' hanno una circolazione primaria interna parallela al nodo, mentre "l'edificio anulare" ha come percorso di distribuzione principale un anello dal quale si diramano radialmente i diversi ambienti (Fig. 3 e 4). La struttura modulare, con cui l'edificio è stato concepito, consente un'organizzazione flessibile degli spazi interni in vista dei futuri cambiamenti della distribuzione. A questo scopo c'è una netta separazione tra elementi strutturali e partizioni interne leggere degli uffici. Allo stesso tempo i bagni, gli ascensori, le scale ed i cavedi si concentrano nel nucleo centrale così da dare possibilità di configurazioni diverse ai vari piani. Il tutto ci fa raggiungere prospettive e volumetrie altamente variabili all'interno di una maglia modulare estremamente rigorosa.</p>
	<p><b>La struttura</b></p> <p>Corpo "A"  La struttura del corpo "A" è sostanzialmente in calcestruzzo armato con elementi verticali, muri e pilastri, incastrati nella platea di fondazione.  Colonne in acciaio sono previste in continuità con i pilastri dell'edificio alto. Il solaio è una piastra in calcestruzzo pieno di spessore 30cm; alcuni pilastri sono stati dotati di capitelli contro il punzonamento dei carichi verticali.</p> <p>Corpo "B"  La struttura del corpo "B" presenta colonne in c.a. rivestite in acciaio, colonne cruciformi in acciaio e una soletta in calcestruzzo pieno. Date le luci in gioco, la presenza di fori nei solai e gli aggenti sino a 5m; si prevede di realizzare detti solai in c.a.p. (come piastre su appoggi puntiformi) riducendo di molto lo spessore della soletta in calcestruzzo (Fig. 6). La tecnologia della post-tensione combinata con il sistema di cassetatura, ha permesso, dopo la tesatura parziale dei trefoli a 3-4 giorni dal getto, di poter disarmare completamente il solaio e di poter, quindi, avere già il piano libero dai puntelli. Ciò ha potuto far iniziare sin da subito le opere edili di finitura con notevole riduzione dei tempi. Le ridotte dimensioni dei pilastri in c.a., richieste dal progetto architettonico, (40x40) e gli enormi carichi in gioco hanno portato gli strutturisti all'impiego di calcestruzzi ad altissima resistenza.</p> <p>Corpo "C"  La struttura del corpo "C" è sostanzialmente in acciaio e presenta un piano di trasferimento dei carichi verticali alle sottostanti strutture posto a quota +25,70 dalla quale si diparte una struttura reticolare perimetrale a cui si appoggiano le travi dei solai dei piani superiori (Fig. 7). I solai di detto corpo sono da realizzarsi in acciaio (travi IPE400 + soletta collaborante in cls gettata su lamiera HI-bond).</p>
	<p><b>Le fondazioni</b></p> <p>Date le caratteristiche del terreno, la soluzione fondazionale dell'edificio si distingue in due scelte esecutive.</p> <p>a) Fondazione del fabbricato a più piani  Considerando che a livello 0,00 il solaio del corpo "A" presenta un giunto strutturale perimetrale tale da rendere questa parte dell'edificio distinta dalla rimanente, si è previsto di fondare questa parte di edificio su pali di grosso diametro spinti fino alla profondità di 38/40m dal piano campagna. Detti pali con testa palo a -7,55m sono collegati da elementi di raccordo, travi e platee di altezza 1.8m.</p> <p>b) Fondazione del fabbricato solo interrato  Detta parte del fabbricato si fonda direttamente sul terreno, consolidato da colonne di jet-grouting</p>

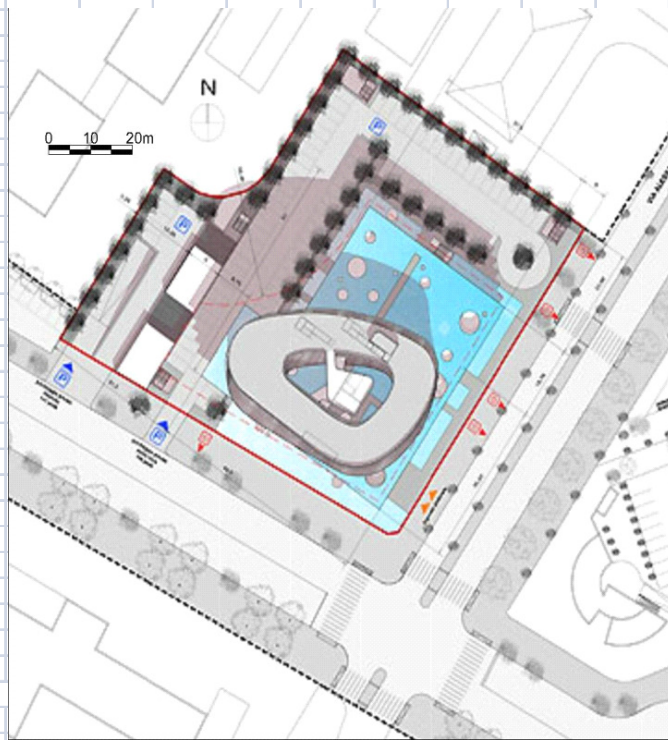


Figura 2 - Planivolumetrico

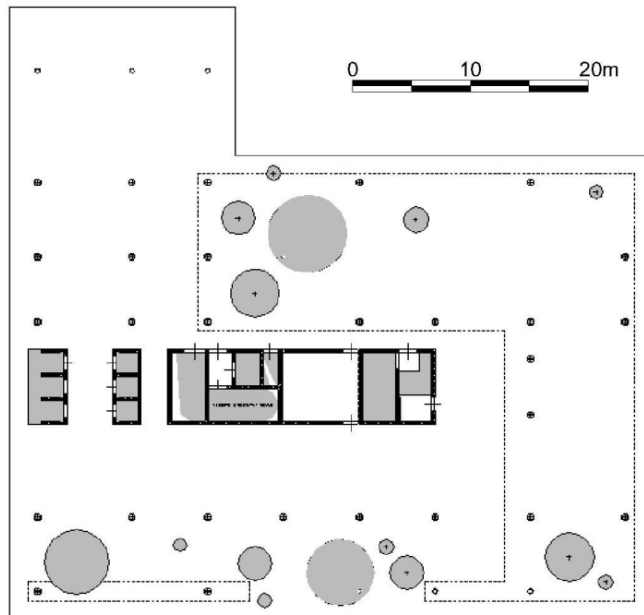


Figura 3 - Pianta del secondo piano del corpo B



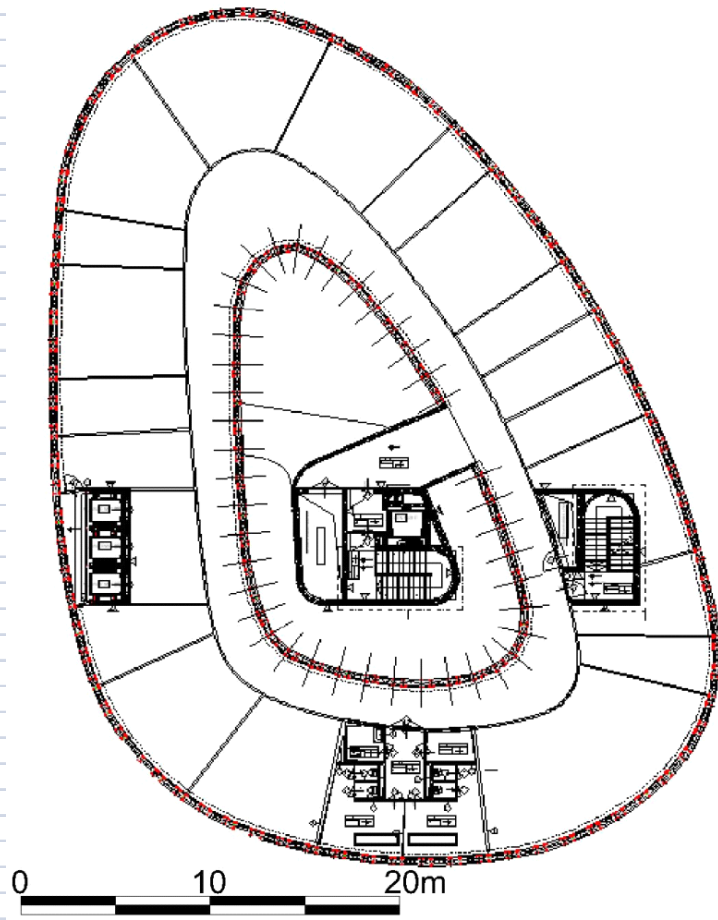


Figura 4 - Pianta tipo del corpo C



Figura 5 - Rendering

B

PROGETTO: immagini del plastico

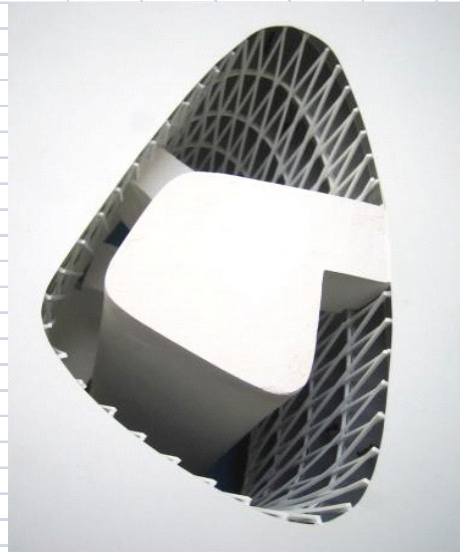
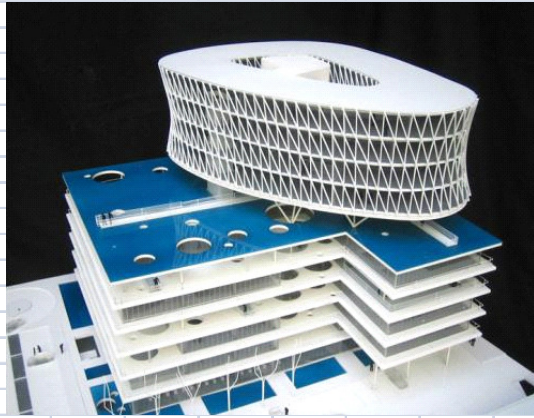




Figura 6 - Realizzazione prima soletta del corpo B

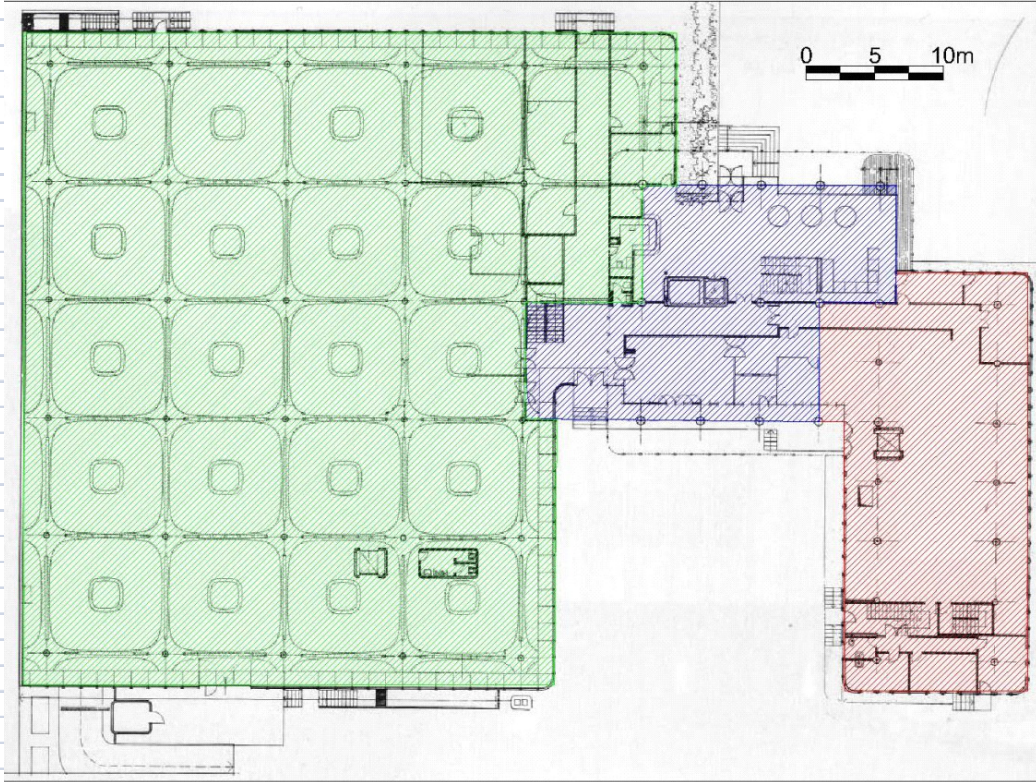


Figura 7 - Struttura del corpo C

C DATI CONOSCITIVI						
	<i>Progettista delle strutture</i>	ING. CLAUDIO TONIOLO - Sirmione (BS)				
	<i>Progettista degli impianti</i>	PROGETTO C.M.R. - Milano				
	<i>Impresa costruttrice</i>	IM.A.R. srl - Pescara				
	<i>Tempi di progettazione</i>	Marzo 2005 - Giugno 2005				
	<i>Tempi di realizzazione</i>	2 anni				
D CARATTERISTICHE DIMENSIONALI						
	<i>Dati dimensionali</i>	<i>Volume</i>	<i>Altezza f.t.</i>	<i>Piani f.t.</i>	<i>S.N.U.</i>	<i>S.L.P.</i>
		75.950 mc	41 m	11	16.200 mq	28.000 mq
	<i>Dati tecnici</i>	<i>sistema strutturale</i>	<i>tipo piastra</i>	<i>spessore piastra</i>	<i>luci</i>	
		c.a., c.a.p. e acciaio	spessore pieno	30 cm	varie	
E CONCLUSIONI						
<p>La struttura del corpo "B" di questo edificio è un esempio lampante delle possibilità realizzative delle piastre; come abbiamo detto si tratta di piastre post-tese a spessore costante su appoggi puntiformi. Il sistema di appoggi puntiformi è composto sia da colonne in acciaio che cls; con un diametro di 40cm. La piastra raggiunge anche i 12m di luce per un spessore relativamente piccolo (30cm). La struttura in questione è strettamente legata sia al progetto architettonico che alla destinazione funzionale; infatti ha permesso di ottenere grandi spazi privi di appoggi ingombranti per ottenere degli ambienti flessibile (destinati ad uffici) e modificabili in futuro, spostando le partizioni interne. La soluzione tecnica della piastra ha anche permesso di soddisfare con facilità l' idea architettonica delle bucaure negli impalcati. Questo risultato sarebbe stato molto complesso da ottenere con un sistema tradizionale; sia da un punto di vista prestazionale della struttura che da un punto di vista realizzativo.</p>						
F FONTI						
	<i>Monografie</i>					
	<i>Riviste</i>					
	<i>Link</i>	<a href="http://www.europaconcorsi.com/db/pub/scheda.php?id=5855">http://www.europaconcorsi.com/db/pub/scheda.php?id=5855</a>	<a href="http://www.imar.pe.it/jobworks/2005/deCecco.html">http://www.imar.pe.it/jobworks/2005/deCecco.html</a>	<a href="http://www.hsh.info/toniolo1.htm">http://www.hsh.info/toniolo1.htm</a>		



## Uffici e stabilimento per Armitalia - Cinisello Balsamo (MI)

Scheda	
2	Uffici e stabilimento per Armitalia, Cinisello Balsamo (MI)
A INFORMAZIONI GENERALI	
Progettista	Angelo Mangiarotti
Città	Cinisello Balsamo (MI)
Anno di progettazione	1967
Destinazione Funzionale	Uffici e stabilimento
Committente	Armitalia
B PROGETTO	
<p><b>Il progetto architettonico:</b></p> <p>Lo stabilimento è situato nella periferia industriale di Cinisello Balsamo, esso si articola su tre corpi di fabbrica con caratteristiche geometriche e strutturali diverse; connessi da un nucleo centrale in cui si trovano gli accessi e la distribuzione verticale. Il primo ed il secondo, destinati agli uffici e ai magazzini, sono a più piani (4 per gli uffici e 2 per i magazzini) e impostati su una maglia rettangolare di 8.75x4.375m, mentre il terzo, destinato all'officina, è di un solo piano ed è impostato su una maglia quadrata di 8.75x8.75m (Fig. 1).</p>  <p style="text-align: center;"> <span style="display: inline-block; width: 20px; height: 10px; background-color: #90EE90; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> officina     <span style="display: inline-block; width: 20px; height: 10px; background-color: #ADD8E6; border: 1px solid black; margin-right: 5px; margin-left: 20px;"></span> uffici     <span style="display: inline-block; width: 20px; height: 10px; background-color: #FFB6C1; border: 1px solid black; margin-left: 20px;"></span> magazzini </p> <p style="text-align: center;">Figura 1 - Pianta con destinazioni funzionali</p>	

B	PROGETTO
	<p><b>Il padiglione dell' officina:</b></p> <p>Concentriamoci ora sul padiglione per la produzione, esso è collegato a quello degli uffici da un corridoio parallelo alla hall di ingresso e da questo accessibile, si sviluppa indiviso in uno spazio rettangolare di 4x5 moduli ed è attrezzato in prossimità degli uffici da un blocco di 1x2 moduli con locali tecnici e da un blocco di servizi al suo interno (Fig. 3). Sono presenti poche aperture vetrate verso l'esterno, concentrate sul fianco rivolto verso gli uffici, coadiuvate per garantire l'illuminazione naturale dai lucernari di m 2,50x 2,50 m con chiusura a cupola in plexiglas, al centro delle piastre di copertura (Fig. 9). Anche gli elementi tecnici e impiantistici riprendono il disegno della struttura architettonica: l'illuminazione artificiale è garantita da coppie di lampade al neon (Fig. 11), ancorate con due elementi metallici piatti alla greccatura della copertura, su cui si innestano due elementi orizzontali che portano due tubi fluorescenti per parte, tra le coppie di pilastri passano i pluviali per lo smaltimento delle acque meteoriche, e gli stessi basamenti dei macchinari sono su disegno dell'architetto. Le pareti interne, ove presenti, sono vetrate nelle parti alte, così da garantire una continuità visiva utile agli operatori, ma anche la percezione unitaria del sistema strutturale.</p> <p><b>La struttura portante dell' officina:</b></p> <p>La struttura portante è costituita da una maglia di pilastri circolari dal diametro di 40cm, su un reticolo di 8,75x8,75m, su cui si trovano venti piastre che si appoggiano a travi sagomate che ne continuano la forma, che costituiscono i margini orizzontali superiori (Fig. 7). Le piastre sono realizzate in cemento armato con spessori variabili da 12 a 16 cm e sono state eseguite facendo uso di due sole casseforme, riuscendo a non rallentare i lavori. Questo è stato possibile realizzando con un primo getto una prima metà delle travi portanti fino all'imposta del raccordo con le piastre di copertura e due piastre. In una settimana era possibile disarmare le piastre e procedere all'esecuzione delle due successive. Dopo quattro settimane si è potuto procedere al disarmo delle travi e spostarsi nella seconda metà dell'officina, completando il processo in 10 settimane.</p>

