

Sauro Amerighi,
Luciano Della Lena,
Monica Lavagna

Stabilimento per la produzione di circuiti stampati CST NET a Campiglia Marittima

Progettare un impianto industriale è divenuto oggi un compito complesso, poichè richiede competenze diverse e la capacità di capire i processi di produzione, di concepire soluzioni spaziali legate alle tecniche produttive e di confrontarsi con organizzazioni spaziali sempre più articolate in relazione alla specializzazione delle lavorazioni.

La produzione di circuiti stampati costituisce una delle numerose nuove tipologie produttive che caratterizzano l'attuale panorama industriale e che hanno portato a un cambiamento dell'aspetto tipico dei luoghi della produzione. Leggerezza, miniaturizzazione, pulizia, asetticità sono alcuni dei caratteri che vengono alla mente pensando ai nuovi luoghi della produzione: si tratta di immagini che si discostano molto dalla tradizionale concezione del capannone industriale polveroso e poco protetto dal freddo. È stata probabilmente la rivoluzione informatica a modificare i modi di produzione, caratterizzati da macchine controllate da software, e quindi a modificare i luoghi di produzione: "La seconda rivoluzione industriale non si presenta come la prima con immagini schiacciati quali presse di laminatoi o colate d'acciaio, ma come i bits d'un flusso d'informazione che corre sui circuiti sotto forma d'impulsi elettronici. Le macchine di ferro ci sono sempre, ma obbediscono ai bits senza peso" (Calvino, 1993, p. 12).

Le esigenze legate a queste nuove tipologie di produzione tendono a essere molto più articolate e diversificate rispetto al passato e richiedono una maggiore accuratezza progettuale che si manifesta nella scelta delle modalità costruttive e degli elementi tecnici adottati.

I luoghi della produzione si sono caratterizzati nella storia per essere stati banco di prova di nuovi sistemi costruttivi, soprattutto tra il diciottesimo e il diciannovesimo secolo. Per esempio l'uso del ferro nelle costruzioni ha trovato affermazione non solo nelle gallerie, nelle coperture delle stazioni e nella realizzazione di spazi per esposizioni, ma anche nelle fabbriche tessili dove, per ottimizzare lo spazio interno, è stato utilizzato il ferro in modo da consentire la diminuzione dello spessore e dell'ingombro delle strutture e la copertura di luci più am-

Questa costruzione costituisce un'occasione di riflessione su come la tipologia dello stabilimento industriale si sia evoluta nel corso degli anni fino a diventare un oggetto di studio accurato dal punto di vista del dettaglio costruttivo e un luogo di produzione in cui lo spazio viene dotato di caratteristiche prestazionali sempre più articolate. In questo specifico caso, la delicatezza della produzione di circuiti stampati ha richiesto la realizzazione di un ambiente 'a tenuta', implicando una particolare attenzione progettuale in relazione agli elementi di chiusura dell'involucro.

CST NET printed circuit factory in Campiglia Marittima

This construction offers us a chance to reflect on how the industrial factory has developed in the course of the years, to the point where it has become carefully assessed from the point of view of the construction details, as a production area in which increasing attention to the layout of space. In this specific case, the delicate nature of the manufacture of printed circuits has meant that a 'watertight' environment had to be created, implying particular attention during the design stages for the enclosing elements of the building.

pie, lasciando lo spazio più libero. Il primo edificio multipiano costruito con struttura portante interna completamente in ghisa fu la filanda di Shrewbury-Castle Foregate, realizzata nel 1796, così come il primo edificio a scheletro in acciaio fu la fabbrica di cioccolata Menier, a Noisel-sur-Marne, costruita nel 1871. Anche il momento dell'affermazione del cemento armato, legato al sistema Hennebique brevettato nel 1892, ha trovato come prime applicazioni i luoghi della produzione, tra cui la filanda Six di Tourcoring del 1895 (Moncada, 1983).

Oggi gli edifici legati alla sperimentazione e all'innovazione sono gli edifici per uffici, il terziario evoluto, eppure, anche se di riflesso, si potrebbe cercare di leggere alcune tendenze costruttive rinnovate osservando le tecnologie utilizzate per costruire gli edifici industriali. L'Italia purtroppo sconta sempre un arretratezza rispetto ad altre nazioni sotto il profilo della innovazione, ma alcune considerazioni possono essere fatte riguardo alle nuove esigenze nella costruzione degli edifici industriali, dettate sia da vincoli normativi che da un rinnovamento nelle tipologie di produzione.

Fig. 1. Vista dello stabilimento.



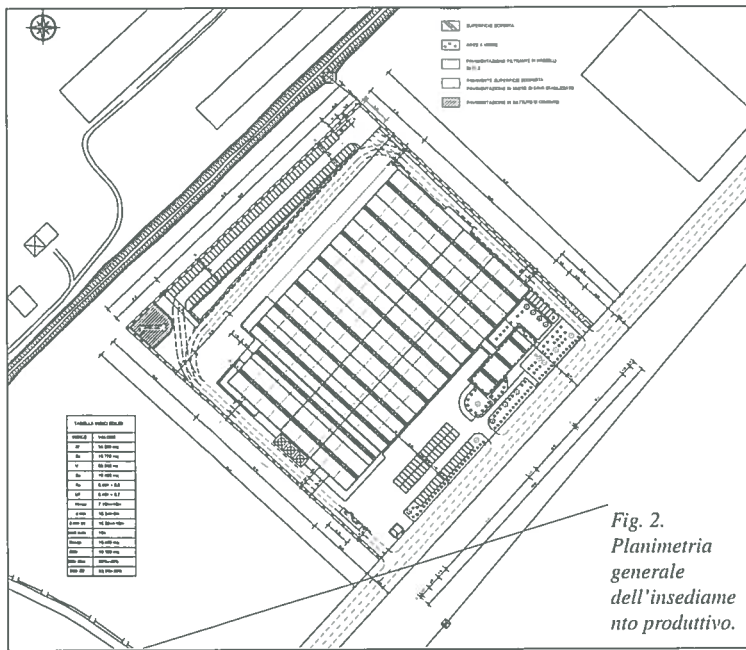


Fig. 2. Planimetria generale dell'insediamento produttivo.

LE ESIGENZE DELLA PRODUZIONE

L'analisi dello stabilimento della CST NET a Campiglia Marittima, in provincia di Livorno (figg. 1-5), permette di mettere in evidenza quali possano essere le nuove esigenze legate alle nuove tipologie di lavorazione che caratterizzano l'attuale panorama industriale.