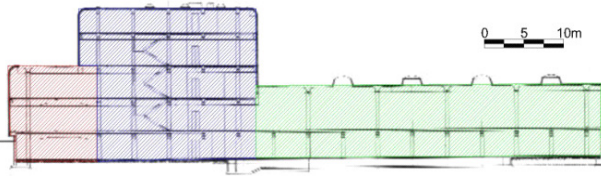


Figura 2 - Sezione con destinazioni funzionali

■ magazzini ■ uffici ■ officina

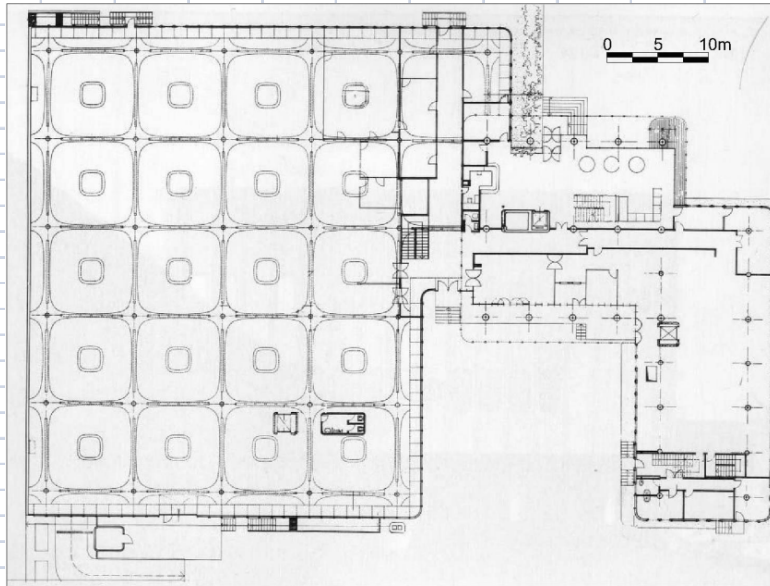


Figura 3 - Pianta piano terra

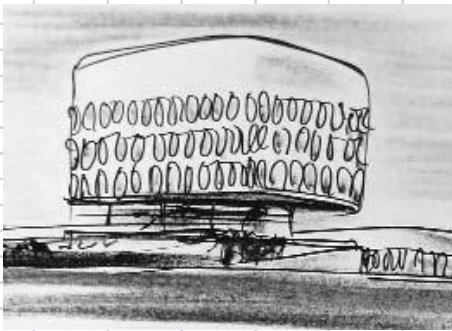


Figura 4 - Schizzo d'insieme

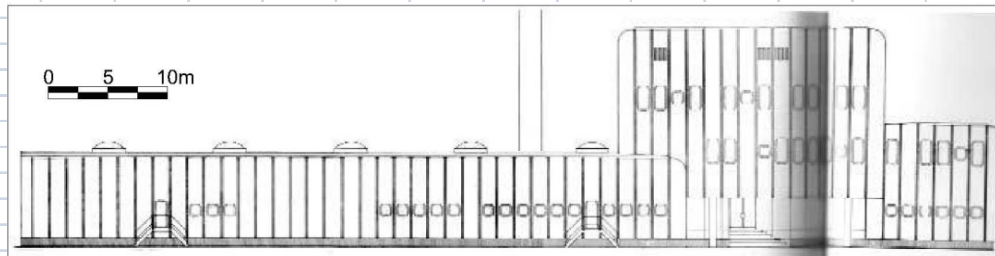


Figura 5 - Prospetto sud

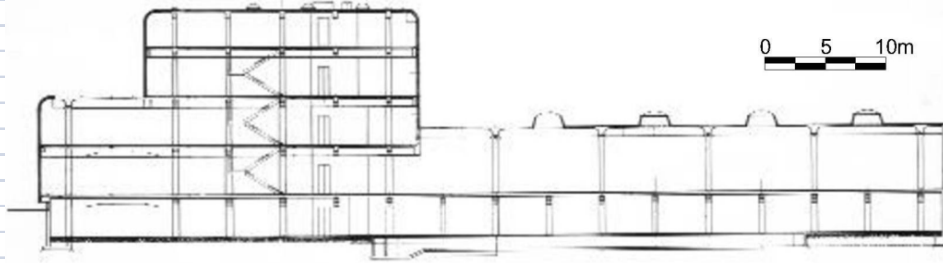


Figura 6 - Sezione tipo

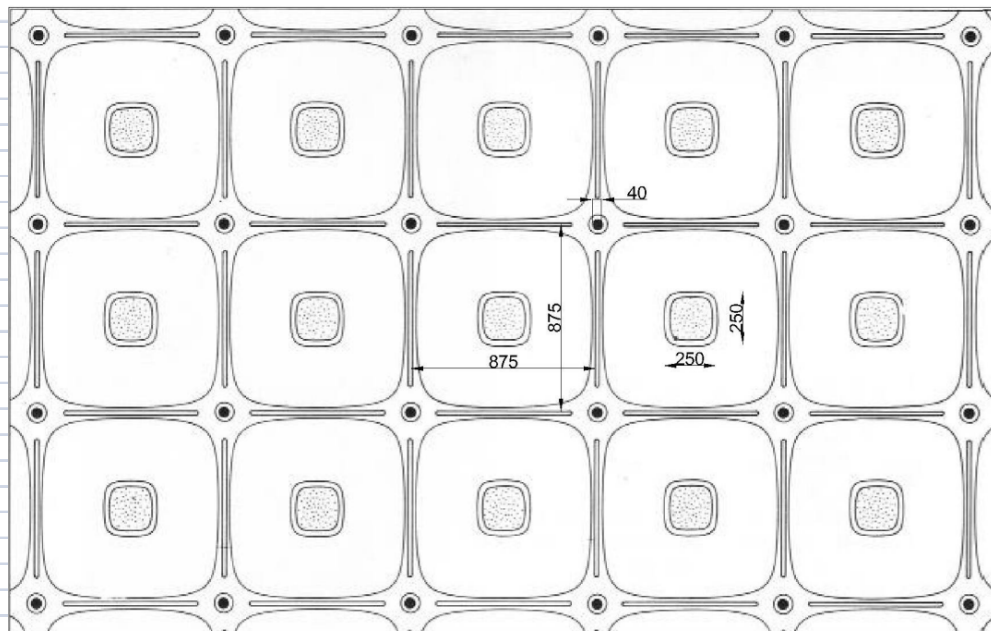


Figura 7 - Pianta copertura officina



Figura 8 - Veduta esterna d' insieme





Figura 9 - Vista dei lucernari nelle piastre di copertura



Figura 10 - Vista del particolare d'angolo della piastra



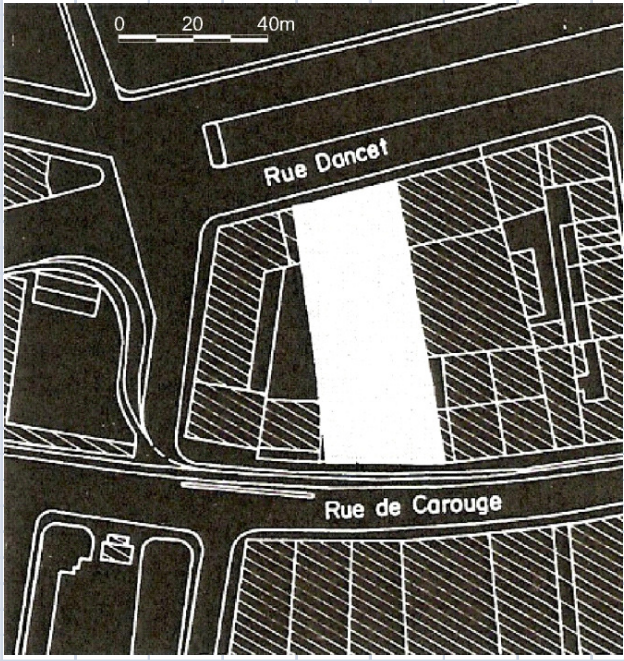
Figura 11 - Vista del particolare delle travi



Figura 12 - Vista dell'ingresso principale

<b>C</b>	<b>DATI CONOSCITIVI</b>					
	<i>Progettisti strutturali</i>			Giulio Ballio Giovanni Colombo Alberto Vintani		
<b>D</b>	<b>CARATTERISTICHE DIMENSIONALI</b>					
	<i>Dati dimensionali</i>	<i>Piani f.t.</i>				
		1,2 e 4				
<b>E</b>	<b>CONCLUSIONI</b>					
	<p>La parte di edificio destinata ad officina; presenta una soluzione di piastra molto interessante anche in funzione della destinazione funzionale. Si tratta di una piastra su travi su 4 lati; una soluzione adatta per la destinazione industriale e comoda per ottenere uno spazio in pianta abbastanza libero. Questo progetto ha permesso di coprire luci relativamente ampie e una grande superficie modulare per una comoda sistemazione dei macchinari. Inoltre questa piastra ha permesso la realizzazione di un lucernario al centro di ogni campo di piastra; una soluzione (quella dell' illuminazione zenitale) molto utilizzata per la destinazione industriale; sarebbe stato molto più complesso ottenere un lucernario di questo tipo con un altro sistema di impalcato.</p>					
<b>F</b>	<b>FONTI</b>					
	<i>Monografie</i>	Finessi B., (2002), <i>Su Mangiarotti: architettura design scultura: 72 progetti, 227 inediti, 3 contributi critici</i> . Abitare Segesta Cataloghi, Milano.				
	<i>Riviste</i>	<i>Etablissement ArmItalia in L'ARCHITECTURE D' AUJOURD'HUI</i> n° 165 (1973) DOMUS n° 526 (1973)				
	<i>Link</i>					

## Edificio per uffici e abitazioni – Ginevra (CH)

Scheda		
3	Edificio per uffici e abitazioni a Ginevra	
A	INFORMAZIONI GENERALI	
	<i>Progettista</i>	M. Anness, R. Siebold, H. Siegle, W. Stampfli
	<i>Città</i>	Ginevra
	<i>Indirizzo</i>	Rue Carouge
	<i>Destinazione Funzionale</i>	uffici, negozi e abitazioni
B	PROGETTO	
<p><b>Il contesto urbanistico e la soluzione architettonica</b></p> <p>Nel quartiere popolare di Plainpalais a Ginevra, in cui si è verificato negli ultimi anni un forte incremento della popolazione residente si è manifestato di conseguenza un notevole impulso alla valorizzazione commerciale, è stata ultimata la costruzione di un complesso edilizio di notevole qualità architettonica, costituito da due corpi di fabbrica, collegati a livello dei piani interrati e separati in superficie da un giardino interno. Dal punto di vista architettonico, il progetto adottato rappresenta una soluzione felice dei notevoli problemi che sorgono in tutti i casi in cui si deve integrare una nuova costruzione in un contesto urbano già densamente edificato.</p> <p>In particolare, nel caso esaminato, i requisiti da soddisfare sono stati molteplici e tutti fortemente vincolanti. L'edificio infatti interessa l'intera profondità di un solaio e di conseguenza affaccia su due strade: la prima è la rue de Carouge, una strada piena di animazione, con linee tranviarie, un forte traffico commerciale e negozi, mentre la seconda è la rue Dancet, un'ampia strada residenziale alberata e tranquilla (Fig. 1). Inoltre, mentre sulla rue Dancet è possibile costruire edifici di altezza fuori terra pari a sette piani più un piano attico, sulla rue de Carouge la massima altezza consentita è di soli tre piani.</p>		
		
<p>Figura 1 - Planimetria generale</p>		

### Il progetto architettonico

La diversità delle funzioni espletate nelle diverse parti del complesso ha quindi spinto i progettisti ad abbandonare la tesi dell' unità architettonica a favore dell' adozione della forma differente per le diverse facciate. Su rue Dancet, l' edificio si innesta infatti tra due corpi di fabbrica, realizzati alla fine degli anni sessanta, che, dal punto di vista formale, sono fortemente caratterizzati in orizzontale, secondo l' impostazione tipica di quegli anni (Fig. 17). Pertanto alla facciata dell' edificio posta su tale strada è stato attribuito un andamento spiccatamente orizzontale, anche se il suo profilo è stato movimentato per aumentarne la plasticità. Le fasce orizzontali marcate si collegano a quelle degli edifici adiacenti: la facciata quindi è asimmetrica, anche se per l' effetto ottico conseguito con la soluzione adottata, essa risulta simmetrica. Alla facciata su rue de Carouge è invece attribuito il compito di attirare l' attenzione, segnalando la presenza di un complesso commerciale importante all' interno (Fig. 14). L' edificio basso, che lo ospita, è situato infatti tra due edifici di maggiore importanza, per cui è stato necessario dare ad esso una forte significatività. L' organizzazione funzionale dell' edificio è stata studiata in modo da soddisfare esigenze diverse: questo ha posto notevoli problemi, soprattutto in relazione alla necessità di diversificare l' accesso delle diverse categorie di utilizzazione.

Dal punto di vista funzionale e distributivo, il primo piano di entrambi i corpi di fabbrica è adibito ad uffici, per un totale di 680mq; i piani dal 2° al 3° su rue de Carouge e dal 2° al 7° su rue Dancet, ospitano appartamenti. Il primo piano interrato contiene un area di 2680mq di negozi, mentre il secondo piano interrato un' area di 950mq di depositi (Fig. 2). Negli altri piani interrati infine sono stati realizzati i parcheggi, aperti al pubblico o riservati ai residenti (Fig. 3). Tutti gli appartamenti occupano l' intera lunghezza di ciascuno dei due corpi di fabbrica, con la maggior parte delle finestre sulla corte interna. Gli appartamenti in duplex realizzati verso la rue de Carouge hanno tutti un ingresso privato, in corrispondenza di una piccola parte del giardino, annessa come pertinenza privata. Le dimensioni in pianta della parte interrata sono approssimativamente pari a 60x30m. In elevazione il corpo di fabbrica più piccolo ha dimensioni pari a 19x29,95 m; quello più grande, a pianta spiccatamente trapezia, ha una profondità di 17,50 m e larghezza variabile tra 31,30 m e 35,06 m (Fig. 7).

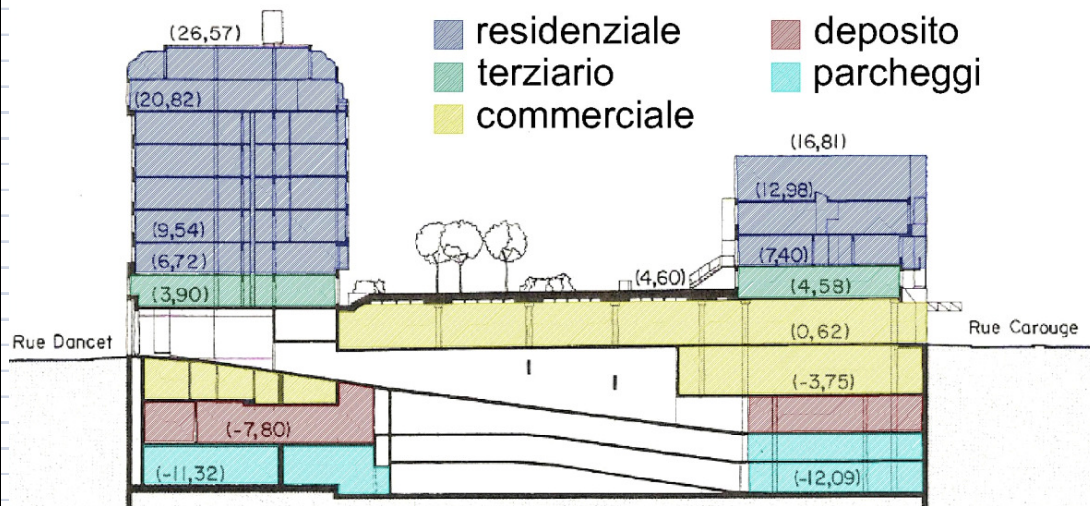


Figura 2 - Indicazione delle destinazioni funzionali

### La struttura

Per ottenere lo sfruttamento razionale del terreno disponibile è risultato necessario realizzare un edificio a più piani interrati. Il terreno di fondazione è costituito da terreno alluvionale e da formazioni limoso-argillose, a forte componente limosa fine. I tre piani interrati sono stati quindi realizzati proteggendo le pareti dello scavo con una paratia, per evitare cedimenti delle costruzioni vicine, prive di piano interrato e quindi poste su fondazioni superficiali. Tale scavo è stato realizzato in tre fasi. La struttura portante, sia nella parte interrata che nell'elevazione, è interamente in c.a., ad eccezione di alcuni pilastri che sostengono la facciata su rue Dancet. Le facciate sono state realizzate impiegando elementi prefabbricati, che, per la maggior parte, hanno funzione portante. Particolarmente significativa, oltre che dal punto di vista morfologico, anche da quello strutturale ed esecutivo, è la facciata su rue Dancet. Come abbiamo visto l'edificio è abbastanza complesso e presenta diverse destinazioni funzionali; con differenti tipi di impalcato a piastra. Di seguito ho analizzato lo schema strutturale diviso in altezza: quello dei piani interrati (Fig. 3); quello del primo piano (Fig. 4; con destinazione giardino e uffici) e quello dei piani a destinazione residenziale (Fig. 6).