L'attività produttiva della CST NET consiste nella realizzazione di schede per la successiva implementazione elettronica a partire da semilavorati (laminati plastici) e da materie prime o prodotti chimici (rame, nichel, oro, stagno, vernici fotosensibili, reagenti). Si tratta di una lavorazione che richiede ambienti di lavoro con particolari requisiti di assenza di polvere (camere bianche di varia classe) e con marcata stabilità di temperatura ed umidità relativa (generalmente $t=22^{\circ}\pm 2^{\circ}$, $U\%=55\pm 5\%$), caratteristiche che richiedono ambienti completamente e permanentemente condizionati (Fig. 6). Inoltre alcuni ambienti hanno la necessità di particolari condizioni di illuminamento (luce visibile gialla ed ultravioletto) in maniera

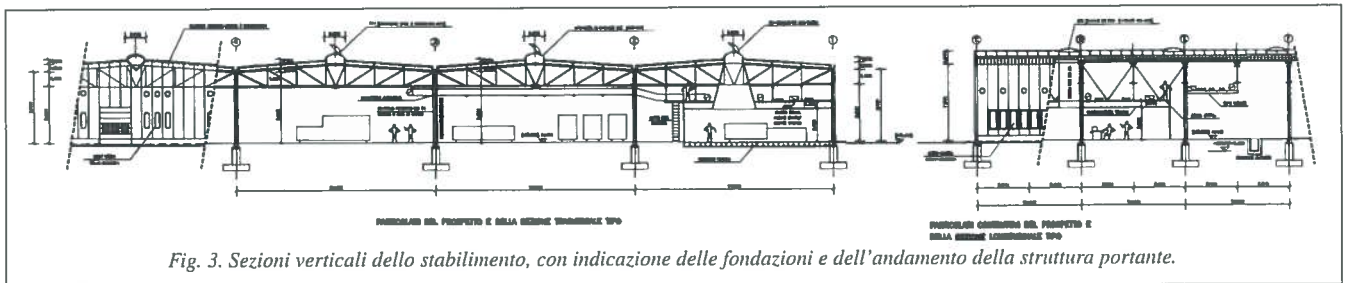


Fig. 3. Sezioni verticali dello stabilimento, con indicazione delle fondazioni e dell'andamento della struttura portante.

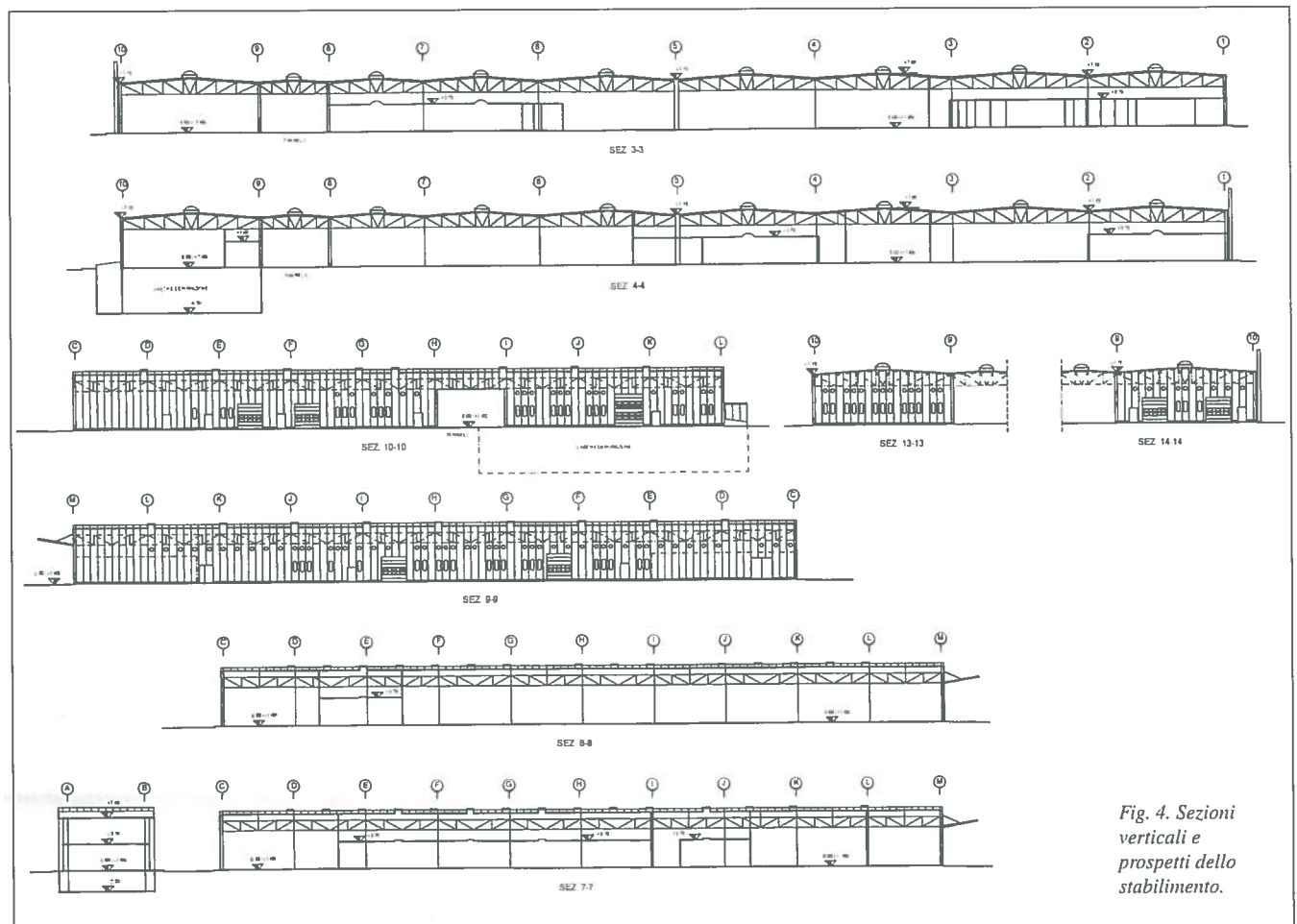


Fig. 4. Sezioni verticali e prospetti dello stabilimento.