Struttura dei piani interrati e dell'impalcato del piano terra

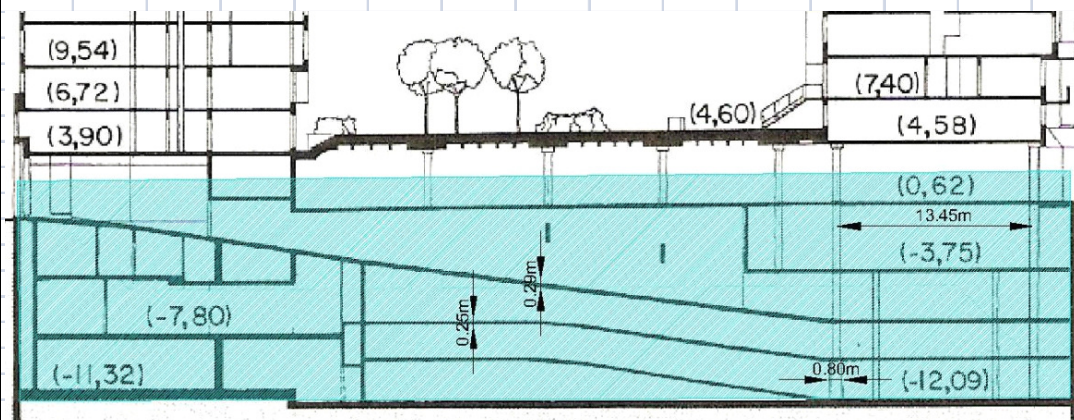


Figura 3 - Sezione longitudinale dei piani interrati

solette piene precomprese, su una maglia strutturale mista di pilastri e pareti

luce massima degli impalcati = 13.45m

diametro massimo dei pilastri = 0.8m

spessore delle solette = 0.25m

spessore delle rampe = 0.29m



## Struttura degli impalcati del primo piano

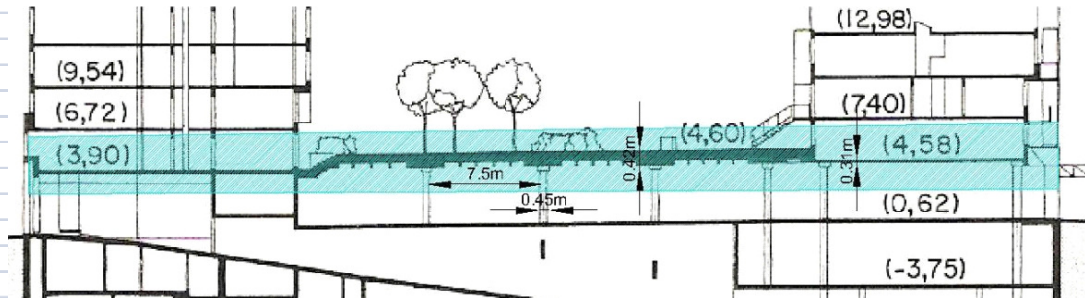


Figura 4 - Sezione longitudinale dell'impalcato del primo piano

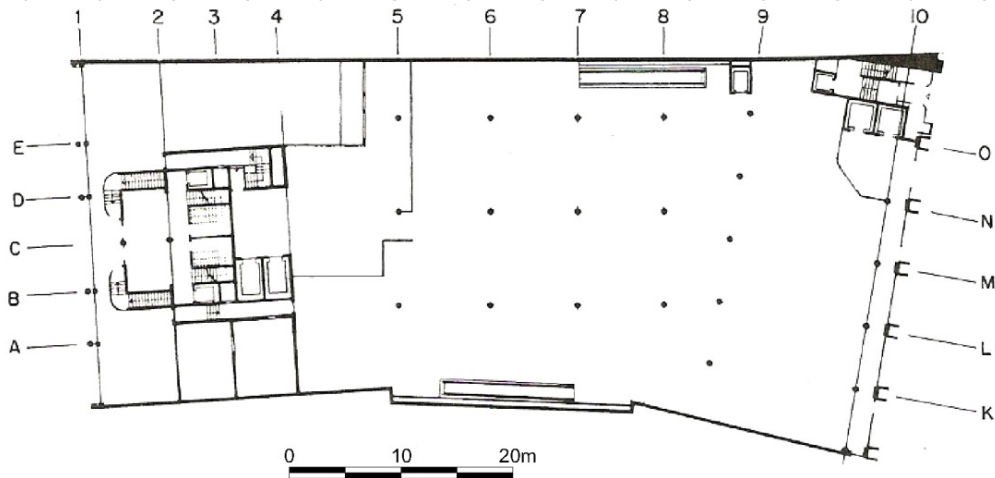


Figura 5 - Pianta del piano terra a quota 0,62m

*Impalcato del giardino:*

soletta nervata precompressa, su una maglia di pilastri di 8x7,50m

diametro dei pilastri = 0,45m

spessore della soletta = 0,42m

*Impalcato degli uffici:*

solette piene precomprese, su una maglia strutturale mista di pilastri e pareti

spessore delle pareti = 0,22m

diametro dei pilastri = 0,45m

spessore della soletta = 0,31m

luce massima degli impalcati = 13,45m

Struttura degli impalcati a destinazione residenziale

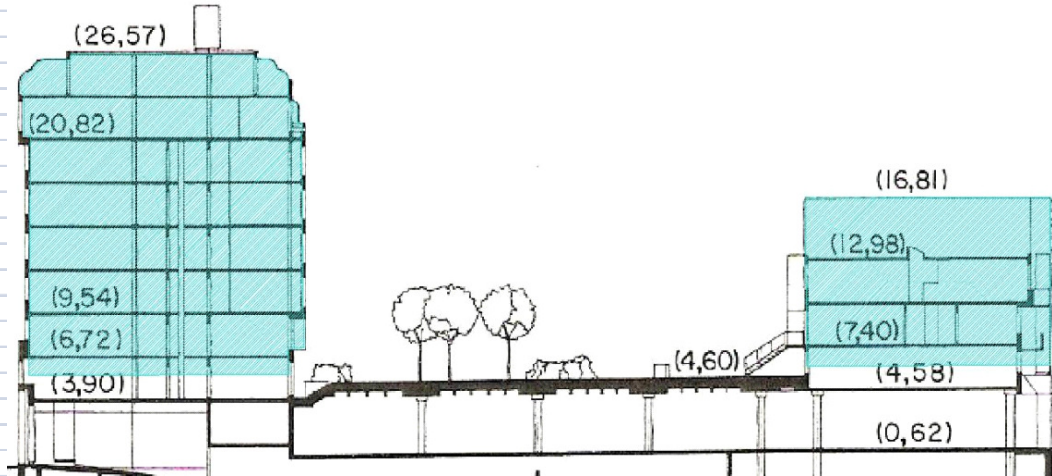


Figura 6 - Sezione longitudinale degli impalcati a destinazione residenziale

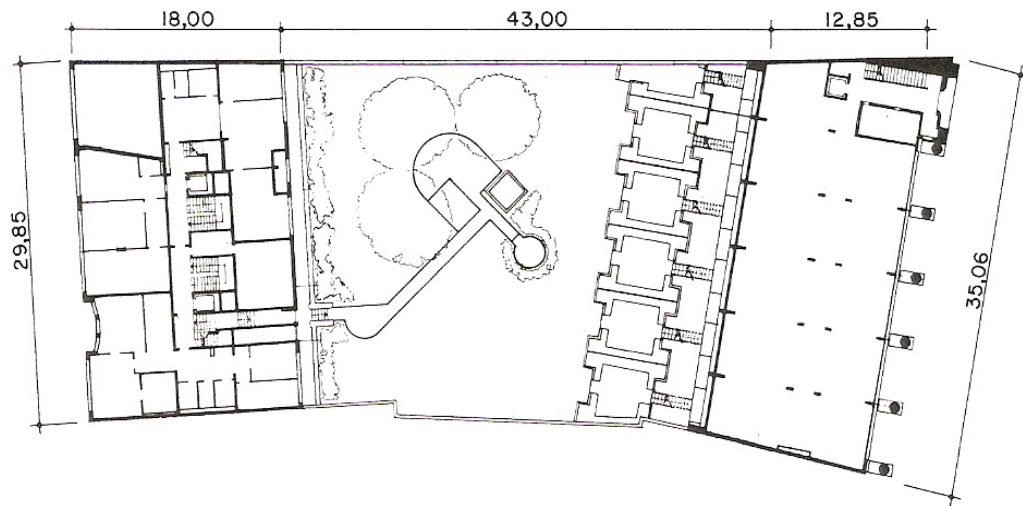


Figura 7 - Pianta del primo piano

soletta piena su maglia mista di pilastri e pareti

spessore delle pareti e delle solette = 0.22m

dimensione dei pilastri perimetrali = 0.62x0.32m

dimensione dei pilastri interni = 0.52x0.32m

interasse dei pilastri = 5.40m



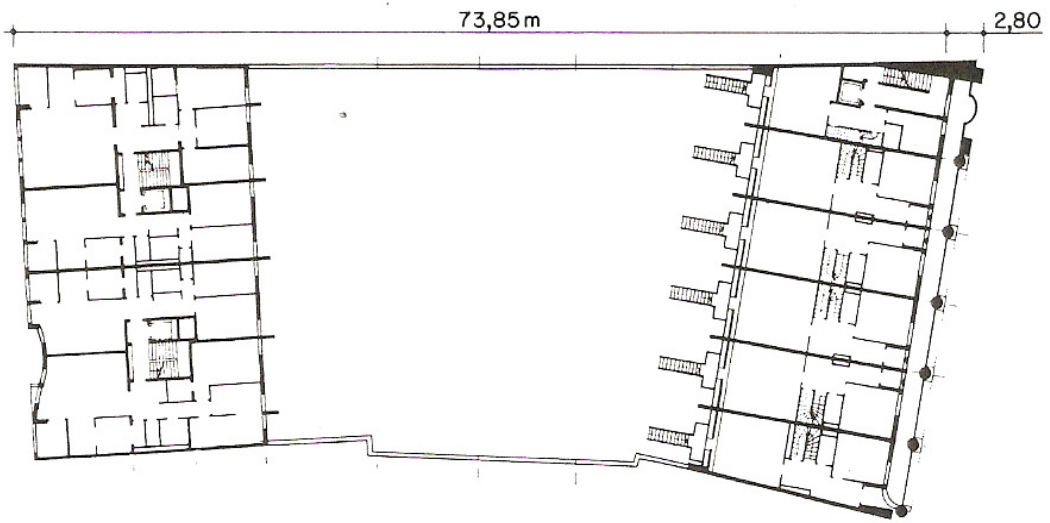


Figura 8 - Pianta del secondo piano

Particolari di facciata

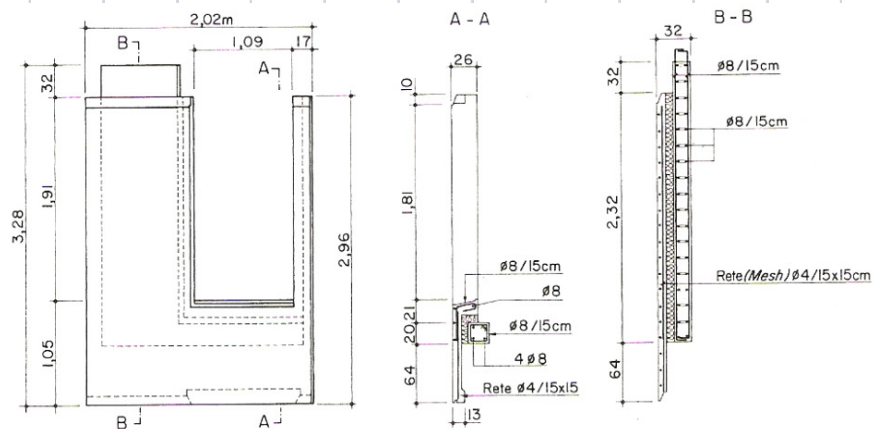


Figura 9 - Vista di un pannello di facciata e sezione con la disposizione dell' armatura ordinaria

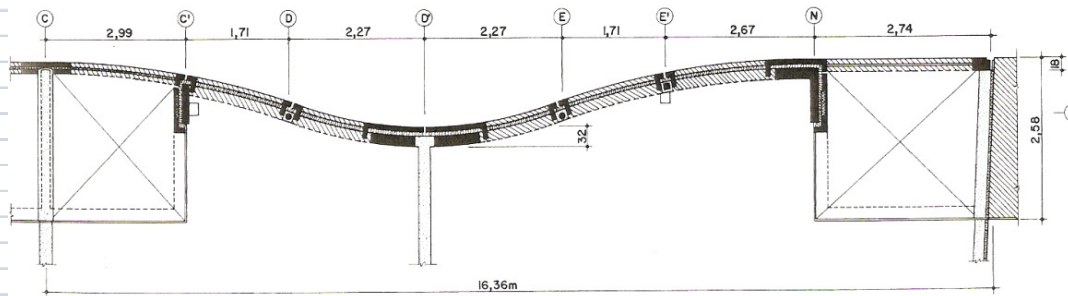


Figura 10 - Sezione orizzontale della facciata curvilinea

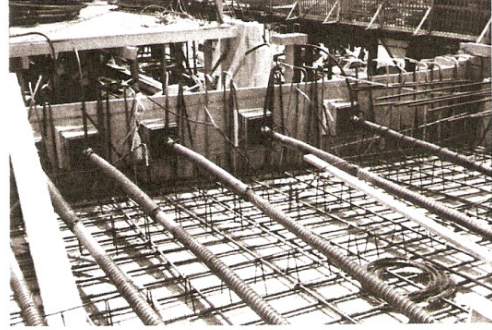
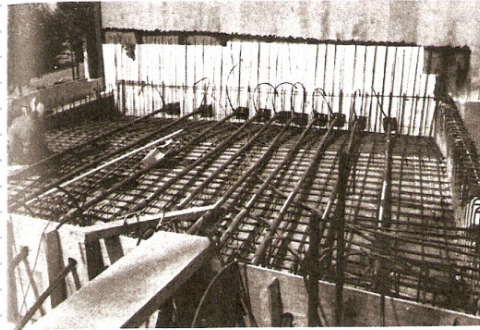


Figura 11 - Armatura ordinaria e di precompressione del solaio del primo piano dell' edificio su Rue Dancet

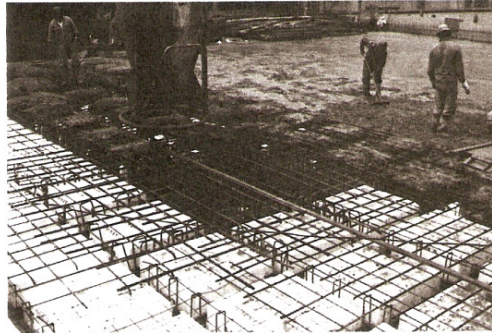
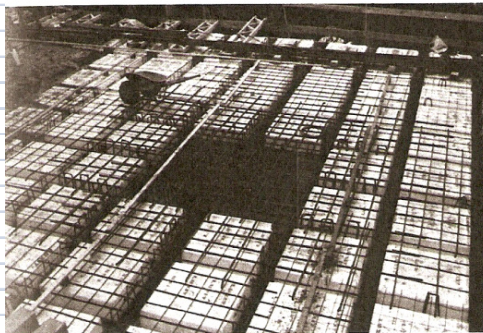


Figura 12 - Disposizione dell' armatura e getto del solaio costituente il cortile tra i due edifici

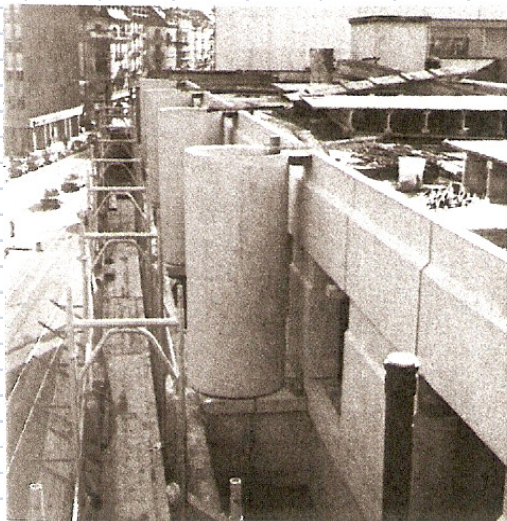


Figura 13 - Elementi prefabbricati di facciata



Figura 14 - Facciata su Rue de Carouge





Figura 15 - Ingresso da Rue de Carouge



Figura 16 - Particolare facciata su Rue Dancet



Figura 17 - Facciata su Rue Dancet

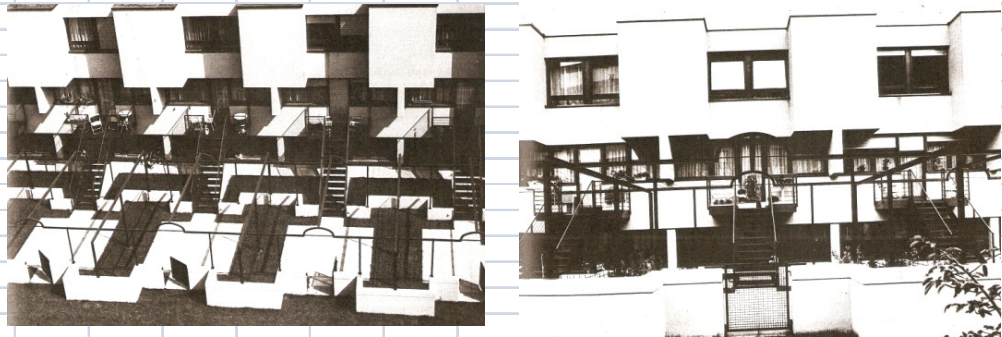


Figura 18 - Ingressi privati dal giardino interno del corpo di fabbrica su Rue de Carouge

C		DATI CONOSCITIVI			
	<i>Team Progettuale</i>	M. Anness, R. Siebold, H. Siegle e W. Stampfli di Lignon, con la collaborazione di M. Simeon e A. Parquet			
	<i>Progettista strutturale</i>	Studio Perreten and Milleret SA di Ginevra			
	<i>Imprese costruttrici</i>	Imprese Induni, Cie SA, Ambrosetti, Prelco SA di Ginevra			
	<i>Superficie uffici</i>	680mq			
	<i>Superficie negozi</i>	2680mq			
	<i>Superficie deposito</i>	950mq			
D		CARATTERISTICHE DIMENSIONALI			
	<i>Dati dimensionali</i>	<i>Piani f.t.</i>	<i>Altezza f.t.</i>		
		9 e 5	26,57 e 16,81		
E		CONCLUSIONI			
	<p>L'edificio analizzato nonostante sia relativamente piccolo presenta delle complessità architettoniche, strutturali e funzionali tra loro legate. Le destinazioni funzionali dei piani interrati (parcheggio, deposito e commercio) necessitano di ampie luci tra gli appoggi e si caratterizzano per carichi elevati; infatti gli impalcati in oggetto hanno luci sino a 13,45m e il diametro dei pilastri dell'ultimo piano interrato arriva a 80cm. La soluzione adottata è una piastra piena a spessore costante di 25cm per le solette e 29cm per le rampe. Il piano terra adibito a commercio presenta invece una maglia di pilastri abbastanza ampia: 8x7,75m; su cui poggia il giardino e una luce di 13,45 su cui poggia l'impalcato degli uffici. La soluzione adottata per l'impalcato di giardino è stata una piastra nervata precompressa; mentre per gli uffici una piastra precompressa a spessore costante di 31cm. Più omogenea e regolare è la soluzione strutturale per le residenze, in questo caso i carichi sono meno elevati e le luci necessarie sono minori. Si tratta per le residenze di un sistema misto di pareti e pilastri rettangolari con interasse di 5,40m e uno spessore di impalcato di 0,22cm. In questo progetto penso sia molto interessante come la piastra sia stata in grado di coprire ogni tipo di impalcato adeguandosi ai diversi appoggi; alle diverse luci; alle diverse destinazioni funzionali, alle diverse geometrie e ai diversi carichi.</p>				
F		FONTI			
	<i>Monografie</i>				
	<i>Riviste</i>	INDUSTRIA ITALIANA DEL CEMENTO n°640 (1990)			
	<i>Link</i>				

## Palestra Polivalente - Losone (CH)

Scheda		
4	Palestra Polivalente, Losone (CH)	
A INFORMAZIONI GENERALI		
	<i>Progettista</i>	Livio Vacchini
	<i>Città</i>	Losone
	<i>Anno di progettazione</i>	1990
	<i>Fine lavori</i>	1997
	<i>Destinazione Funzionale</i>	Edificio per lo sport - Palestra
	<i>Committente</i>	Dipartimento militare federale, Berna
B PROGETTO		
<p><b>Il progetto architettonico</b></p> <p>L'edificio non rivela a prima vista né la sua vocazione né tantomeno la sua funzione, esso si erge come un blocco imponente e inaccessibile su una piattaforma posta sopra un esteso spazio verde (Fig. 9). Nessuna entrata è visibile al piano terreno, gli ingressi sono situati alle estremità delle rampe che scendono al sotterraneo e dai magazzini e dagli spogliatoi si sale nell'ampia sala rettangolare (Fig. 2). La luce naturale penetra all'interno da aperture a tutta altezza, tra l'interno e l'esterno soltanto una parete interamente vetrata, che non tocca la struttura circostante ma che piuttosto la precisa. La gigantesca soletta di copertura appare inscritta nella corona perimetrale dei pilastri ed è percepita come una lama sospesa sul vasto spazio della palestra. Vacchini non voleva che il tetto fosse caricato sui "pilastri", che allora sarebbero stati tali, ma intendeva racchiuderlo nell'ordine unico della corona perimetrale, rinunciando sia allo zoccolo che al coronamento dell'edificio. Questa idea è stata concretizzata assumendo la conclusione del pilastro come già parte della piastra (Fig. 4). La soletta è dunque una piastra che staticamente è caricata sul muro di pilastri mentre concettualmente è contenuta fra di essi.</p>		
<p><b>La struttura</b></p> <p>Il sistema statico di questo edificio è composto da una copertura a graticcio precompresso; alta 140cm, con perimetro rettangolare di 31,21x56,07m appoggiata lungo i 4 lati sui pilastri perimetrali (Fig. 3). Gli elementi di colonna sono rastremati dal basso verso l'alto, misurano 43x70 cm alla base e 43x43cm in sommità, sono alti circa 8m e sono stati eseguiti in un solo getto in altezza. L'interasse della nervatura è doppio di quello dei pilastri; infatti in modo alternato si ha un pilastro in corrispondenza di una nervatura e uno libero (Fig. 6). La proporzione planimetrica (1:1.8) permette di conservare l'effetto di portata bidirezionale proprio di una piastra.</p>		
<p><b>La realizzazione della piastra:</b></p> <p>Il getto della piastra è stato eseguito in tre fasi; dividendo la superficie in tre parti di 31x18m circa ciascuna. Dopo aver gettato e scasserato le nervature; successivamente è avvenuto il getto della soletta su elementi prefabbricati di chiusura del cassettoni. La tesatura dei cavi di precompressione è stata eseguita nel senso trasversale dopo ogniuna delle tre fasi di getto della piastra; a getto ultimato e tesatura longitudinale avvenuta è stata riequilibrata la precompressione dei cavi precedentemente tesi nel senso trasversale.</p>		
<p>"In questo edificio che è una struttura polivalente di 3 palestre messe insieme, ho fatto la cosa staticamente più semplice che si possa immaginare. Ho fatto un muro. Ho dato all'edificio un rapporto di circa 1 su 1.8, che è la proporzione massima con la quale l'ingegnere mi riesce a portare la copertura nelle due direzioni, con una piastra senza travi quindi per una larghezza di 39m e una lunghezza di circa 60. Buco questo muro secondo un modulo ideale che è quello della misura massima possibile calcolata dall'ingegnere per gli interassi tra le nervature della piastra in cemento armato precompresso. L'edificio ha lo spazio interno interamente libero di 8m di altezza, è chiuso perimetralmente da vetri trasparenti che passano staccati dalla struttura per evitare giochi di luce troppo belli che possono distrarre chi deve fare sport. L'effetto desiderato è quello di una luce naturale filtrata e dunque modificata, diffusamente riverberata dal giallo del pavimento"</p>		
<p>Livio Vacchini</p> <p>(Falasca,2007)</p>		