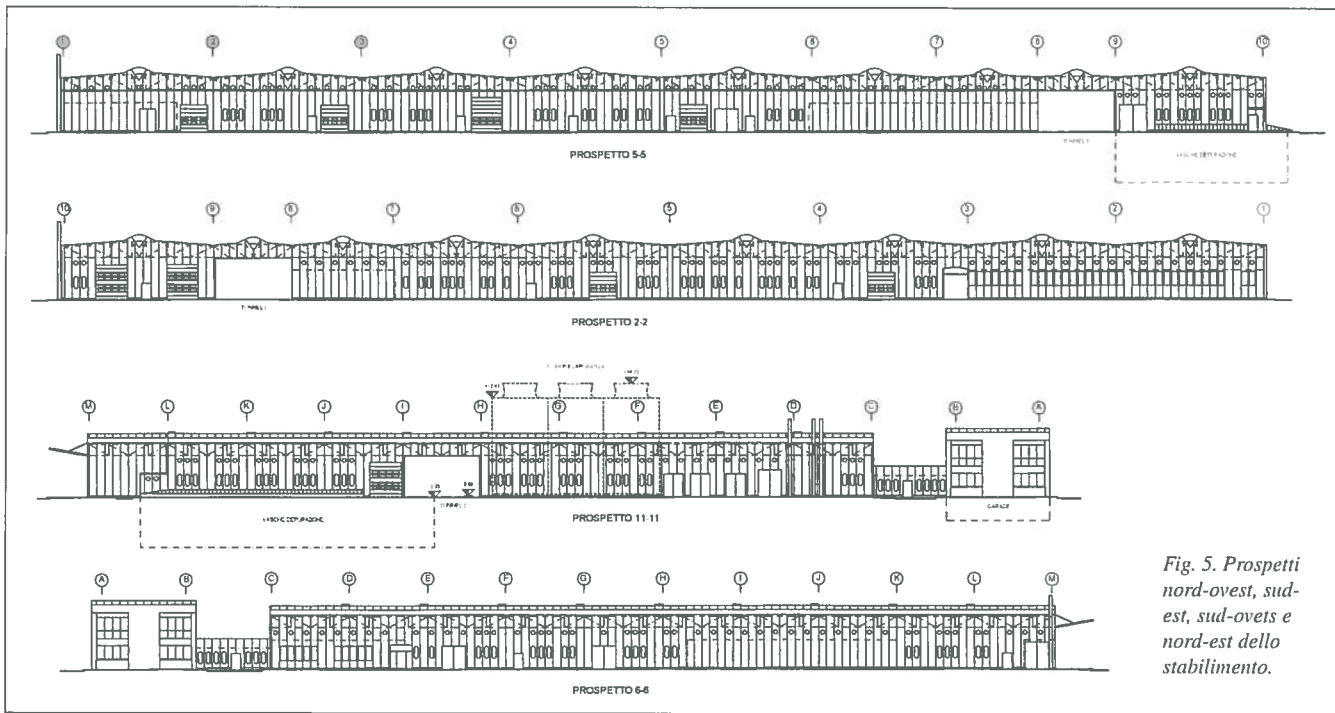


Fig. 5. Prospetti nord-ovest, sud-est, sud-ovest e nord-est dello stabilimento.



Fig. 6. Vista dello spazio interno allo stabilimento.



Fig. 7. Vista di uno degli ambienti 'a tenuta' per la lavorazione dei circuiti stampati.

tale da permettere la corretta impressione fotografica delle lastre in lavorazione.

A partire da queste considerazioni, la progettazione dello stabilimento di Campiglia Marittima ha dovuto tenere in considerazione una serie di esigenze specifiche, legate alla particolarità della produzione. Le esigenze principali di cui il progetto si è dovuto fare carico sono state:

- o di rispettare le caratteristiche igrotermiche degli ambienti sopra richiamate;
- o di realizzare ambienti che fossero 'a tenuta', che garantissero spazi puliti, la protezione da pulviscolo e il mantenimento di ambienti asettici, ognuno con il suo microclima e la propria classe di assenza di polvere (Fig. 7);
- o di garantire la massima flessibilità degli ambienti interni, in maniera tale da poter effettuare velocemente ed economicamente i cambiamenti richiesti dal velocissimo sviluppo tecnologico dell'industria dei circuiti stampati;
- o di prevedere l'integrabilità impiantistica, nella controsoffittatura e al di sotto della copertura, e di garantirne l'ispezionabilità per manutenzione.

La necessità di progettare un sistema di chiusura che non avesse infiltrazioni di polveri ha portato a un'indagine sui sistemi di involucro che permettessero la tenuta.

In occasione della progettazione preliminare furo-

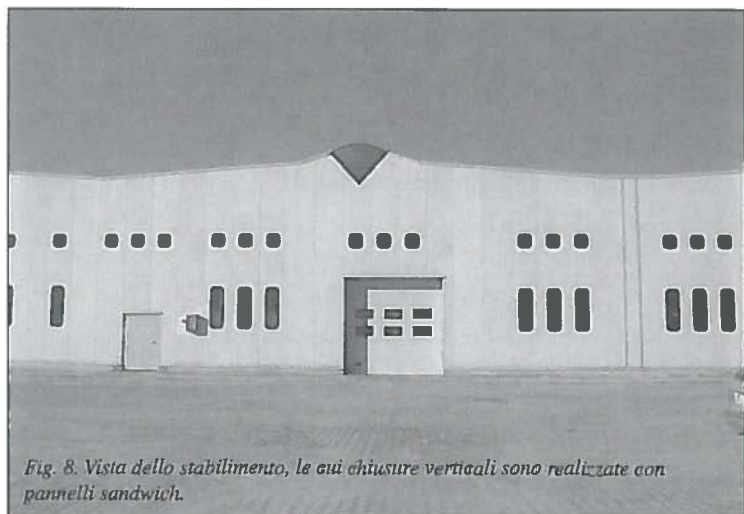


Fig. 8. Vista dello stabilimento, le cui chiusure verticali sono realizzate con pannelli sandwich.



Fig. 9. Vista dello spazio interno allo stabilimento.

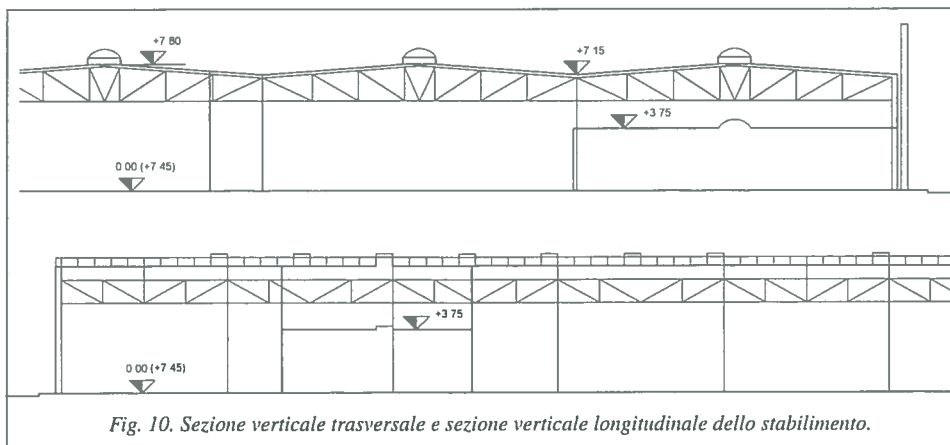
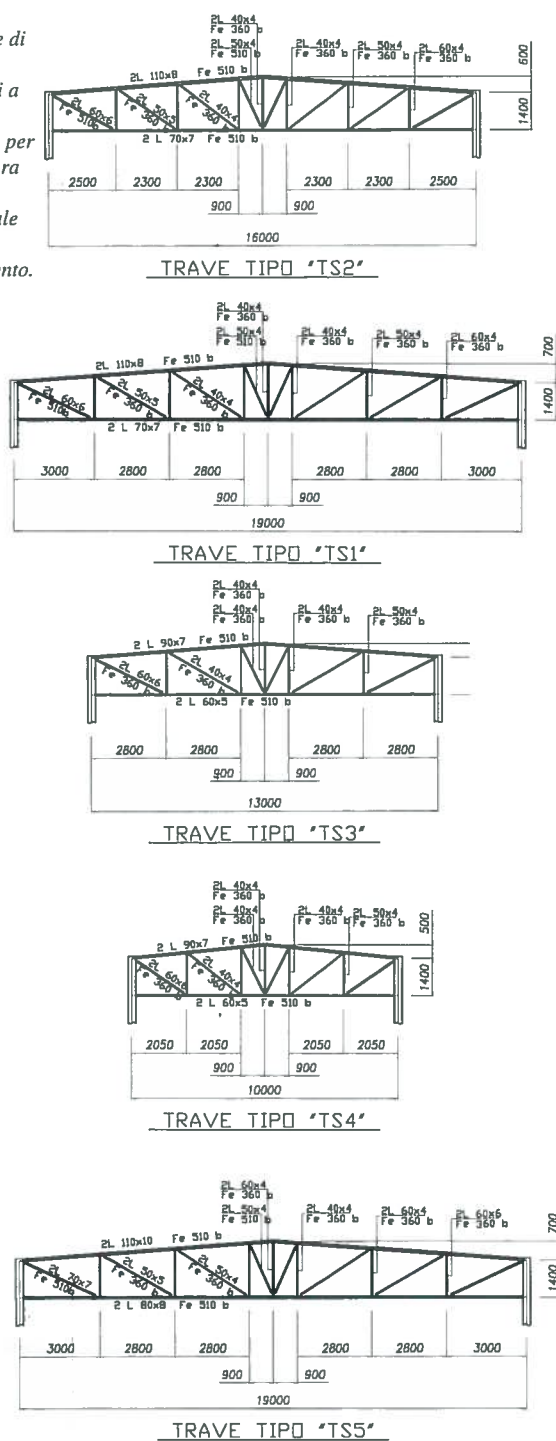


Fig. 10. Sezione verticale trasversale e sezione verticale longitudinale dello stabilimento.

Fig. 11. Tipologie di travi reticolari a capriata utilizzate per la struttura portante orizzontale dello stabilimento.



no effettuate alcune ipotesi progettuali, valutandone i parametri mediante una “griglia costi - benefici”.

La scelta, in riferimento soprattutto ai parametri di flessibilità, leggerezza, economicità e funzionalità rispetto alle esigenze del progetto è caduta sulla struttura in acciaio con tamponamento in pannelli sandwich (Fig. 8).

Il tema della flessibilità è uno dei temi caratterizzanti la progettazione degli stabilimenti industriali odierni: la possibilità di

modificare nel tempo la collocazione dei macchinari e quindi l'articolazione degli spazi costituisce una richiesta sempre più frequentemente formulata dalla committenza dei luoghi di produzione. L'adozione di una struttura in acciaio appare in questo senso la più appropriata: tale tipologia strutturale è infatti quella che consente una maggiore flessibilità degli spazi, sia in quanto la sua snellezza riduce gli ingombri all'interno degli ambienti, sia in quanto consente di coprire luci più ampie e quindi permette di vincolare il meno possibile la scomponibilità degli ambienti.

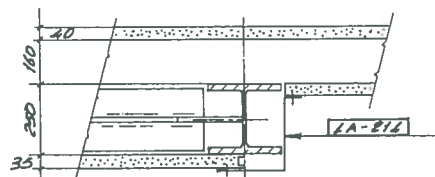
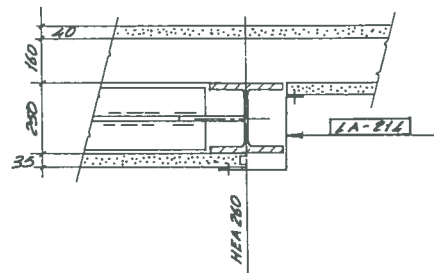
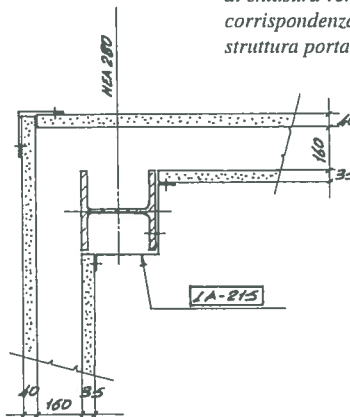


Fig. 12. Sezioni orizzontali del sistema di chiusura verticale in corrispondenza della struttura portante.