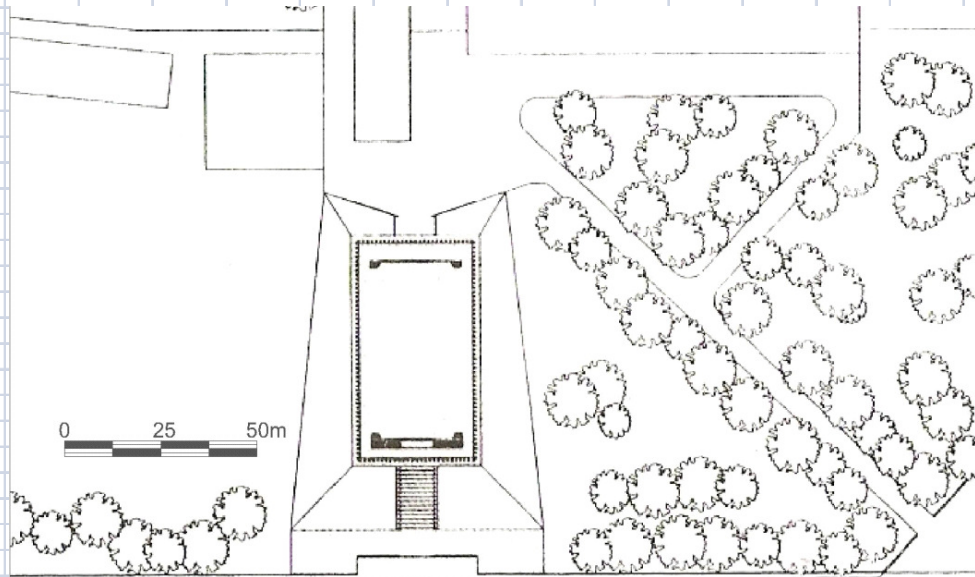


Figura 1 - Planimetria

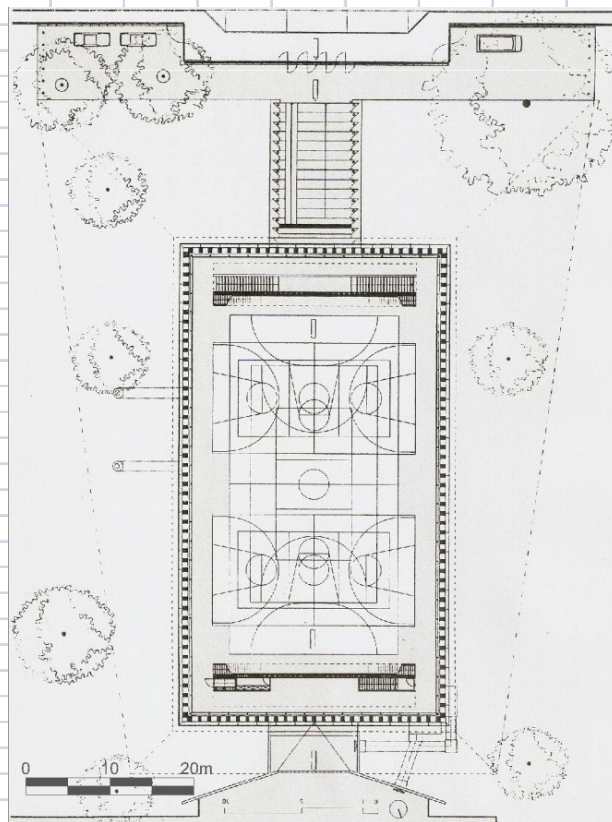


Figura 2 - Pianta del piano terra



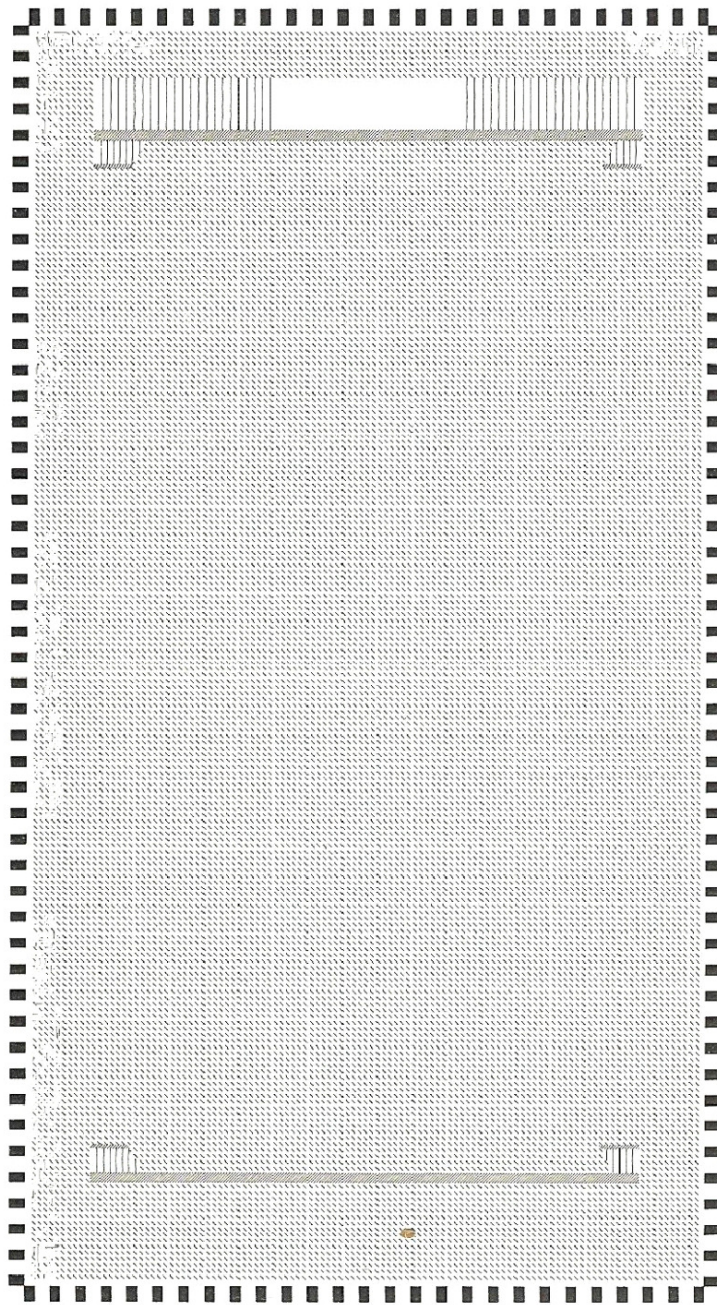


Figura 3 - Pianta (con sezione dei pilastri perimetrali)



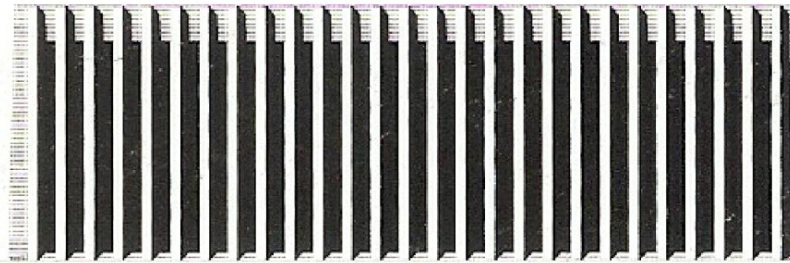


Figura 4 - Prospetto trasversale

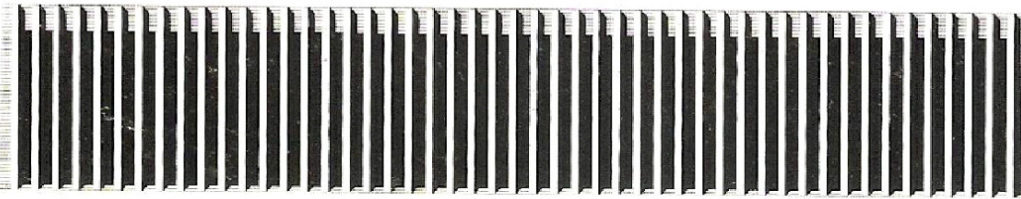


Figura 5 - Prospetto longitudinale

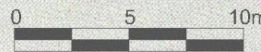
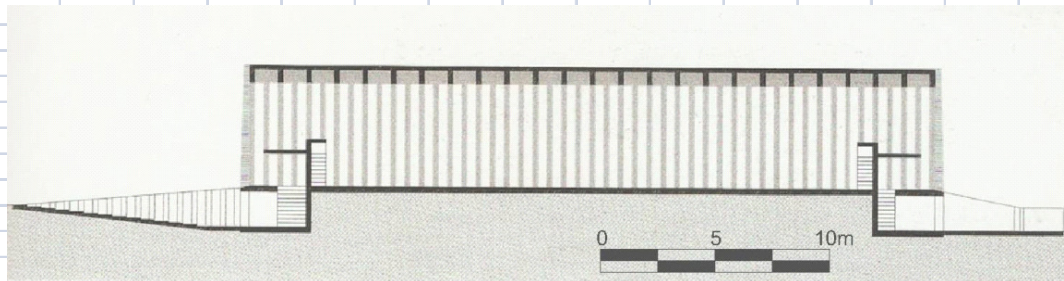


Figura 6 - Sezione trasversale

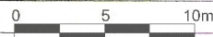
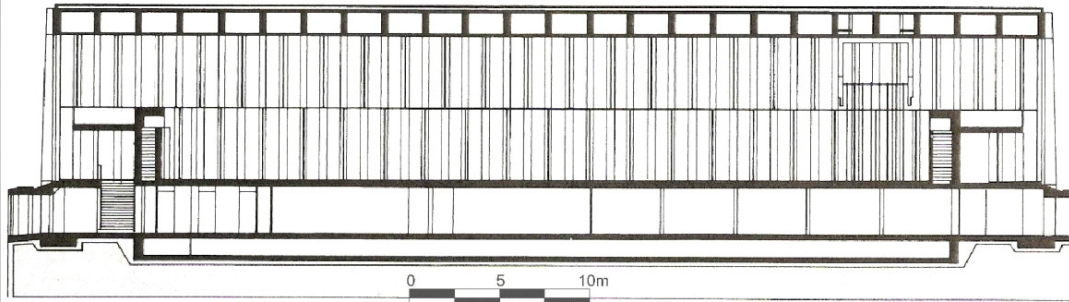


Figura 7 - Sezione longitudinale

B

PROGETTO

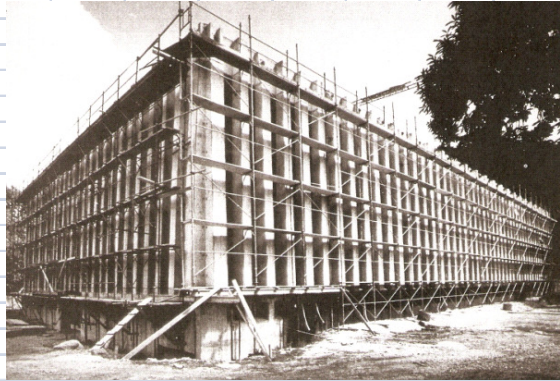


Figura 8 - Vista della struttura portante in costruzione



Figura 9 - Vista esterna



Figura 10 - Vista esterna notturna



Figura 11 - Vista interna

C DATI CONOSCITIVI						
	Progettista delle strutture		Andreotti + Partners; AGS di Gorini e Scheu; G. Ghidossi SA			
	Collaboratori al progetto architettonico		Mauro Vanetti, Marco Azzola			
	Tempi di realizzazione		24 mesi circa			
D CARATTERISTICHE DIMENSIONALI						
	Dati dimensionali	Volume	Altezza f.t.	Piani f.t.	S.L.P.	
		26500 m <sup>3</sup>	8 m	1	circa 1740 m <sup>2</sup>	
E CONCLUSIONI						
<p>L' utilizzo di una piastra nervata per questo progetto è stata al tempo stesso risolutiva dell' esigenza tecnica e di quella formale. Per esigenza tecnica intendo la necessità di coprire una grande superficie utilizzando solo gli appoggi perimetrali; infatti la destinazione funzionale in questione richiede proprio questo. Le luci sono elevate e per un campo di superficie rettangolare la piastra nervata si è rivelata ottimale. Inoltre l' abilità dell' architetto è stata quella di sfruttare al meglio l' immagine architettonica che scaturiva da una piastra nervata; le pareti sono diventate una serie di pilastri e il cassettonato dell' intradosso ha configurato quello che è lo spazio interno della palestra.</p>						
F FONTI						
	Bibliografia	Masiero, R., (1999), Livio Vacchini, opere e progetti. Electa, Milano, pp. 176-185.				
		Falasca, C.C., (2007), Incontro con Livio Vacchini su tecnologie e cultura del progetto. Franco Angeli s.r.l., Milano, Coronelli, D., (2010), Architettura e struttura esempi di meccanica e concezione. Patron Editore, Bologna, pp. 68-73.				
	Riviste	INDUSTRIA ITALIANA DEL CEMENTO n° 741 (1999), pp. 204-213.				
	Link	<a href="http://www.studiovacchini.ch/opere/27">http://www.studiovacchini.ch/opere/27</a>				

## Centro Commerciale Auchan di Cinisello Balsamo (MI)

Scheda		
5	<b>Centro Commerciale Auchan di Cinisello Balsamo</b>	
A	<b>INFORMAZIONI GENERALI</b>	
	<i>Città</i>	Cinisello Balsamo (MI) ITALIA
	<i>Indirizzo</i>	Via Panfilo Castaldi, 5
	<i>Anno di progettazione</i>	2003
	<i>Fine lavori</i>	ott-07
	<i>Destinazione Funzionale</i>	Commerciale
	<i>Committente</i>	Immobiliareuropea S.p.a. - MILANO
B	<b>PROGETTO</b>	
	<b>Il progetto architettonico</b>	
	<p>Si tratta di uno dei più grossi centri commerciali italiani, sorge a Cinisello Balsamo, a nord di Milano. Strategicamente collocato tra l'intersezione dell'autostrada A4 Torino-Venezia con la SS36, è l'ampliamento di un centro commerciale Auchan esistente. L'edificio è parte di un intervento che prevede la riqualificazione di una vasta area; attraverso la realizzazione di residenze ed aree verdi (Fig. 1 - elemento A). L'edificio ha una forma pressoché triangolare, (salvo il lato secondario che presenta sporgenze e rientranze) con un piano fuori terra, 2 piani ammezzati e un piano interrato (Fig. 5), viste le dimensioni è stato diviso per la sua progettazione in 7 corpi (Fig. 2). Nell'interrato (Fig. 3), piano terra e copertura sono ubicati i parcheggi; mentre nel primo piano si trova il centro commerciale (Fig. 4). Architettonicamente le facciate sono caratterizzate dalle rampe circolari per le automobili posizionate negli angoli dell'edificio; e dai pilastri esterni che sorreggono gli impalcati con delle mensole (Fig. 12).</p>	
	<b>La struttura</b>	
	<p>La scelta della tipologia strutturale e costruttiva per il complesso è stata oggetto di una lunga e approfondita analisi da parte del committente. Tutti i 145.000 mq dell'intervento hanno utilizzato il sistema con solai a piastra alleggeriti (Fig. 7) in polistirolo su pilastri (Fig. 6). La progettazione strutturale è stata pertanto eseguita in modo da ottimizzare l'utilizzo delle casseforme e permettere, con un accurato studio dei dettagli, la massima velocità di produzione in cantiere (Fig. 8). La soluzione scelta si è dimostrata essere quella di minimo costo rispetto ad una struttura prefabbricata.</p>	
	<p>La maglia dei pilastri e la loro dimensione non è costante, vista la complessità dell'edificio; mantiene però una certa regolarità, salvo in alcuni punti particolari. Nei piani parcheggio ci sono pilastri quadrati 100x100 cm, su una maglia rettangolare 15x7m. Nella zona commerciale invece si individuano 2 maglie principali; 21x15m e 15x14m. In corrispondenza delle scale mobili i pilastri assumono invece una sezione di 60x60cm.</p>	





Figura 1 - Planivolumetrico

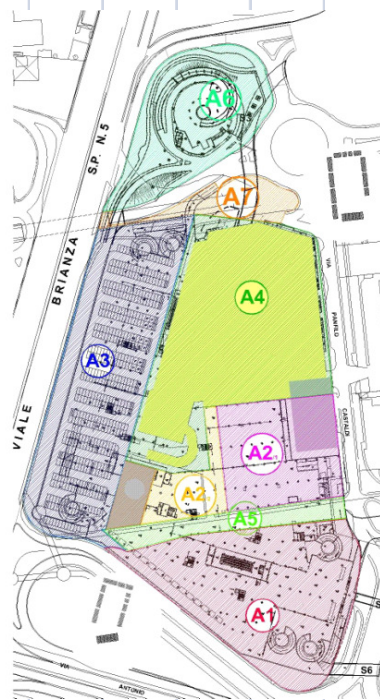


Figura 2 - Suddivisione dell' edificio in corpi

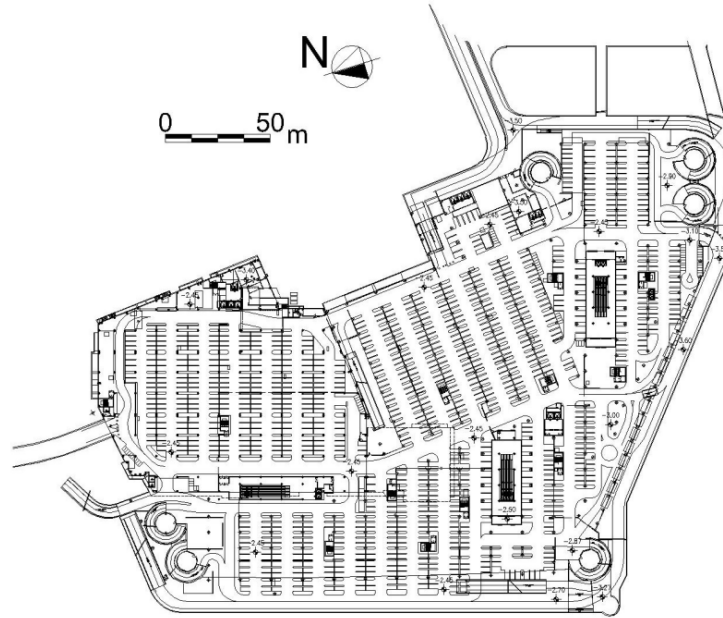


Figura 3 - Pianta piano interrato

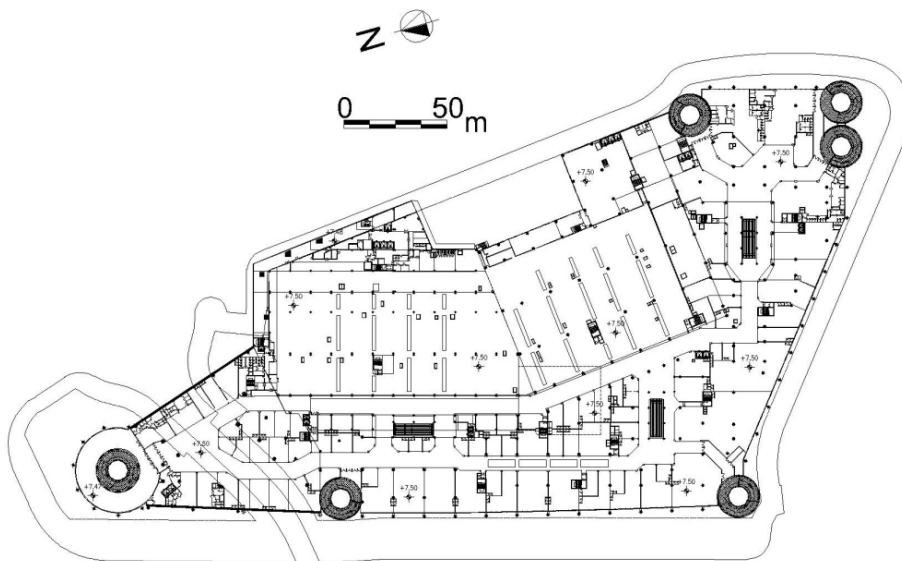


Figura 4 - Pianta primo piano

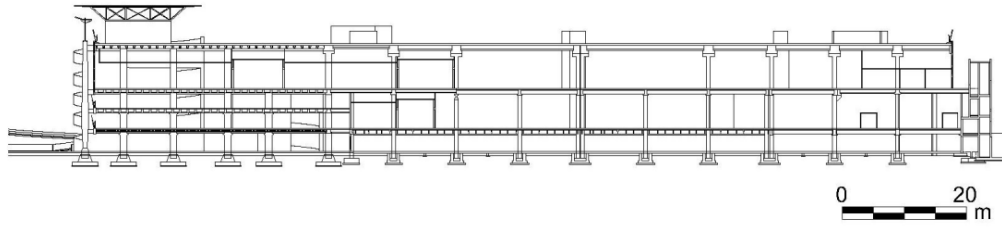


Figura 5 - Sezione tipo

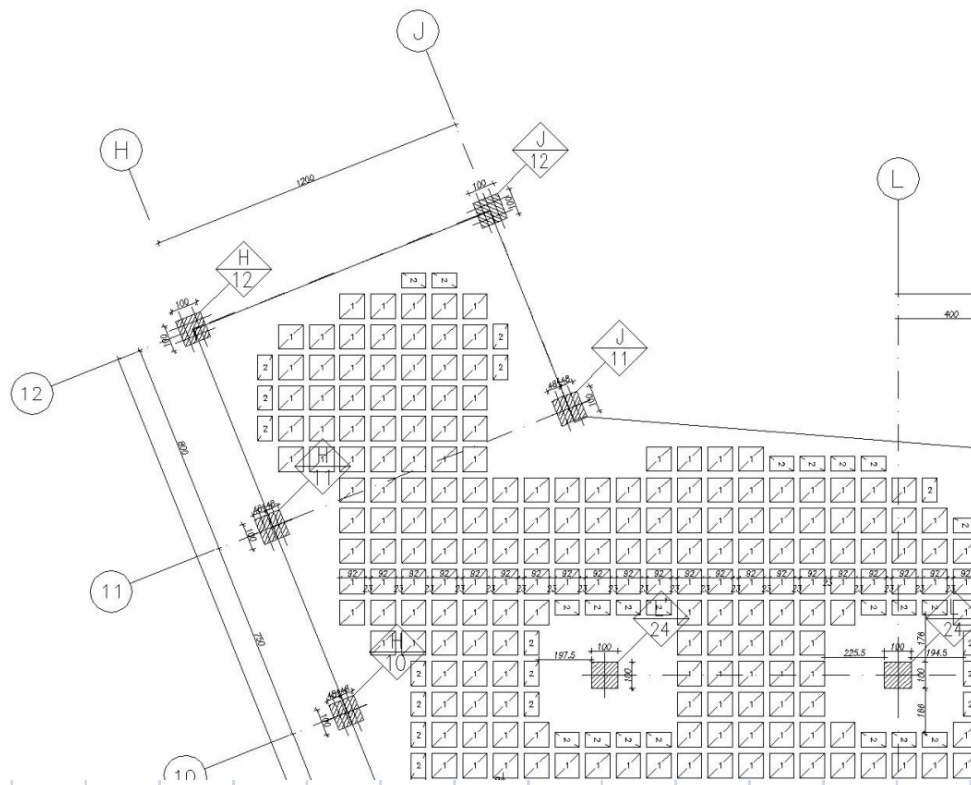


Figura 6 - Particolare della pianta del corpo 2, primo piano, alleggerimenti



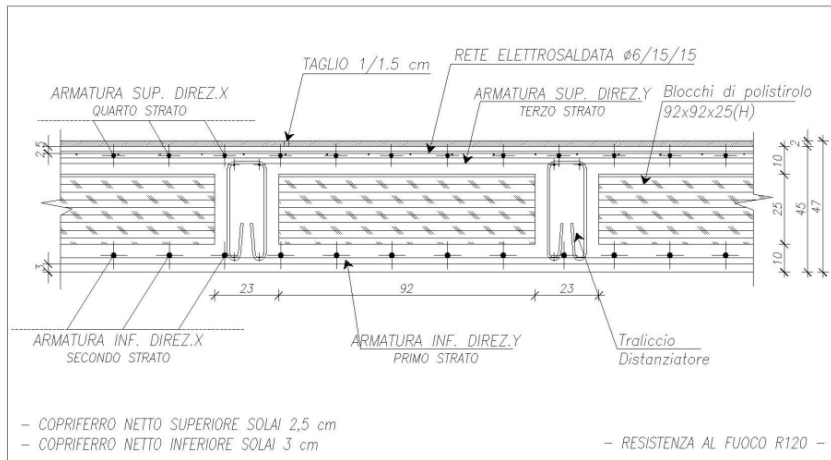


Figura 7 - Sezione del solaio del primo piano

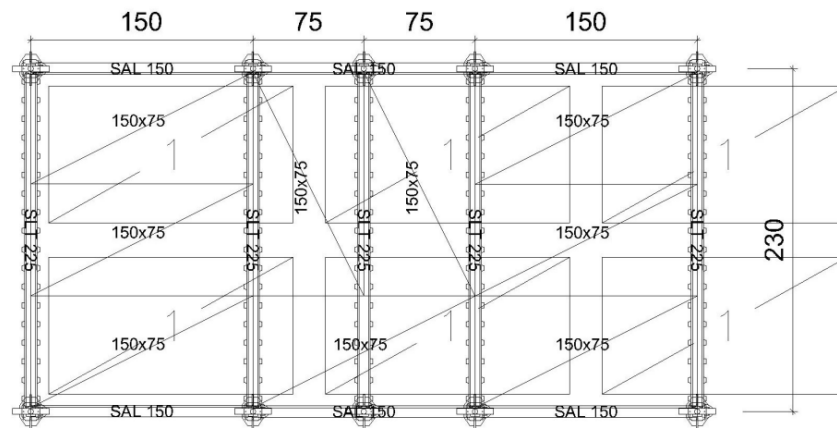


Figura 8 - Dettaglio della cassetatura



Figura 9 - Vista aerea del cantiere, cassetatura dell' ultimo impalcato



Figura 10 - Particolare della cassetta



Figura 11 - Vista interna dopo il disarmo dell' impalcato



Figura 12 - Vista aerea complessiva

C		DATI CONOSCITIVI			
	<i>Progettista delle strutture</i>	Ing. Valeria Lazzari e Ing. Francesco Iorio			
	<i>Superficie coperta</i>	46000 mq			
	<i>Impresa costruttrice</i>	COEL S.r.l. - BERGAMO			
	<i>Committente</i>	Immobiliareuropea S.p.a. - MILANO			
	<i>Progettisti esecutivi</i>	Arch. Corrado Rossetti e Arch. Fernanda Ferrario			
	<i>Direzione lavori</i>	Ing. Arch. Maria Galeazzo Conti per Conti Associati S.r.l.			
D		CARATTERISTICHE DIMENSIONALI			
	<i>Dati dimensionali</i>	<i>luce</i>	<i>Altezza f.t.</i>	<i>Piani f.t.</i>	
		fino a 21m	17.37m	4	
	<i>Dati tecnici</i>	<i>sistema strutturale</i>	<i>tipo piastra</i>	<i>spessore piastra</i>	
		piastra in c.a.	alleggerita	47cm	
E		CONCLUSIONI			
<p>Le dimensioni e la complessità dell'edificio non potevano prevedere una maglia univoca; la soluzione a piastra gettata in opera si è ben adattata a questa situazione; e si è dimostrata vincente per coprire velocemente grandi superfici; come è noto il sistema a piastra è vantaggioso per realizzare cicli continui di produzione. Si è rivelata vincente anche economicamente nei confronti di una struttura prefabbricata (soluzione costruttiva abbastanza tradizionale per questa destinazione funzionale), e capace di ottenere ampie luci nonchè di sostenere carichi elevati. Certamente non è questo il caso in cui all'impalcato a piastra era richiesto di soddisfare l'estetica architettonica; ma certamente dal punto di vista economico e realizzativo si è rivelato adatto al progetto in questione.</p>					
F		FONTI			
	<i>Monografie</i>				
	<i>Riviste</i>				
	<i>Link</i>	<a href="http://www.cinisello.gallerieauchan.it/">http://www.cinisello.gallerieauchan.it/</a> <a href="http://www.peri.it">http://www.peri.it</a>			

## Istituto di Design Zollverein - Essen (DE)

Scheda		
6	Istituto di Design Zollverein, Essen (DE)	
A	INFORMAZIONI GENERALI	
	<i>Progettista</i>	SANAA (Tokio), Heinrich Boll (Essen)
	<i>Città</i>	Essen (DE)
	<i>Indirizzo</i>	Zeche Zollverein, Gelsenkirchener Str. 209, D-45309 Essen
	<i>Anno di progettazione</i>	2001
	<i>Fine lavori</i>	2006
	<i>Destinazione Funzionale</i>	Istituto di Design
	<i>Committente</i>	Entwicklungsgesellschaft Zollverein, Essen
B	PROGETTO	
	<p><b>Il progetto architettonico</b></p> <p>Nella miniera di carbone, una volta la più grande del mondo, che nel frattempo è stata aggiunta nella lista UNESCO del «patrimonio culturale mondiale», emerge la nuova sede di Zollverein School of Management e Design (Fig.10). Il progetto dello studio di architettura SANAA (Kazuyo Sejima e Ryue Nishizawa) figurativamente è un cubo in calcestruzzo con lato di 35 m, forato da 150 finestre di varie dimensioni (Fig. 15). L'edificio presenta 5 piani fuori terra con altezze di interpiano comprese tra 3.60 e 10.50m (Fig. 7); essi riflettono le esigenze dei vari utenti, si tratta di piante libere molto flessibili.</p> <p><i>Destinazioni funzionali:</i></p> <p>Piano terra: caffetteria e sala conferenze</p> <p>Primo piano: spazio aperto e alto che ospita lo studio di progettazione</p> <p>Secondo piano: zone di lavoro, sale riunioni e biblioteca</p> <p>Terzo piano: aree di amministrazione raggiungibili attraverso un corridoio periferico lungo la facciata</p> <p>Quarto piano: tetto-giardino con spazio flessibile che prevede la possibilità di mostre temporanee</p> <p><b>La struttura</b></p> <p>Gli impalcati sono costituiti da lastre piane alleggerite; dello spessore di circa 50cm (Fig. 9). Questi sono supportati da due colonne interne in acciaio, dalle pareti interne dei corpi scala dalle pareti esterne di 30cm in cls; per delle campate che raggiungono i 17 m (Fig. 8). Il sistema di alleggerimento applicato è la tecnologia Cobiax; questa ha permesso di ridurre il peso proprio della piastra del 30%; si tratta di sfere cave di plastica annegate nello spessore della soletta. Agli angoli delle strutture di base e attorno ai pilastri interni, il carico di taglio risulta estremamente elevato; ciò ha richiesto l'inserimento di elementi in grado di resistere trasversalmente nonchè l'interruzione degli elementi di alleggerimento.</p>	

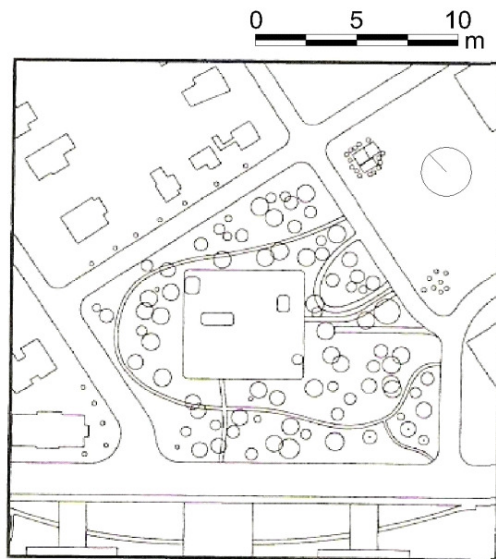
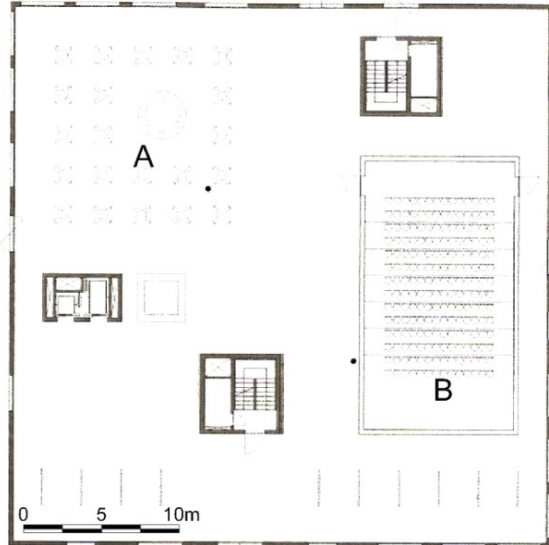
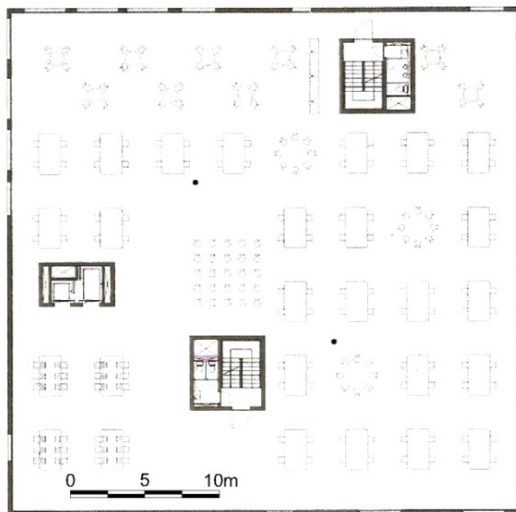


Figura 1 - Planimetria



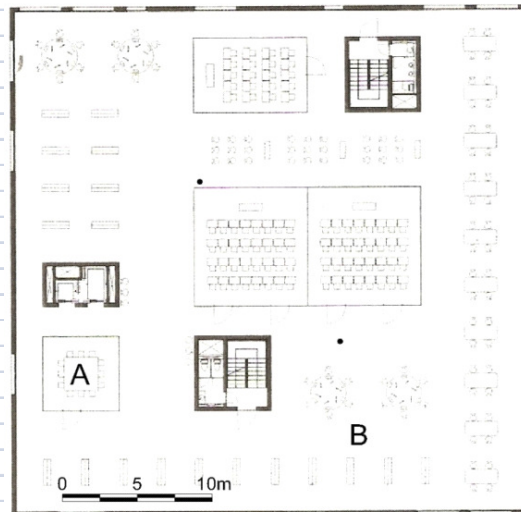
A - caffetteria  
B - sala conferenze

Figura 2 - Pianta piano terra



studio di progettazione

Figura 3 - Pianta primo piano



A - sala riunioni  
B - biblioteca

Figura 4 - Pianta secondo piano





A - aree di amministrazione  
B - corridoio periferico lungo la facciata

A - spazio per mostre  
B - pozzo di luce

Figura 5 - Pianta del terzo piano

Figura 6 - Pianta tetto-giardino

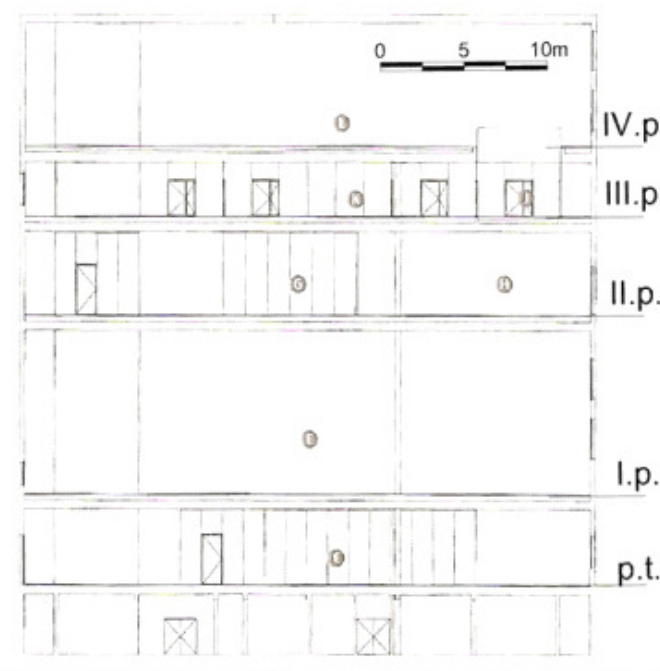
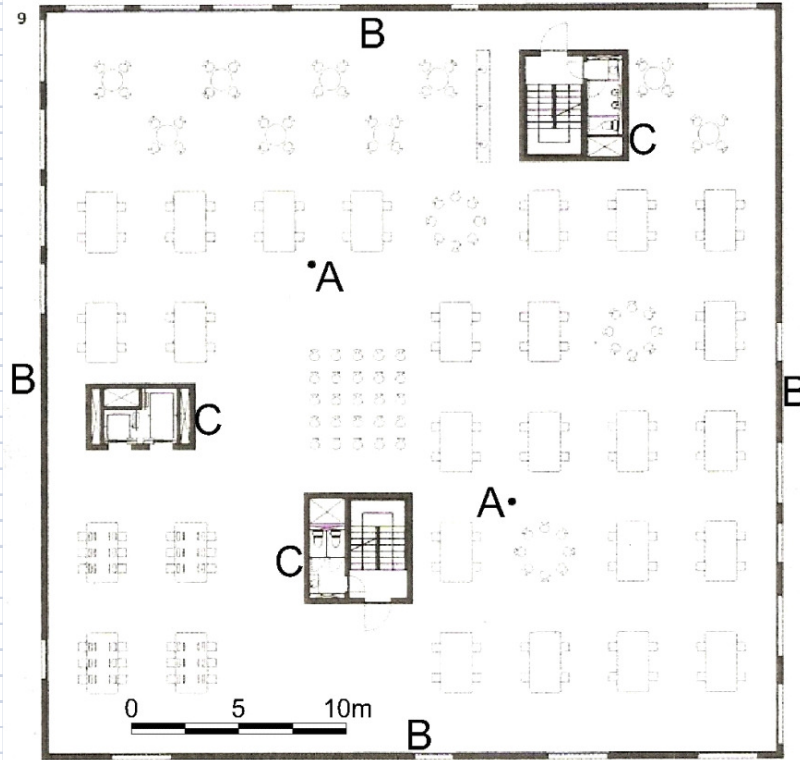


Figura 7 - Sezione



A - pilastri interni B - pareti esterne  
 C - pareti interne

Figura 8 - Pianta tipo - indicazione appoggi della soletta

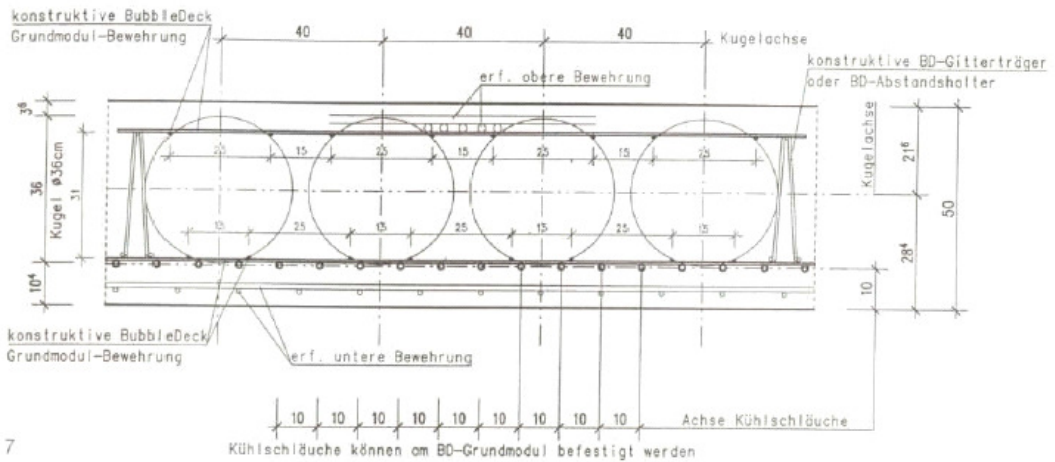


Figura 9 - Particolare costruttivo del solaio (cm)



B

PROGETTO

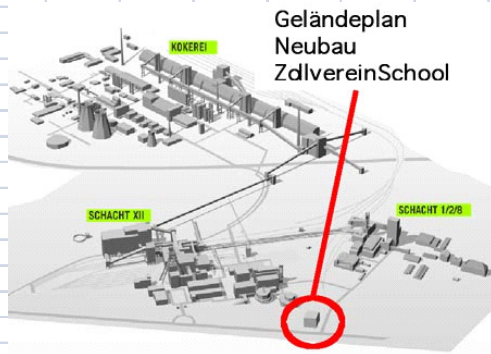


Figura 10 - Indicazione dell' area di intervento



Figura 11 - Plastico



Figura 12 - Vista interna durante la costruzione

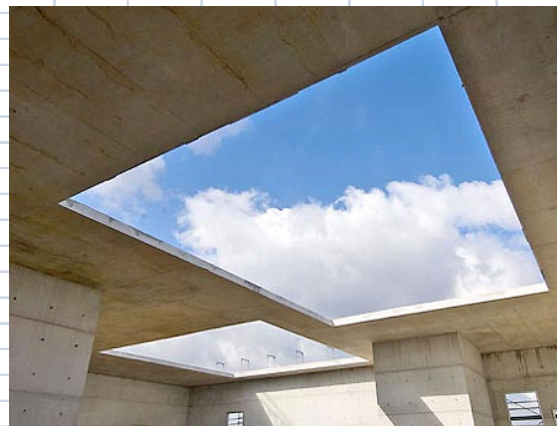


Figura 13 - Vista di un solaio durante la costruzione



Figura 14 - Fasi di getto di un solaio



Figura 15 - Vista esterna

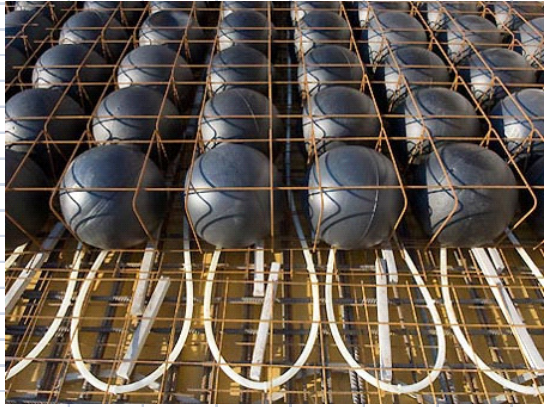


Figura 16 - Particolare degli elementi di alleggerimento



Figura 17 - Realizzazione di un solaio in corrispondenza di un pilastro



Figura 18 - Fase di getto di un solaio

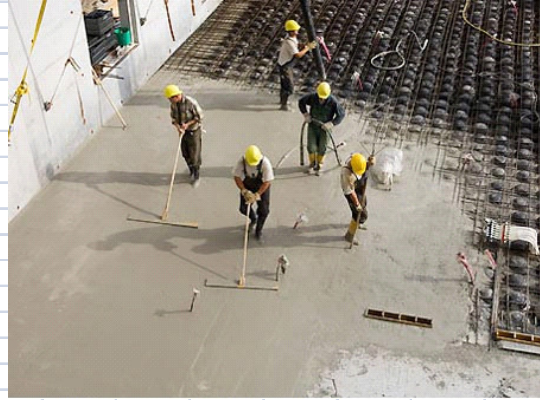


Figura 19 - Fase di getto di un solaio

C DATI CONOSCITIVI					
	<i>Progettista delle strutture</i>	SAPS, Bollinger and Grohmann, Frankfurt			
	<i>Superficie coperta</i>	7350 mq			
	<i>Impresa costruttrice</i>	COBIAX			
	<i>Area sito</i>	14694 mq			
	<i>Modalità d'appalto</i>	privato: Schäfer-Bauten, Ibbenbüren			
	<i>Committente</i>	Entwicklungsgesellschaft Zollverein GmbH			
	<i>Architetto</i>	Kazuyo Sejima + Ryue Nishizawa/SANAA			
	<i>Progetti</i>	Nicole Berganski, Osamu Kato, Andreas Krawczyk, Elding, Karen Schutz, Junya Ishigami, Hiroaki Kata			
	<i>Direzione lavori</i>	Drees and Sommer			
	<i>Ingegneria meccanica</i>	Transplan, Transsolar, Winter Ingenieure			
D CARATTERISTICHE DIMENSIONALI					
	<i>Dati dimensionali</i>	<i>Volume</i>	<i>Altezza f.t.</i>	<i>Piani f.t.</i>	<i>S.N.U.</i>
		40.000 m <sup>3</sup>	34 m	5	3600 m <sup>2</sup>
	<i>Dati tecnici</i>	<i>sistema strutturale</i>	<i>tipo piastra</i>	<i>spessore piastra</i>	<i>luce</i>
		COBIAX CBLM	alleggerita	50 - 52 cm	17 m
E CONCLUSIONI					
	<p>Le destinazioni d' uso di questo edificio e lo stesso progetto architettonico necessitavano di impalcati relativamente sottili, capaci di coprire grandi luci e al tempo stesso di sostenere un carico elevato. Queste necessità sono state risolte con un sistema di piastra alleggerita; che a permesso di ottenere un alto grado di flessibilità delle piante. Inoltre la soluzione adottata si è dimostrata la migliore come: qualità di superficie, costo, processi di produzione e possibilità di integrazione di impianti tecnici.</p> <p>Il progetto architettonico prevedeva degli spazi interni liberi il più possibile da elementi portanti, delle piante facilmente gestibili e riorganizzabili in futuro; nonché dei pozzi di luce al terzo piano, progettati affinché le singole zone degli uffici possano godere di un' adeguata illuminazione diurna e di diversi collegamenti visivi. La soluzione di impalcato a piastra alleggerita è strettamente legata a queste esigenze e si è rivelata molto adeguata alle destinazioni funzionali e al progetto in questione.</p>				
F FONTI					
	<i>Monografie</i>				
	<i>Riviste</i>	EL CROQUIS magazine n° 121 /122 dedicated to SANAA, 2004 LOTUS n°127 (2006), pp. 66-77 CASABELLA n° 749 (2006), pp.72-81 DOMUS n° 895 (2006), pp. 76-87 DETAIL 12/2005 p. 1466 - 1470			
	<i>Link</i>	<a href="http://www.cobix.com/html/italian/projects/de/project_1">http://www.cobix.com/html/italian/projects/de/project_1</a> <a href="http://www.zollverein-school.de/">www.zollverein-school.de/</a> <a href="http://www.sanaa.co.jp/">http://www.sanaa.co.jp/</a>			