DESCRIZIONE DELLO STABILIMENTO E DELLE SCELTE COSTRUTTIVE

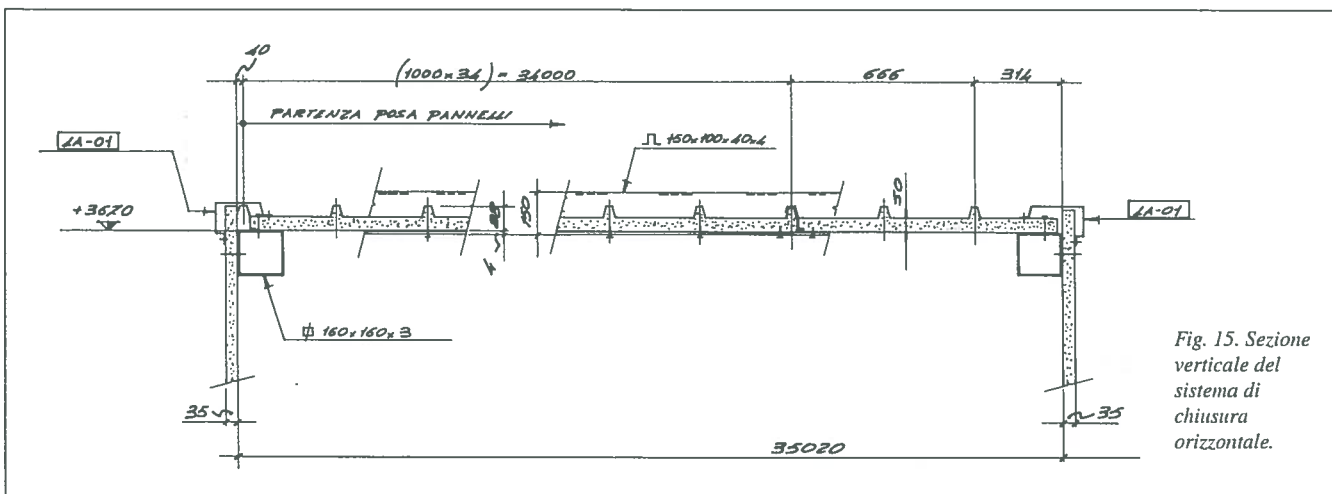
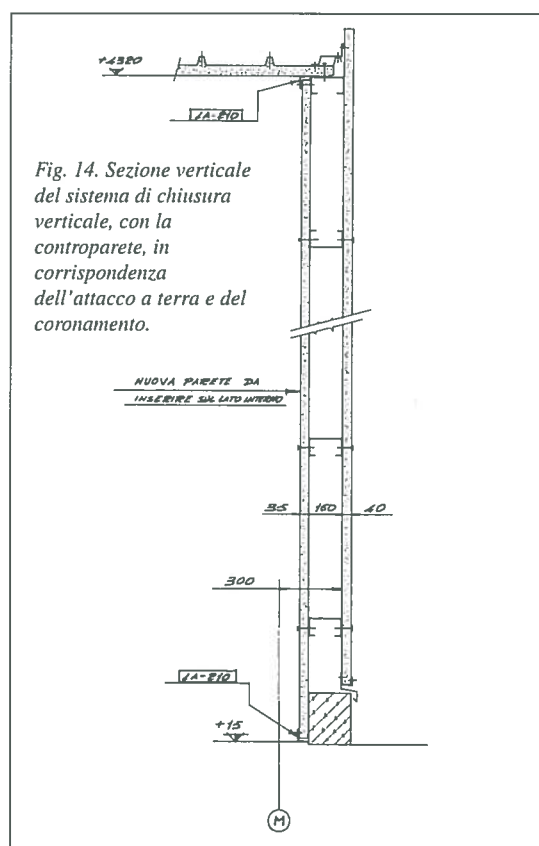
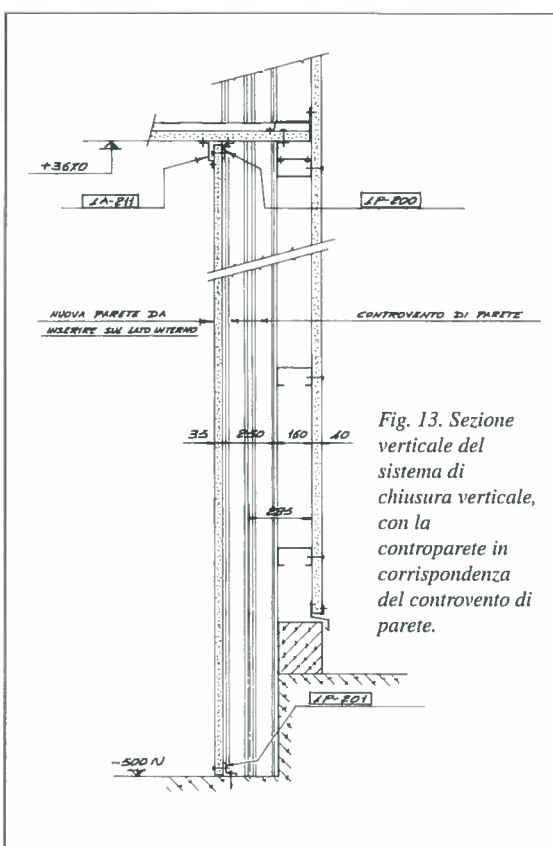
Lo stabilimento è costituito da due corpi di fabbrica principali, uniti da un tunnel di comunicazione. Il corpo di fabbrica più piccolo è destinato agli uffici amministrativi, mentre lo stabilimento vero e proprio è contenuto da una struttura di 154.250 x 100.880 m, con una altezza misurata tra marciapiede e catena della capriata di 5.40 m (Fig. 9). Il capannone ha una struttura metallica modulare (il modulo principale è 19 m per 10 m) costituita da pilastri, capriate principali e secondarie con passo dimezzato di 5 m, vincolate a travi reticolari reggi-capriata (Figg. 10-11). Date le sue notevoli dimensioni il capannone è suddiviso in due parti da un giunto di dilatazione.

Lo stabilimento è suddiviso in reparti di lavorazione e in compartimenti antincendio. È attraversato da due tunnel coperti, ma aperti agli estremi, che

perimetrano i compartimenti degli impianti generali e della depurazione delle acque.

Il tamponamento è costituito da pannelli sandwich in lamiera e poliuretano autoestinguente dotati di oblò e finestre (Figg. 12-14); i muri delle compartimentazioni antincendio sono costituiti da pannelli sandwich in lamiera e lana di roccia. La copertura, caratterizzata da un manto in lamiera sandwich (Fig. 15), è dotata, in asse a ogni capriata, di un lucernario a cupola in policarbonato alveolare (autoestinguente) che consente l'illuminazione naturale degli ambienti (Figg. 16-17). Le cupole sono interrotte da torrini evacuatori di fumo (UNI 9494), che svolgono anche la duplice funzione di ricambio dell'aria, comandati da un servomotore, e di elemento antincendio a comando di rilevatori automatici (Fig. 18).