## Ospedale Sant'Anna – Como

Scheda		
7	Ospedale Sant'Anna, Como	
A	INFORMAZIONI GENERALI	
	<i>Progettista</i>	Euro-Project
	<i>Città</i>	San Fermo della Battaglia (Como)
	<i>Indirizzo</i>	Via Ravona
	<i>Fine lavori</i>	30-nov-09
	<i>Destinazione Funzionale</i>	Ospedale
	<i>Committente</i>	Infrastrutture Lombarde
B	PROGETTO	
	<p><b>Il progetto architettonico</b></p> <p>Il nuovo ospedale Sant'Anna di Como è un'opera di grandi dimensioni e di vitale importanza per i paesi circostanti, architettonicamente è costituito da un elemento centrale che unisce fra loro quattro edifici distinti, che si prolungano perpendicolarmente verso la valle che accoglie l'edificio (Fig. 1). La realizzazione prevede inoltre la costruzione di un parcheggio multipiano che ospiterà ben 1.500 posti auto; si tratta di una delle opere più importanti di questi anni, realizzate nella Provincia di Como. Nato intorno al concetto secondo il quale il cittadino deve essere al "centro del sistema sanitario" il nuovo complesso ospedaliero, oltre ad un occhio di riguardo verso le nuove tecnologie, pone notevole attenzione alle esigenze di personalizzazione, umanizzazione, comfort e sicurezza delle prestazioni sanitarie.</p> <p>L'intervento occupa una superficie lorda di 80.000 mq in cui trovano spazio:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 545 posti letto destinati a degenza ordinaria</li> <li>• 55 posti letto destinati all'area critica</li> <li>• 54 posti letto tecnici</li> <li>• 16 sale operatorie</li> <li>• 2.000 mq destinati a laboratori diagnostici</li> <li>• 2.500 mq destinati a diagnostica radiologica</li> <li>• 3.200 mq destinati ad attività di medicina nucleare e radioterapia</li> <li>• 27 impianti elevatori</li> </ul> <p>Cinque piani, per 4 diramazioni:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• livello 0 = servizi</li> <li>• livello 1 = diagnosi e cura</li> <li>• livello 2 = accoglienza (Fig. 2)</li> <li>• livello 3 = degenza 1</li> <li>• livello 4 = degenza 2</li> </ul> <p>Il tutto inserito in un contesto naturale ricco di aree verdi, delle quali è previsto l'incremento con la piantumazione di idonee essenze a basso tasso allergologico.</p> <p>L'intero compendio del nuovo ospedale occupa 22 ettari di terreno.</p>	

B	PROGETTO
	<p><b>La struttura</b></p> <p>Il terreno sui cui si è costruita l' opera ha necessitato di una palificazione dell' area e la realizzazione di una platea, che ha unito i pali con un getto unico di 50 cm di calcestruzzo; inoltre la necessità di ambienti salubri per la degenza dei pazienti ha portato la progettazione alla scelta della realizzazione di un vespaio ventilato al di sotto dei pavimenti del nosocomio. La struttura di elevazione è composta da solai a piastra precompressi a spessore in cemento armato interamente gettato in opera; che poggiano su un sistema misto di pilastri e muri sempre in calcestruzzo gettato in opera. Vista la mole dell' edificio sono stati progettati 8 settori divisi dai giunti di contrazione (Fig. 10).</p> <p>spessore dell' impalcato = tra 26 e 36cm</p> <p>maglia strutturale = 7,50x7,50m</p> <p>dimensione della colonna = 70x70cm</p> <p>spessore muri = tra 80 e 140cm</p> <p><i>Quantitativi di calcestruzzo:</i>  Calcestruzzi non strutturali per preparare il terreno di fondazione (particolarmente ricco d'acqua) = 11.500 mc  Fondazioni e palificazioni = 66.000 mc  Strutture di elevazione (pilastri, muri e solai) = 69.000 mc  Per la tipologia del cantiere e per i criteri di lavorazione scelti, oltre il 70% del calcestruzzo fornito è stato messo in opera tramite pompaggio.</p>

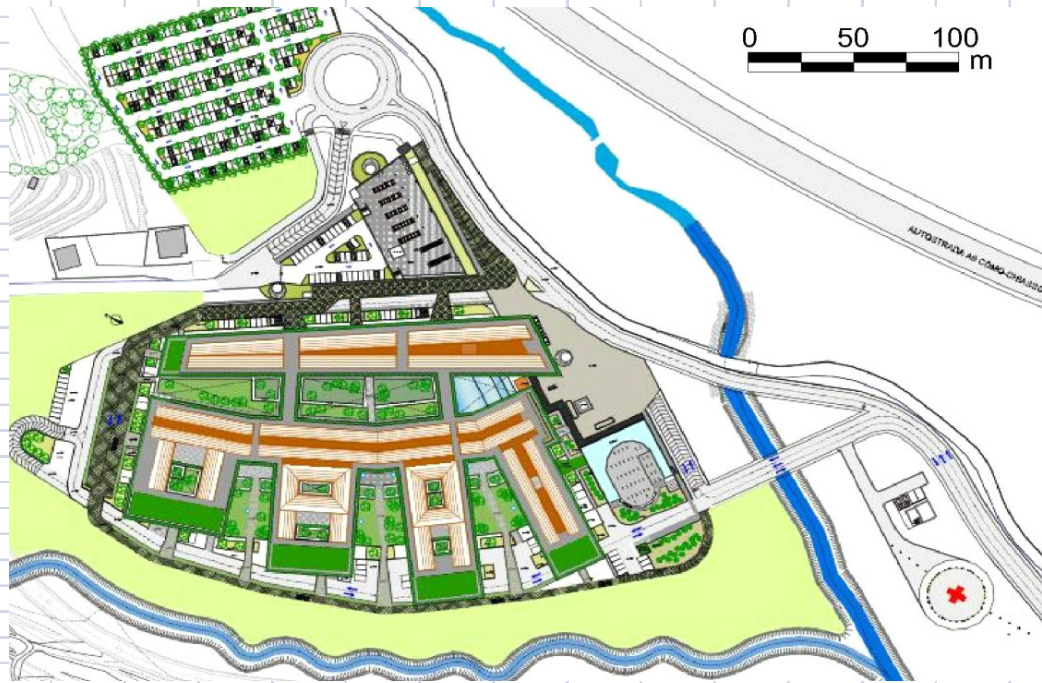


Figura 1 - Planimetria generale

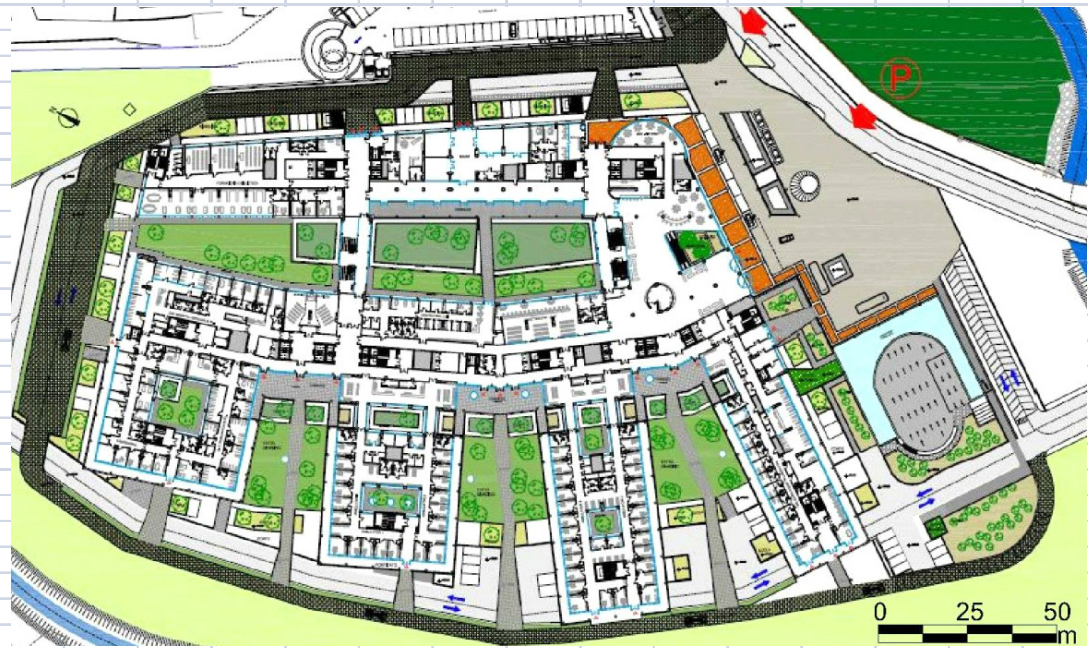


Figura 2 - Pianta livello 2 - ingresso





Figura 3 - Sezione A-A

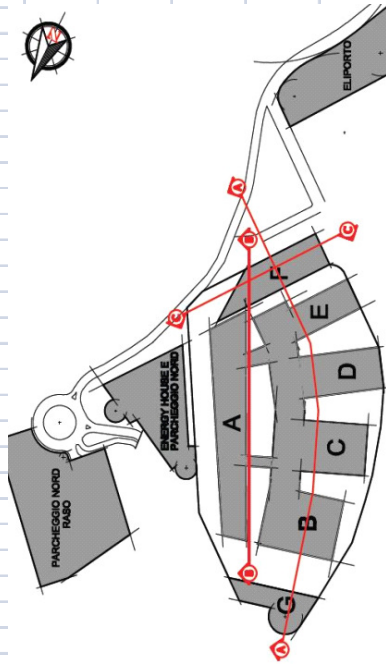


Figura 4 - Pianta di riferiment

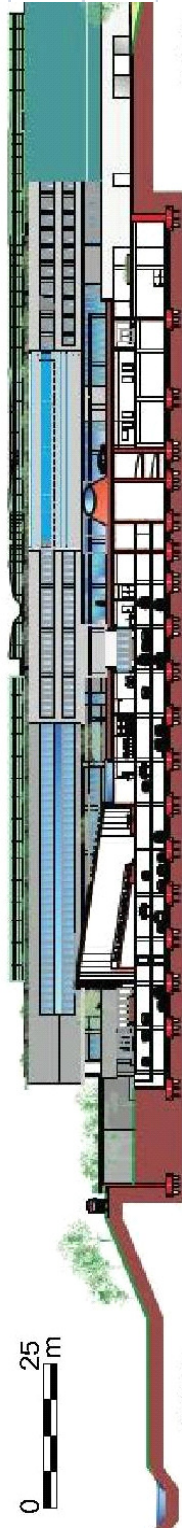


Figura 5 - Sezione C-C

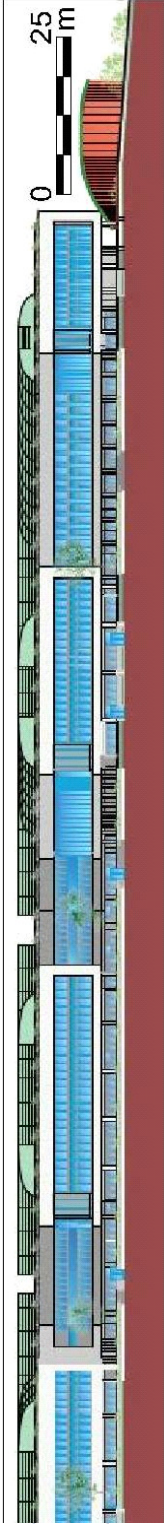


Figura 6 - Prospetto ovest

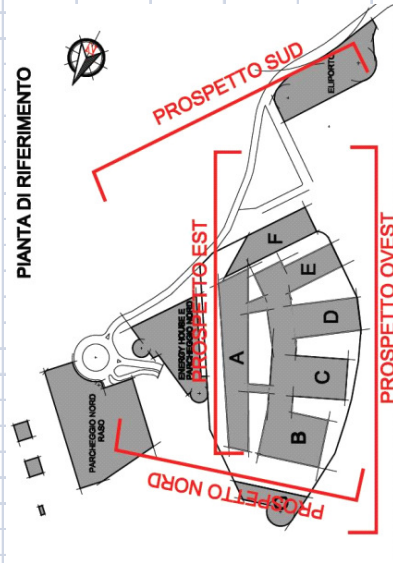


Figura 7 - Prospetto nord

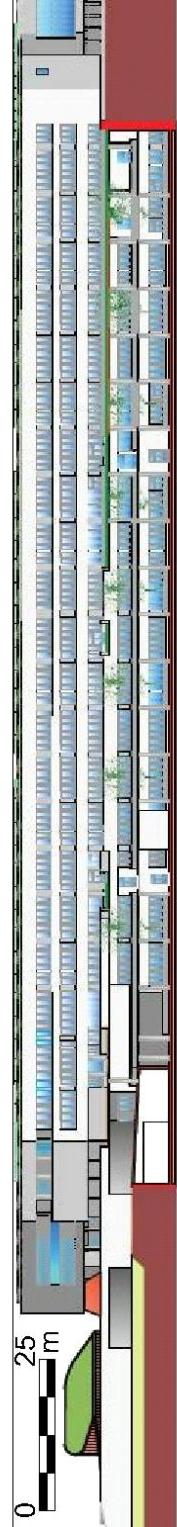


Figura 8 - Prospetto est

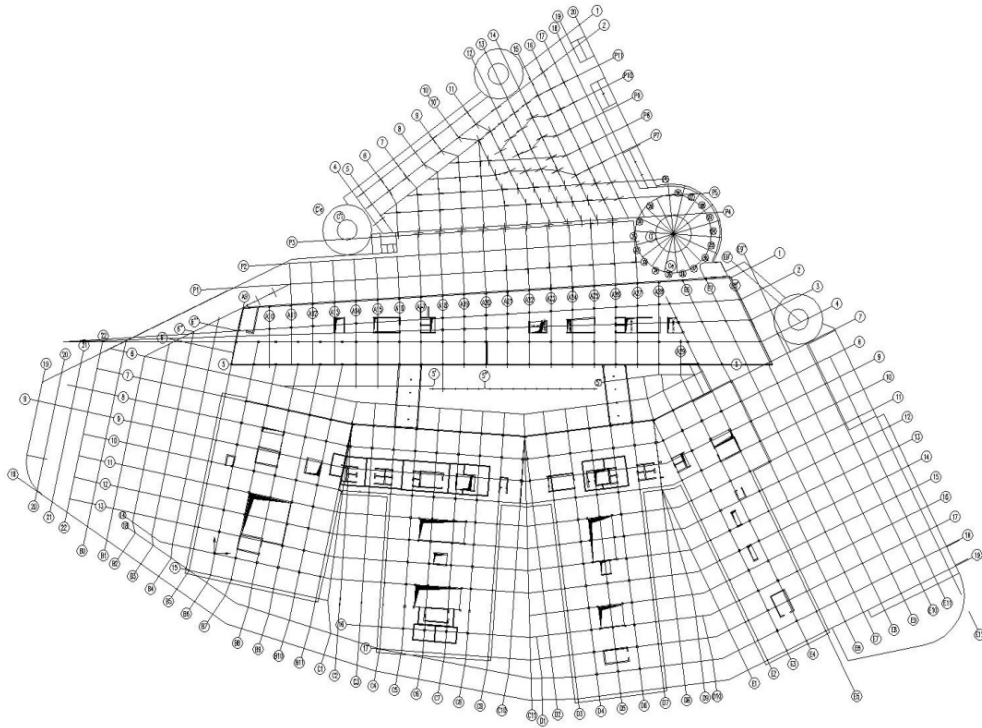


Figura 9 - Maglia strutturale dell' intero complesso

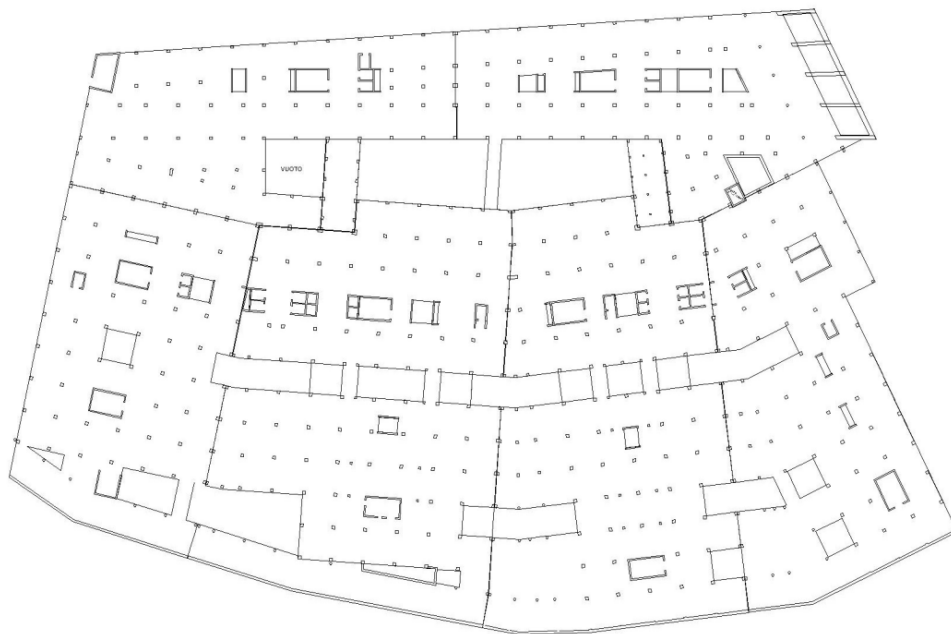


Figura 10 - Giunti di contrazione del solaio a livello 0 dell' ospedale



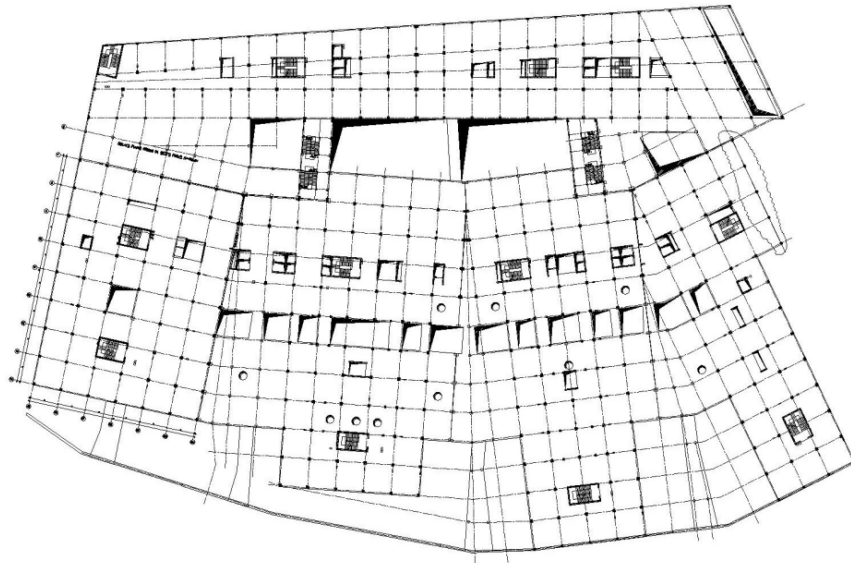


Figura 11 - Maglia strutturale del I piano dell' ospedale (7.50x7.50m)