Il capannone ha fondazioni costituite da plinti in cemento armato posti alla profondità di 1.20 m ri-



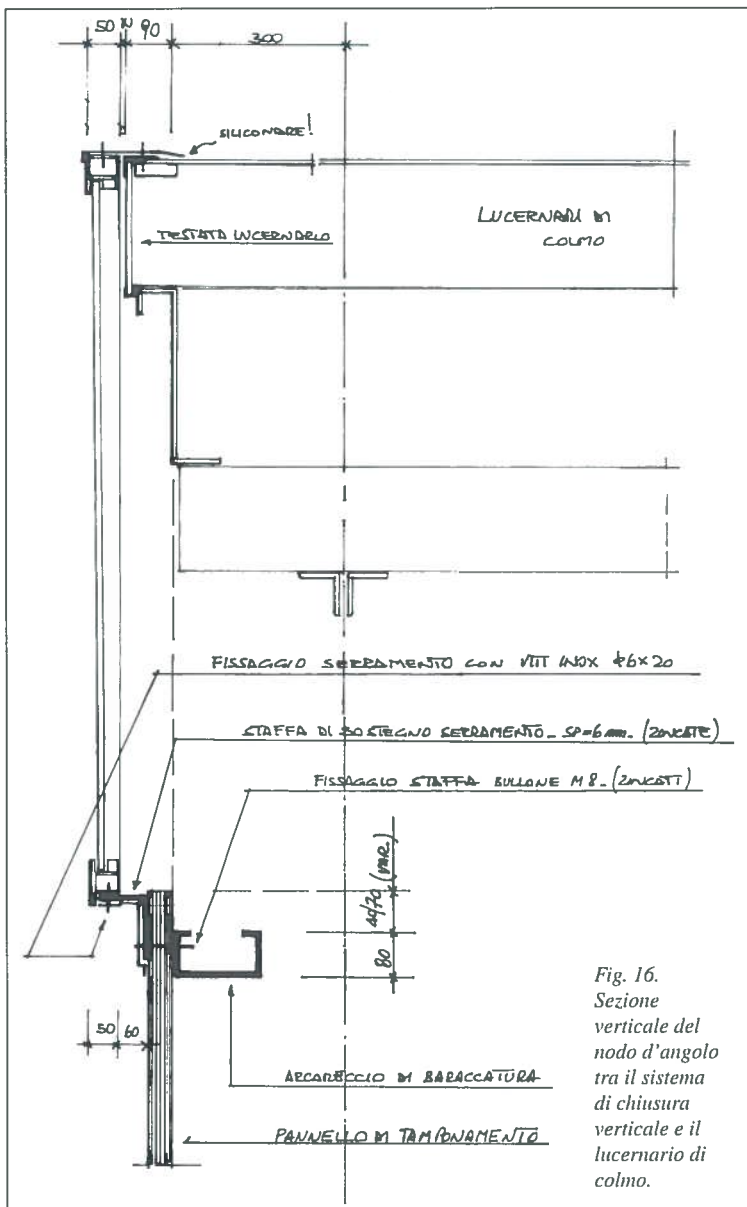


Fig. 16. Sezione verticale del nodo d'angolo tra il sistema di chiusura verticale e il lucernario di colmo.



Fig. 17. Vista interna in corrispondenza dei lucernari.

spetto al piano di campagna attuale. Le scarse caratteristiche geotecniche del terreno di fondazione hanno influenzato la scelta di strutture e tamponamenti leggeri. Il dimensionamento contenuto delle fondazioni, grazie alla leggerezza della struttura metallica, ha consentito un libero sviluppo dei cunicoli interrati per gli impianti.

Il soffitto che fa da copertura alle "stanze" interne e che costituisce il piano di calpestio dei manutentori degli impianti, è costituito da pannelli sandwich appoggiati a profili ad omega, i quali a loro volta sono sostenuti da pendini (2 L 40 x 4 a farfalla) vincolati ai nodi della capriata di copertura. In fase di progettazione preliminare fu affrontato il problema del dimensionamento delle capriate in relazione agli impianti appesi ed a quelli che avrebbero dovuto correre nei cunicoli sotterranei: il compromesso più economico fu trovato nel sovraccarico utile di 2000 N/mq.

Tutte le strutture sono dimensionate per tale sovraccarico e pertanto con estrema flessibilità può essere modificata la distribuzione degli impianti, dei soffitti e delle "stanze" interne.

Il tamponamento delle camere bianche è costituito da un doppio pannello che fascia la struttura di baracatura, con sigillatura e lamierini di lamiereria agli estremi.

LE PRESCRIZIONI NORMATIVE

Oltre alle esigenze della produzione, i vincoli normativi che hanno influenzato le scelte di progetto sono stati:

- o la normativa igienico sanitaria, che, richiedendo un alto e diffuso rapporto di aereoilluminazione e di ventilazione, ha portato alla realizzazione di una finestratura zenitale diffusa sia negli ambienti di lavoro sia nei soppalchi degli impianti;
- o la normativa antincendio, che richiede la suddivisione dello stabilimento in compartimenti e la possibilità di evacuazione dei fumi tramite appositi dispositivi automatici (EFC - Evacuatori di Fumo e Calore).

Per quanto riguarda la questione igienico sanitaria occorre evidenziare che il tipo di lavorazione comporta la presenza di prodotti chimici tossici, che necessitano quindi di adeguate precauzioni. Il progetto ha dovuto dunque rispettare le prescrizioni della normativa vigente e le indicazioni specifiche della USL. In osservanza degli "Indirizzi tecnici di

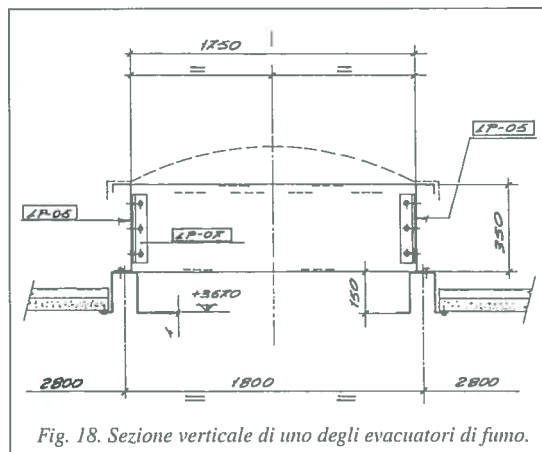


Fig. 18. Sezione verticale di uno degli evacuatori di fumo.

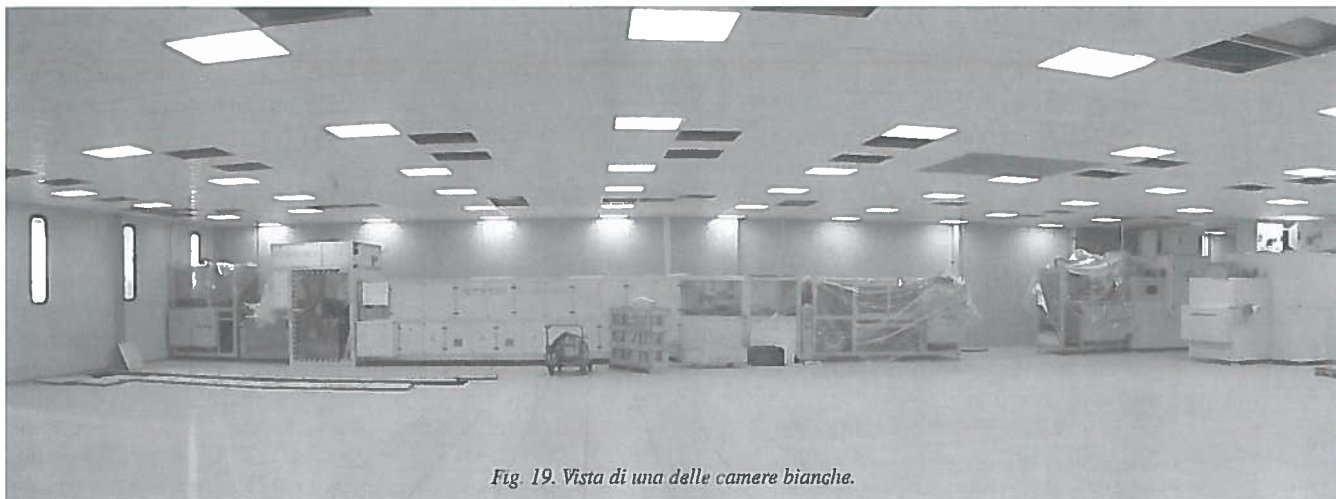


Fig. 19. Vista di una delle camere bianche.



Fig. 20. Vista della copertura.

igiene edilizia per i locali e gli ambienti di lavoro” sono stati progettati locali di categoria 1 di altezza e superficie idonea con illuminazione naturale proveniente prevalentemente dai lucernari a soffitto, ma anche dalla finestratura laterale. Gli ambienti soffittati e collocati in posizione interna allo stabilimento sono illuminati, oltre che dai lucernari in posizione zenitale, anche dagli ambienti circostanti attraverso le ampie superfici vetrate dei tamponamenti. Gli ambienti dove ha luogo l’impressione fotografica dei circuiti stampati sono costituiti da camere bianche depolverate ed hanno illuminazione naturale mediante oblò con vetro ambrato che filtra luce visibile gialla ed ultravioletto (Fig. 19). Complessivamente, a fronte di una superficie di calpestio totale di 16.301 mq, si ha una superficie finestrata di circa 2.000 mq. Gli ambienti dove ha luogo l’impressione fotografica dei circuiti stampati, sono costituiti da camere bianche depolverate e non hanno illuminazione naturale, ma solo illuminazione artificiale con luce arancio non impressionante.

Tutti i locali, tranne i magazzini e i locali di servizio, sono condizionati e sono dotati di aerazione di ricambio, tramite i torrini che svolgono anche la funzione di evacuatori di fumo e calore (EFC).

Per quanto riguarda la questione della prevenzione antincendi, occorre premettere che la scarsa resistenza al fuoco dell’acciaio è stato il motivo principale della sua tardiva affermazione nel settore delle costruzioni e del suo scarso utilizzo ancora oggi in Italia, dove le normative antincendio sono particolarmente severe. Eppure già dal 1800, per evitare la facilità d’incendio dovuta all’utilizzo del legno come materiale da costruzione, i primi opifici multi-piano, dopo un breve periodo di utilizzo di muri in

pietra o in mattoni, furono costruiti in ghisa e in ferro, in quanto erano gli unici materiali, a parte il legno, in grado di coprire grandi luci e di sostenere il peso dei macchinari. Per risolvere i problemi antincendio la struttura in acciaio veniva ibridata con una struttura in laterizio o ricoperta con intonaco, in modo da proteggerla, in maniera non molto dissimile da quanto viene fatto anche oggi.

Nello stabilimento CST NET la questione antincendi viene risolta tramite l’adozione di opportune soluzioni progettuali di protezione delle strutture. Nonostante lo stabilimento contenga materiali infiammabili, come le vernici fotosensibili, il carico d’incendio dell’intero stabilimento non raggiunge la Classe 15. Sono stati adottati i tipici provvedimenti antincendio previsti dalle normative, che riguardano la compartimentazione, gli evacuatori di fumo e calore, le uscite di sicurezza, l’impianto automatico di rilevazione del fumo, l’impianto antincendio ad idranti. Le compartimentazioni sono in generale REI 30, che corrisponde al valore minimo che si ottiene con i pannelli sandwich di lamiera e lana di roccia spessi 50 mm. La compartimentazione REI 120, destinata ai locali a rischio, come centrali termiche e deposito vernici, viene ottenuta con pannelli dello spessore di 100 mm. I pilastri in acciaio sono verniciati con vernice isolante; nei compartimenti REI 120 i pilastri sono rivestiti da pannelli di tamponamento REI 120. Dove il muro di compartimentazione non si appoggia ai pilastri del modulo strutturale, sono previsti appositi pilastri porta-tamponamento strutturalmente indipendenti dalla copertura.

La distribuzione e il dimensionamento degli evacuatori di fumo e calore è stata effettuata secondo la UNI 9494: in totale ci sono 142 evacuatori (Fig.

20), di cui 116 in copertura 26 sui soffitti delle stanze di lavorazione. Si ha almeno un evacuatore ogni 200 mq di copertura. Gli evacuatori sono muniti di dispositivo di apertura individuale tramite servomotore e di dispositivo di apertura automatico collegato ai rilevatori di fumo conformi alla norma UNI EN 54/7.

CONCLUSIONI

L'analisi di un edificio industriale di recente costruzione e caratterizzato da una lavorazione specializzata ha permesso di affrontare i principali temi che accompagnano la progettazione dei luoghi della produzione in epoca attuale.