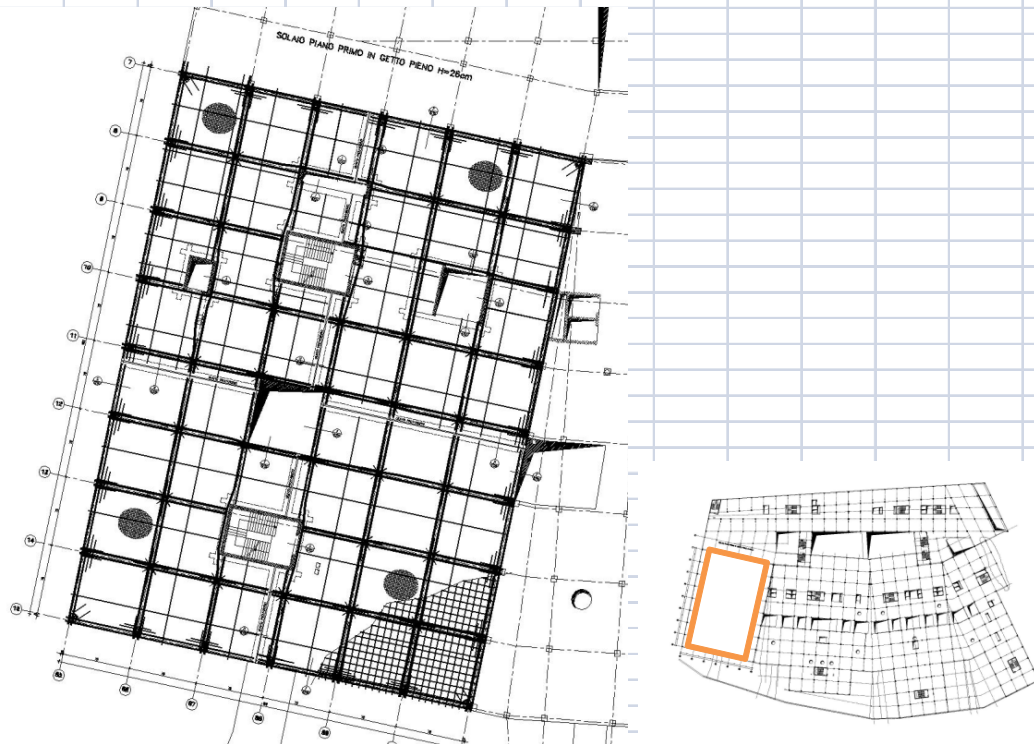


Figura 12 - Particolare del primo blocco del I piano

Particolari dell' armatura lenta

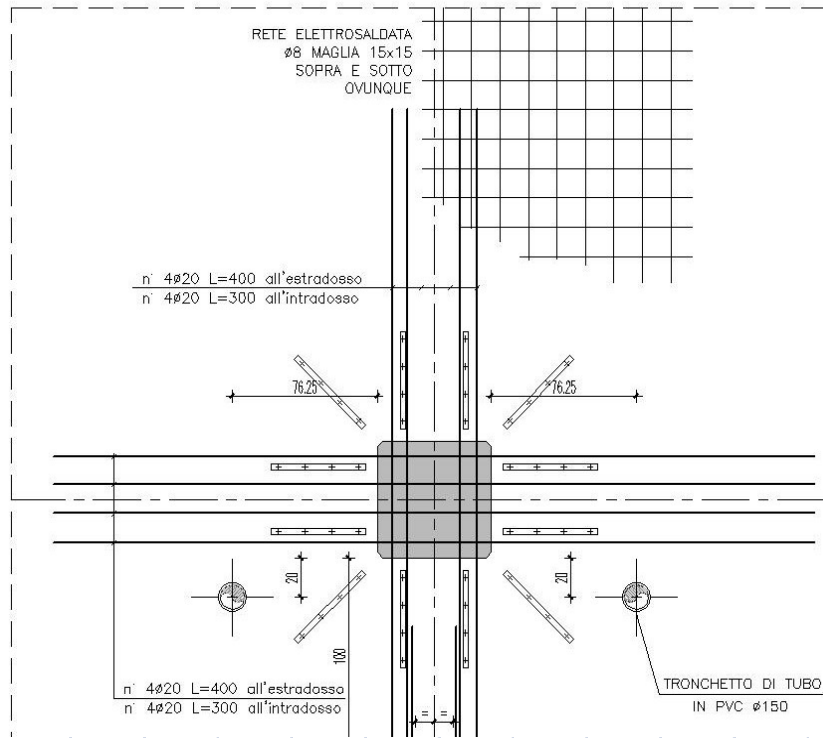


Figura 13 - Stralcio pianta di armatura pilastro intermedio del quarto piano

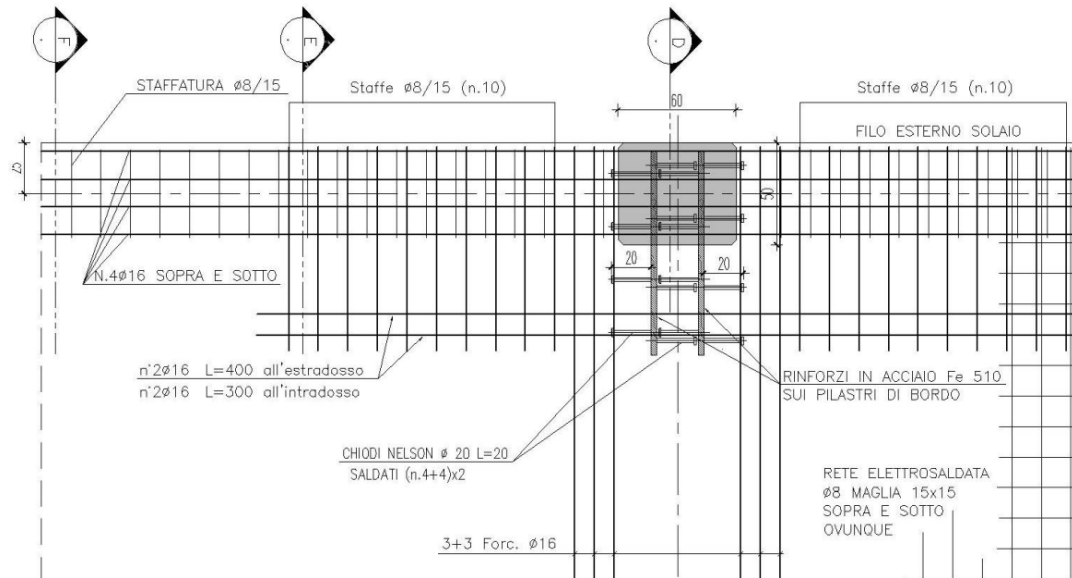


Figura 14 - Stralcio pianta di armatura pilastro di bordo del quarto piano

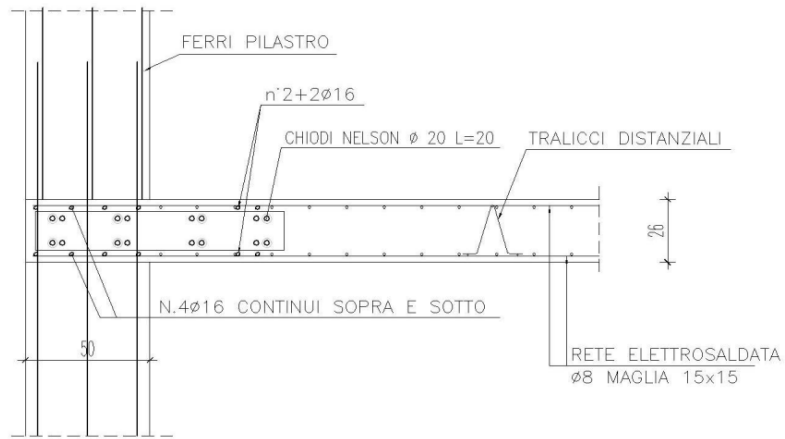


Figura 15 - Sezione D - dal precedente stralcio di pianta

**Particolari dell' armatura di post-tensione**

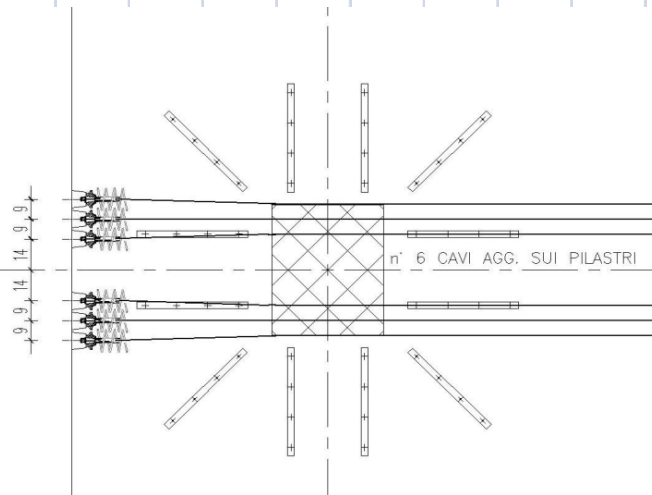


Figura 16 - Armatura pilastro del III piano - particolare testate

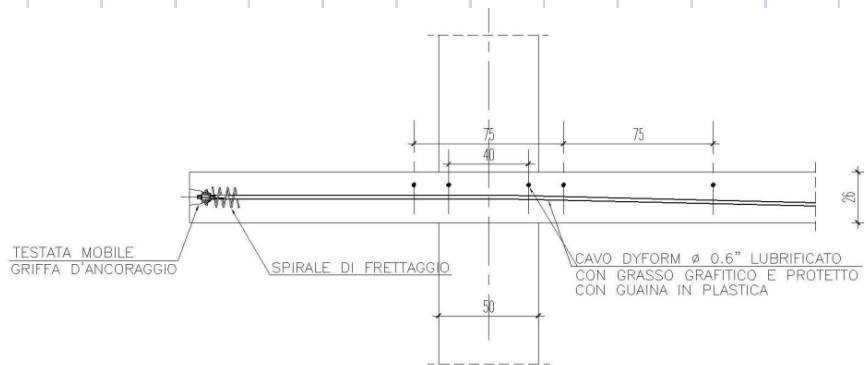


Figura 17 - Sezione testa di tiro - pilastro del III piano





Figura 18 - Fase di getto della platea di fondazione



Figura 19 - Passaggio dei cavi post-tesi



Figura 20 - Panoramica sullo stato di avanzamento dei lavori



Figura 21 - Panoramica del cantiere nelle fasi finali



C		DATI CONOSCITIVI				
	Team Progettuale	Direttore Lavori: Ing. F. De Probizer; Direttore Tecnico Operativo: Ing. Robuschi – S.A.N.CO; Capo cantiere: Geom. Gentilini – GDM Costruzioni				
	Progettista degli impianti	Aster Associate Ternoimpianti SpA				
	Impresa costruttrice	S.A.N.CO Soc. Coop Arl				
	Tipo di finanziamenti	project financing				
	Tempi di realizzazione	2007-2009				
D		CARATTERISTICHE DIMENSIONALI				
	Dati dimensionali	S.L.P.	Altezza f.t.	Piani f.t.		
		circa 105.000m <sup>2</sup>	22m	5		
E		CONCLUSIONI				
	<p>L' utilizzo dell' impalcato a piastra precompressa a spessore costante per questo progetto è stata una scelta vantaggiosa sotto molti aspetti e capace di soddisfare tutte le esigenze in gioco legate alle destinazioni funzionali di una struttura ospedaliera. Il fatto di essere a spessore costante ha permesso con facilità il passaggio dei numerosi elementi impiantistici; Il suo veloce sistema realizzativo ha permesso di diminuire i tempi di esecuzione, (il cronoprogramma prevede 14 mesi) tutti gli impalcati sono stati gettati in 12 mesi - recuperando così 2 mesi di ritardo accumulati nella realizzazione delle fondazioni. Il sistema della piastra in fase realizzativa è vantaggioso per realizzare cicli continui di produzione, utile come in questo caso quando si hanno molti mq di impalcato da gettare; Inoltre la precompressione ha permesso di diminuire lo spessore dei solai, diminuendo così il peso dell' intera struttura - fattore di notevole importanza per edifici di grande mole.</p>					
F		FONTI				
	Monografie	Regione Lombardia, (2009), Como - Nuovo Ospedale Sant'Anna. Arti Grafiche Fiorin, San Giuliano Milanese (MI).				
	Riviste					
	Link	<a href="http://www.infobuild.it">www.infobuild.it</a> <a href="http://www.peri.it">www.peri.it</a> <a href="http://www.progettosantanna.com">www.progettosantanna.com</a>				

## 5.4 Considerazioni riassuntive

La tabella 1 riassume le caratteristiche tipologiche, dimensionali e le finalità del sistema a piastra per ogni singolo progetto.

n° progetto	Progetto	Tipo di appoggio	Tipologia	Luci coperte (m)	Rapporto spessore/luce	Finalità principale della piastra in questo progetto
1	Polo Direzionale "De Cecco" (Terziario)	Pilastrri	Spessore costante post-teso	12	1/40	Spazi flessibili e soddisfare l' estetica architettonica
2	Stabilimento Armitalia (Industriale)	Travi	Spessore costante	8.75	1/50	Ampie luci e un' illuminazione zenitale
3	Uffici e abitazioni – Ginevra (Residenziale e commerciale)	Pilastrri e pareti	Spessore costante	5.40	1/25	Un unico sistema di solaio per le diverse situazioni
4	Palestra Polivalente – Losone (Palestra)	Fitti pilastrri perimetrali	Nervata post-tesa	31	1/22	Ampie luci e soddisfare l' estetica architettonica
5	Auchan (Centro Commerciale)	Pilastrri	Alleggerita	21	1/40	Velocità realizzativa ed economicità
6	Istituto di Design Zollverein (Polifunzione)	Pilastrri e pareti	Alleggerita	17	1/30 -1/35	Spazi flessibili e soddisfare l' estetica architettonica
7	Ospedale Sant'Anna (Ospedale)	Pilastrri	Spessore costante post-teso	7.5	1/25	Velocità realizzativa e facilitare il passaggio degli impianti

**Tabella 1** Caratteristiche tipologiche, dimensionali e finalità della piastra per ogni progetto

Si nota molta congruenza nel rapporto tra la destinazione funzionale, la tipologia di piastra e il tipo di appoggio. Il rapporto spessore/luce risulta molto basso; questo è dovuto al fatto che molti di questi progetti hanno utilizzato la tecnologia della post-tensione.

Nella tabella 2 invece si analizzano altre caratteristiche della piastra e il suo rapporto con lo spazio funzionale.

n° progetto	Destinazione funzionale	Irregolarità della griglia	Presenza di fori nell'impalcato	Grado di accoppiamento tra struttura e funzione	Sviluppo dello spazio
1	Terziario			Molto basso	bidirezionale
2	Industriale			alto	bidirezionale
3	Residenziale e commerciale			basso	lineare
4	Palestra			alto	neutro
5	Centro commerciale			alto	lineare
6	Polifunzione			Molto basso	neutro
7	Ospedale			basso	lineare

**Tabella 2** Caratteristiche della piastra in rapporto allo spazio architettonico del progetto



La tabella 3 mette a confronto i progetti tra loro, individuando le caratteristiche comuni evidenziate nelle tabelle precedenti.

	Terziario	Industriale	Residenziale e Commercio	Palestra	Centro Commerciale	Polifunzionate	Ospedale
Terziario							
Industriale	Tipologia di sviluppo dello spazio						
Residenziale e Commerciale							
Palestra	Rapporto s/l – Finalità principale	Accoppiamento struttura funzione					
Centro Commerciale	Rapporto s/l	Accoppiamento struttura funzione	Tipologia di sviluppo dello spazio	Accoppiamento struttura funzione			
Polifunzionate	Finalità principale – Accoppiamento struttura funzione		Rapporto s/l	Finalità principale e tipologia di sviluppo dello spazio			
Ospedale			Rapporto s/l – Accoppiamento struttura funzione – Tipologia di sviluppo dello spazio		Tipologia di sviluppo dello spazio e finalità principale	Rapporto s/l	

**Tabella 3** Caratteristiche comuni tra i progetti

## 5.5 L'immagine architettonica

Oltre a considerare le capacità tecnico strutturali che sicuramente hanno contribuito alla scelta della piastra per i progetti considerati, ho identificato anche altri elementi, meno tecnici che possono influire sulla scelta della soluzione strutturale. Grandi spazi, capacità di libero movimento, flessibilità funzionale, e quindi possibilità di poter facilmente cambiare destinazione d'uso di una singola parte dell'edificio, come di più parti, nonché luminosità e composizione architettonica. In merito a quanto detto approfondiamo ora tre dei progetti analizzati.

### *Polo Direzionale "De Cecco" - Nuova sede FATER spa - Pescara*

La singolare particolarità dell'edificio progettato dall'architetto M. Fuksas di avere grandi forature negli impalcati, non è stato ostacolato dall'uso della soluzione a piastra, tutt'altro. La presenza di fori nei solai e di grandi luci e aggetti in gioco (si hanno sbalzi di circa 5 m) ha portato a realizzare un solaio post-teso riducendo di molto lo spessore della soletta in calcestruzzo.

La struttura modulare, con cui l'edificio è stato concepito, consente un'organizzazione flessibile degli spazi interni in vista dei futuri cambiamenti della distribuzione. A questo scopo c'è una netta separazione tra elementi strutturali e partizioni interne leggere degli uffici. Allo stesso tempo i bagni, gli ascensori, le scale ed i cavedi si concentrano nel nucleo centrale così da dare possibilità di configurazioni diverse ai vari piani. Il tutto fa raggiungere prospettive e volumetrie altamente variabili all'interno di una maglia modulare estremamente rigorosa.

### *Palestra Polivalente - Losone (CH)*

In questo progetto dell'architetto L. Vacchini il sistema della piastra nervata ha giocato un ruolo fondamentale sia per ottenere lo spazio libero necessario alla funzione dell'edificio, che per caratterizzarlo architettonicamente. L'edificio esternamente è un corpo compatto percepito quasi come un solido pieno, impenetrabile – grazie agli elementi di supporto della piastra, un ibrido tra parete e colonnato. In realtà una volta all'interno svela la sua leggerezza e luminosità, con lo spazio scandito dalle nervature della piastra.

*Istituto di Design Zollverein - Essen (DE)*

Il cemento armato può sprigionare nel progettista una grande libertà espressiva, come è successo in questo progetto. Questa libertà incitata dall'utilizzo di una soluzione in opera a piastra alleggerita (che riduce la quantità di calcestruzzo conservando le proprietà statiche) permette un ulteriore grado di libertà nella progettazione delle strutture in calcestruzzo; nonché un elevato valore aggiunto sottoforma di spazi liberi e vantaggi economici ed ecologici. Garantisce allo stesso tempo aspetti estetici e di luminosità con il massimo sfruttamento della superficie. Il risultato in questo caso è una costruzione solida e al tempo stesso leggera, con più di 150 finestre che danno un'idea di trasparenza sia all'interno che all'esterno, un'intelligente flessibilità architettonica grazie anche alle grandi luci.

## 5.6 Il caso irregolare

Come è già stato detto il sistema dell' impalcato a piastra permette di lavorare bene anche su appoggi irregolari; su maglie di pilastri, su pareti oppure sistemi misti. I vantaggi nell' utilizzare un sistema a piastra in questa situazione riguardano prevalentemente il suo funzionamento statico. Questa possibilità permette una maggiore libertà nel progetto architettonico e le necessità di adottarla possono essere molteplici. In questa sezione verranno analizzati sia due esempi applicativi che due casi di studio, con la finalità di individuare le possibilità applicative delle piastre su appoggi irregolari e le necessità che il sistema riesce a soddisfare.