Alcune esigenze hanno da sempre costituito la base di partenza per le scelte progettuali:

- o l'esigenza di rendere la costruzione inattaccabile dal fuoco, in quanto spesso si tratta di edifici contenenti sostanze infiammabili e pericolose, con macchinari sempre più costosi, oltre ad ospitare persone;
- o l'esigenza di creare spazi il più possibile liberi dall'ingombro delle strutture per poter installare macchinari ingombranti;
- o l'esigenza di ottimizzare l'ingresso della luce naturale in edifici caratterizzati da corpi di fabbrica molto profondi.

Le tecnologie costruttive utilizzate per rispondere a queste esigenze durante lo scorso secolo hanno visto un'alternanza tra strutture in acciaio, vantaggiose sotto il profilo dell'ottimizzazione degli spazi e la realizzazione di ampie vetrature, e strutture in cemento armato, più sicure dal punto di vista della resistenza al fuoco.

Attualmente le modificazioni nel modo di produrre hanno visto emergere esigenze più articolate e complesse, relazionate alle lavorazioni specifiche che l'edificio industriale contiene, ma che possono essere comunque così riassunte:

- o l'esigenza di flessibilità, dovuta ai frequenti cambiamenti di macchinari e dunque di disposizione delle linee di produzione per l'evolversi dei processi produttivi;
- o l'esigenza di neutralità funzionale, di ambienti omogenei e indifferenziati, privi di vincoli tipologici e distributivi, in grado di consentire la continua riconversione funzionale e i cambiamenti di destinazione d'uso degli spazi;
- o l'esigenza di luoghi asettici, in relazioni a tipologie produttive 'delicate', e dunque di caratteristiche di chiusura e tamponamento degli spazi dotate di una elevata qualità costruttiva.

Queste esigenze mostrano come la dematerializzazione della produzione, legata ai processi informa-

tici, si stia riversando anche in una dematerializzazione della costruzione, che appare opportuno sia dotata di caratteri di leggerezza, flessibilità, adattabilità tipologica e prestazionale in relazione al modificarsi delle esigenze.

I temi che sono stati indicati (nuove tipologie produttive, asetticità, flessibilità) caratterizzano non solo la costruzione di stabilimenti industriali, ma anche una serie di nuove strutture edilizie che accolgono attività tipiche della società contemporanea all'interno di grandi strutture: un esempio sono i supermercati e i grandi contenitori commerciali, che richiedono spazi molto simili a quelli della produzione per ampiezza, esigenze di flessibilità e vincoli normativi da rispettare.

L'acciaio ben si accorda con la progressiva affermazione di leggerezza che caratterizza il costruire e i modi di utilizzare gli spazi. La flessibilità, la velocità nei tempi di costruzione e montaggio, i ridotti ingombri e la copertura di ampie luci sono i caratteristici vantaggi che la costruzione in acciaio assicura rispetto a strutture tradizionali in cemento armato o laterizio. Eppure l'utilizzo dell'acciaio in Italia per la realizzazione di queste grandi strutture è ancora marginale.

L'evoluzione nelle esigenze ha portato ad arricchire l'insieme di elementi che concorrono alla 'vestizione' della struttura di acciaio e che ne caratterizzano le peculiarità prestazionali, in modo da adeguarla alle varie prescrizioni, sia di tipo normativo (antincendio) sia su specifica richiesta della committenza. Le strutture di acciaio, arricchite oggi da un ampio apparato di elementi tecnici di completamento, permettono di pensare a queste caratteristiche di versatilità prestazionale. Il fatto di poter concepire come autonome la struttura portante rispetto agli elementi di chiusura, permette di poter scegliere gli elementi di chiusura e di partizione interna con una maggiore libertà e di pensare a possibili varianti nel tempo degli elementi di tamponamento in relazione alla perimetrazione degli spazi e alle loro esigenze prestazionali. Il tema della leggerezza risulta in questo senso fondamentale in quanto abbinato al tema della leggerezza delle finiture e quindi al tema della flessibilità e della riconfigurabilità degli spazi.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Italo Calvino, *Lezioni americane. Sei proposte per il prossimo millennio*, Mondadori, Milano, 1993.
- Maria Moncada, *Sistemi costruttivi e architettura della fabbrica*, in Maurizio Anastasi, Paolo Desideri, Salvatore Dierna et alii, *I luoghi della produzione industriale*, Saie, Bologna, 1983, pp. LXXV-LXXXIII.

DATI DI PROGETTO

Progetto architettonico:Dr. ing. Luciano Della Lena e dr. ing. Sauro Amerighi
(DLA Ingegneria)

Progetto strutturale:Dr. ing. Luciano Della Lena e dr. ing. Sauro Amerighi
(DLA Ingegneria)

Direttore dei lavori:Dr. ing. Luciano Della Lena (DLA Ingegneria)

Calcolo strutturale d'officina, costruzione e montaggio
carpenterie metalliche:Cometal spa

Opere civili:Berrighi Costruzioni Venturina (LI)

Realizzazione dell'involucro, completo di serramenti
ed evacuatori di fumo:Cometal spa

INDICI EDILIZI

Superficie fondiaria (Sf):	34.230 mq
Superficie coperta (Sc):	15.770 mq
Volume (V):	85.940 mc
Superficie utile (Su):	16.463 mq
Rapporto di copertura (Rc):	0,461 < 0.5
Utilizzazione fondiaria (Uf):	0,481 < 0.7
Altezza massima (Hmax):	7.10 m < 10 m
Distanza minima dai confini:	10.5 m > 6 m
Distanza minima dalla strada:	16.35 m > 10 m
Posti auto:	184
Superficie scoperta:	18.460 mq
Superficie filtrante:	18.120 mq
Sfiltr/Sscop:	98% > 40%
Sfiltr/Sf:	52.9% > 25%

QUANTITÀ DI PROGETTO

Strutture metalliche zincate a caldo:	Kg 851.000
Strutture metalliche con protezione ignifuga:	Kg 63.000
Copertura pannelli sandwich Glamet:	mq 14.520
Pannelli sandwich Monowall:	mq 7.850
Pannelli sandwich Hipertec REI 30:	mq 3.730
Pannelli sandwich Hipertec REI 120:	mq 300

Dr. ing. Sauro Amerighi, DLA Ingegneria, Piombino
Dr. ing. Luciano Della Lena, DLA Ingegneria, Piombino
Dr. arch. Monica Lavagna, Milano