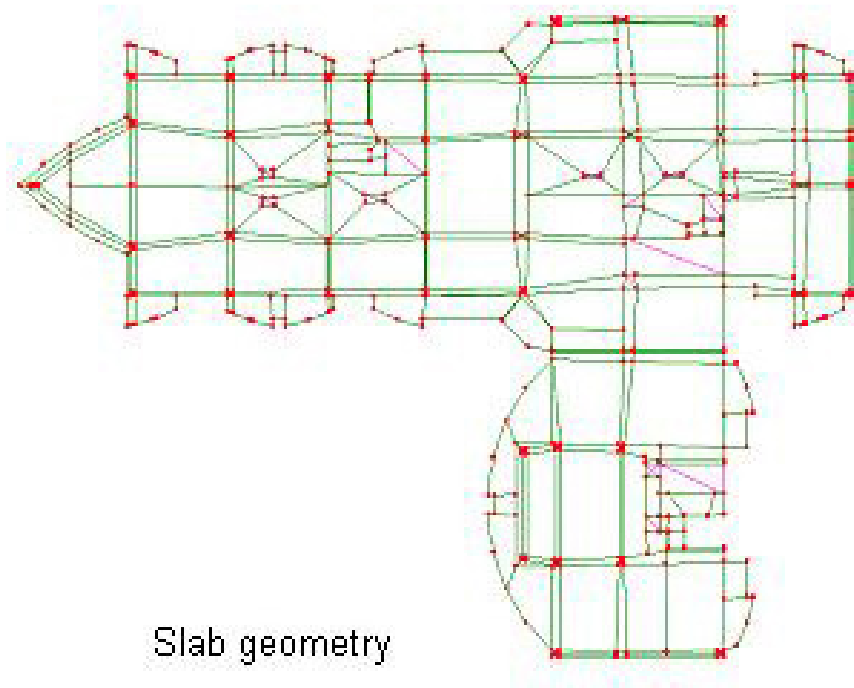
### *St George Wharf, Londra*

St George Wharf è un edificio polifunzionale che comprende uffici, negozi, un hotel e residenze; si affaccia sul fiume Tamigi vicino al ponte Vauxhall a Londra. E' caratterizzato da una struttura di torri che per una parte non svettano, ma scendo a gradoni verso il fiume terminando con una forma che ricorda la prua di una nave (Fig. 8).



**Figura 8** Vista fotografica del complesso (<http://www.marble-mosaic.co.uk>)

L'edificio ha una struttura in c.a e la complessità architettonica dei piani ha portato ad un modello di analisi strutturale differente per ogni piano. Si tratta di impalcati a piastra che poggiano su una maglia di pilastri abbastanza irregolare (Fig. 9); insolito è il fatto che i progettisti strutturali abbiano usato due modelli differenti e ne hanno sommato i risultati (approssimando il materiale per eccesso), hanno preso il momento massimo in campata nel modello con cerniere; e il momento massimo negativo agli incastri nel modello con trave incastrata.

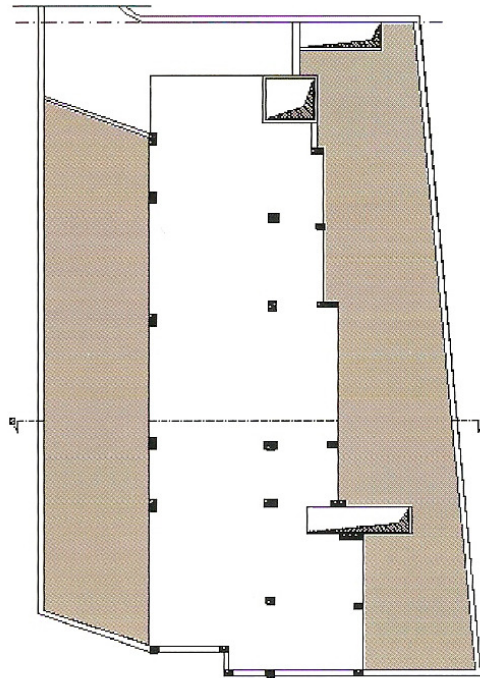


**Figura 9** Geometria dell' impalcato e posizione dei pilastri (CONSTRUCTION RESEARCH COMMUNICATIONS BRE report 422. Approaches to the design of reinforced concrete flat slabs by R. Moss, London 2001) - disegno fuori scala-

### ***Edificio residenziale, Gessate (MI)***

Si tratta di una palazzina situata in una zona residenziale limitrofa al centro di Gessate (MI); è caratterizzata da quattro piani fuori terra ad uso abitativo e un piano interrato adibito ad autorimessa. Si tratta di un intervento piccolo (560mq la superficie del solaio) che confina con altre proprietà residenziali e la maglia dei pilastri presenta alcune irregolarità (Fig. 10); per questi motivi il sistema della piastra si è rivelato adatto. La porzione di verde condominiale richiesta dagli standard urbanistici, è garantita dal reinterro di parte del solaio al piano terra (18cm di spessore); che corrisponde ad un salto di quota nella soletta di 37cm.

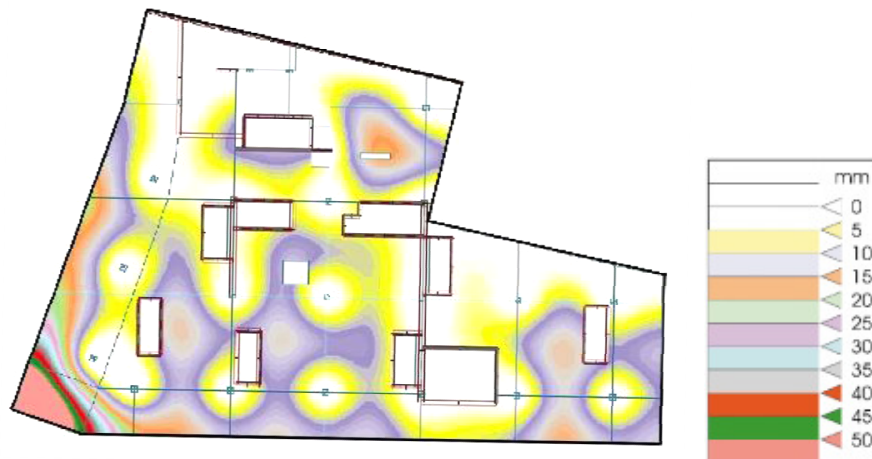




**Figura 10** Pianta: è evidenziata la zona adibita a verde condominiale (PUBBLICAZIONE PERI edizione 1/03, pp. 31. *Solai in opera con tecnologia Peri – Recenti realizzazioni in italia*) –disegno fuori scala-

### **Caso di studio 1**

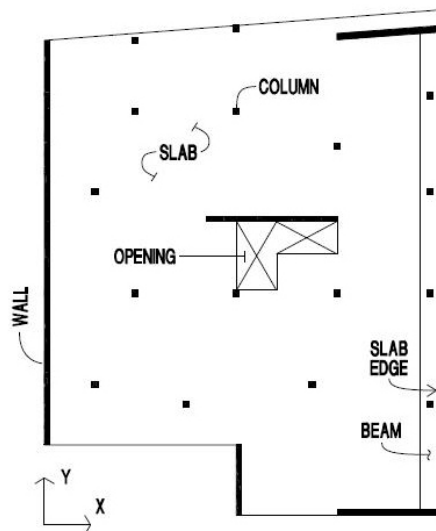
La piastra in questione è caratterizzata da grandi bucature, da una forte irregolarità geometrica del perimetro e una irregolarità della maglia strutturale dei pilastri (Fig. 11). Si tratta di un' analisi agli elementi finiti realizzata con il software SAFE; questo esempio mostra bene le potenzialità dagli impalcati a piastra in termini di irregolarità.



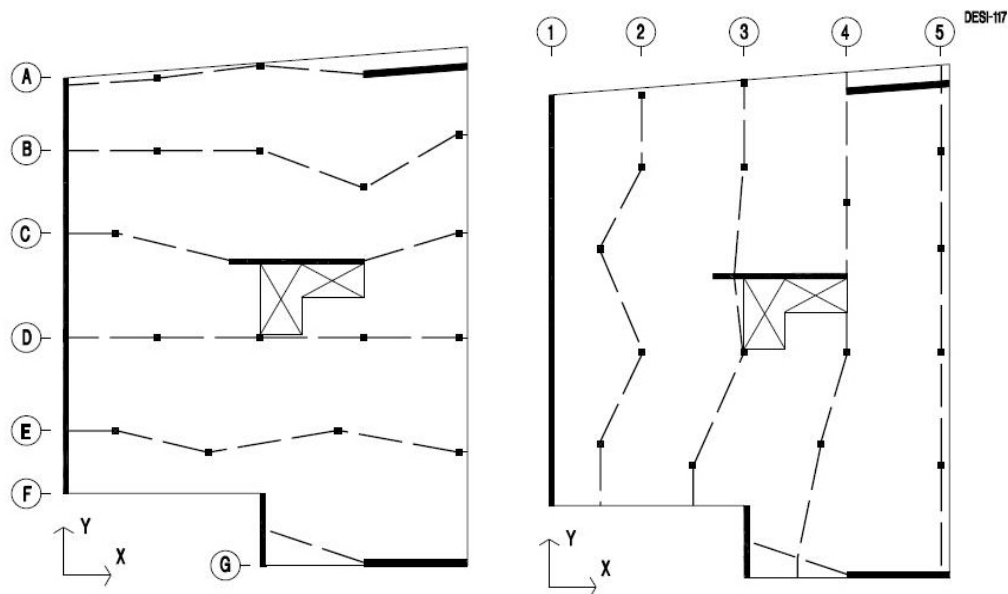
**Figura 11** Pianta della piastra studiata, con indicazione degli spostamenti (*Best practice guide for in-situ concrete frame buildings* by British Cement Association)

## Caso di studio 2

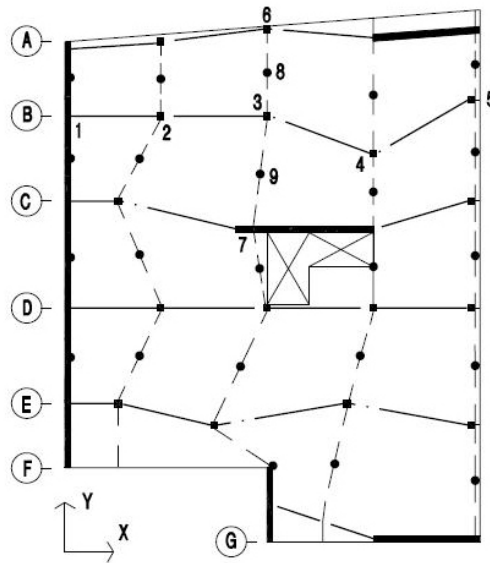
Il progetto di questa piastra su una maglia irregolare di pilastri, adotta un metodo specifico; esso suddivide il solaio individuando le porzioni sostenute teoricamente da ogni pilastro.



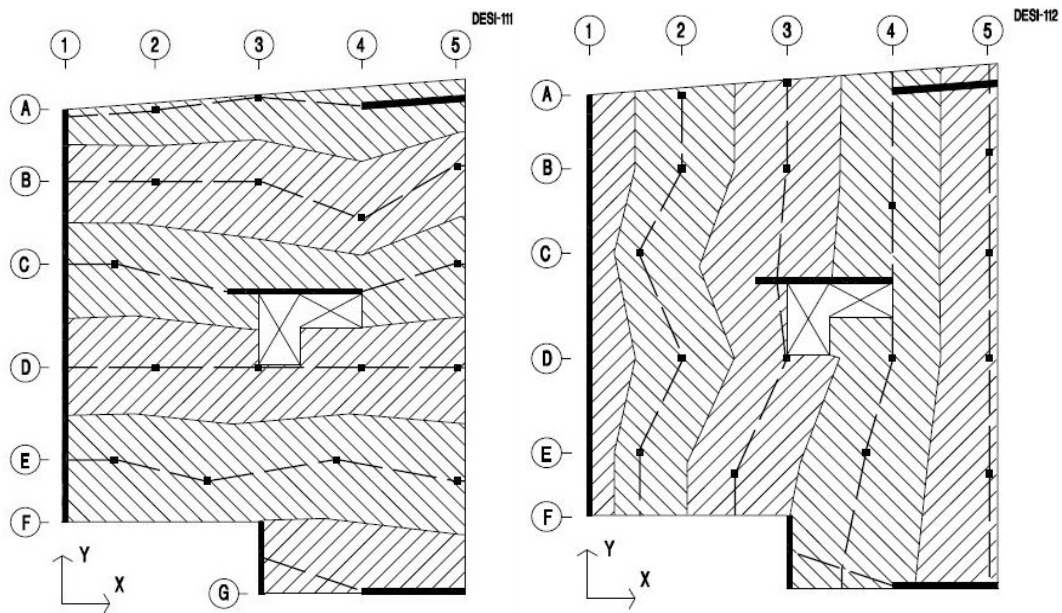
**Figura 12** Pianta (sinistra) e individuazione delle linee di sostegno in direzione x (destra) –fuori scala- (PTI TECHNICAL NOTES, gennaio 2001. DESIGN OF CONCRETE FLOORS With Particular Reference to Post-Tensioning by Bijan O. Aalami, S.E.1, Gail S. Kelley, P.E)



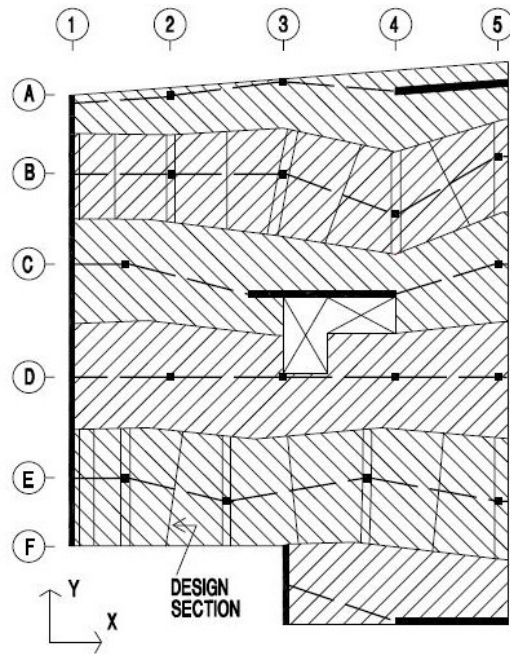
**Figura 13** Individuazione delle linee di sostegno in direzione x (sinistra) e individuazione delle linee di sostegno in direzione y (destra) –fuori scala-. (PTI TECHNICAL NOTES, gennaio 2001. DESIGN OF CONCRETE FLOORS With Particular Reference to Post-Tensioning by Bijan O. Aalami, S.E.1, Gail S. Kelley, P.E)



**Figura 14** Individuazione dei punti a metà della linea congiungente ogni pilastro (PTI TECNICAL NOTES, gennaio 2001. DESIGN OF CONCRETE FLOORS *With Particular Reference to Post-Tensioning* by Bijan O. Aalami, S.E.1, Gail S. Kelley, P.E) – fouri scala.



**Figura 15** Individuazione delle strisce di solaio in direzione x (sinistra) e individuazione delle strisce di solaio in direzione y (destra). (PTI TECNICAL NOTES, gennaio 2001. DESIGN OF CONCRETE FLOORS *With Particular Reference to Post-Tensioning* by Bijan O. Aalami, S.E.1, Gail S. Kelley, P.E) – fouri scala.



**Figura 16** Individuazione dell' area di pertinenza per i pilastri delle strisce B ed E. (PTI TECNICAL NOTES, gennaio 2001. DESIGN OF CONCRETE FLOORS *With Particular Reference to Post-Tensioning* by Bijan O. Aalami, S.E.1, Gail S. Kelley, P.E) – fouri scala.

## 5.7 Conclusioni

Questo capitolo ha dimostrato come sia stretto il rapporto tra la piastra e la destinazione funzionale; Il sistema si rivela sempre protagonista su aspetti rilevanti del progetto grazie alla sua versatilità. Riassumendo e confrontando i progetti analizzati si nota che la determinazione di uno stesso sviluppo spaziale da parte della piastra è legato da altri fattori (tabella 3); esso risulta un aspetto indipendente che non è influenzato dagli altri elementi presi in considerazione. Significa che due piastre possono determinare lo stesso spazio architettonico di due diversi progetti avendo poco altro in comune. Al contrario quando la piastra assolve esigenze di carattere estetico, si trovano spesso altri elementi comuni tra i progetti; ossia una stessa esigenza da assolvere in due progetti diversi porta le piastre ad avere dei denominatori comuni. Dal capitolo 5 emerge inoltre l' elevata potenzialità estetica dell' impalcato a piastra e la sua versatilità nel caso di una maglia irregolare.

## CAPITOLO 6 CONCLUSIONI

Da questo lavoro di tesi emergono alcuni aspetti delle piastre che già risultavano noti ed altri invece meno conosciuti, come il loro rapporto con le destinazioni funzionali. Mi sembra importante sottolineare la complessità che un sistema di questo tipo mette in gioco, complessità che permette poi di ottenere buoni risultati sotto diversi punti di vista. Abbiamo visto nel capitolo 2 la sua ricchezza tipologica, e proprio per questo mi sembra giusto associare al termine piastra anche il termine sistema; oppure utilizzarlo al plurale (piastre). Si tratta di un sistema che possiede elevate potenzialità statiche, capace di coprire grandi luci; a scapito però di una difficoltà realizzativa che aumenta di molto. Dalla tesi emerge anche un po' inaspettatamente la forza delle piastre come arma di composizione architettonica, le piastre come elemento estetico; capaci quasi di farsi architettura, non solo elemento strutturale e/o costruttivo. Vorrei rimarcare ancora il fatto che l'impalcato a piastra si rivela un metodo costruttivo molto più sicuro di altri; mi sembra un aspetto importante prevenire gli incidenti sul lavoro anche attraverso le scelte progettuali e non solo in fase di costruzione. Reputo importante anche la versatilità delle piastre ad adattarsi ad un'irregolarità della maglia di pilastri; lo reputo uno degli aspetti più innovativi di questo sistema, il quale è sempre stato in continua evoluzione e sperimentazione; forse potrebbe essere questo il campo di maggiore sviluppo futuro, le prospettive di sperimentazione statica e di composizione architettonica potrebbero portare a risultati davvero innovativi. Infatti richiedono una forte integrazione tra progettista architettonico e progettista strutturale; in modo che le loro peculiarità possano esaltarsi al meglio, per dare soluzioni economicamente convenienti e al tempo stesso delle ulteriori armi compositive per l'architetto.





## **BIBLIOGRAFIA**

Billington, D.P. (1997), *Robert Maillart, Builder, Designer, and Artist*. Cambridge University Press.

Coronelli, D. (2010), *Architettura e struttura esempi di meccanica e concezione*. Pàtron Editore, Bologna, pp.17-21,57-85.

Falasca, C.C. (2007), *Incontro con Livio Vacchini su tecnologie e cultura del progetto*. Franco Angeli s.r.l., Milano, pp. 95.

Gambarova, P. G., Coronelli, D., Bamonte, P. (2007), *Linee guida per la progettazione delle piastre in c.a.* Pàtron Editore, Bologna.

GWENAEL DELHUMEAU, INSTITUT FRANCAIS D' ARCHITECTURE, *L' invention du béton armé, Hennebique 1890-1914*, Norma Editions, Paris, 1999

Leonhardt, F. (1979), *c.a c.a.p. calcolo di progetto e tecniche costruttive, i ponti dimensionamento*. Tipologia costruzione edizioni di scienza e tecnica, Vol.6, Milano.

Masiero, R. (1999), *Livio Vacchini, opere e progetti*. Electa, Milano, pp. 176-185.

Muntoni, A. (2005), *Lineamenti di storia dell' architettura contemporanea*. Editori Laterza, Bologna.

Salvadori, M. (1964), *Le strutture in architettura*. Etas Kompass, Milano, pp. 238-283.

Schodek, D. L. (2004), *Strutture*. Pàtron Editore, Bologna.

Turner, C.A.P., M. Am. Soc. C. E. consulting engineer (1909), *Concrete Steel Construction*. Farnham Printing & Stationery Company, Minneapolis, Vol.1, pp. 247-284.

## **Articoli**

ARKETIPO n° 28 (novembre 2008), pp. 106-108

JOURNAL OF STRUCTURAL ENGINEERING vol. 128 n° 10 (ottobre 2002), pp. 1243-1252. *Contributions of C. A. P. Turner to Development of Reinforced Concrete Flat Slabs 1905-1909* by D. A. Gasparini, M.ASCE.

MAGAZINE OF CONCRETE RESEARCH vol. 55 n° 5 (ottobre 2003), pp. 449-460. *Investigation into backprop forces and deflections at St George Wharf* by R. L. Vollum.

BRITISH CEMENT ASSOCIATION. *Best practice guide for in-situ concrete frame buildings* by British Cement Association

PTI TECNICAL NOTES (gennaio 2001). DESIGN OF CONCRETE FLOORS *With Particular Reference to Post-Tensioning* by Bijan O. Aalami, S.E.1, Gail S. Kelley, P.E.

Structural Safety and Reliability of Post-Tensioned Floor-Slabs. Uwe ALBRECHT Prof. Dr.-Ing. FH Nordostniedersachsen Buxtehude, Germany and Gilbert RAYNARD Principal Read Jones Christoffersen Vancouver, B. C., Canada

PUBBLICAZIONE PERI edizione 1/03, pp. 31. *Solai in opera con tecnologia Peri – Recenti realizzazioni in italia.*

## **Sitografia**

[www.giovannardierontini.it/Pubblicazioni](http://www.giovannardierontini.it/Pubblicazioni) - GIOVANNARDI FAUSTO, *Robert Maillart e l' emancipazione del C.A.*, Pubblicazione fuori commercio, 2007.

[www.peri.it](http://www.peri.it)

[www.infobuild.it](http://www.infobuild.it)

[www.sacs.it/tesi/indice.htm#cap5](http://www.sacs.it/tesi/indice.htm#cap5) – Tesi di Laurea

[www.ing.unlp.edu.ar](http://www.ing.unlp.edu.ar) - Hormigon armado notas sobre su evolucion y la de su teoria