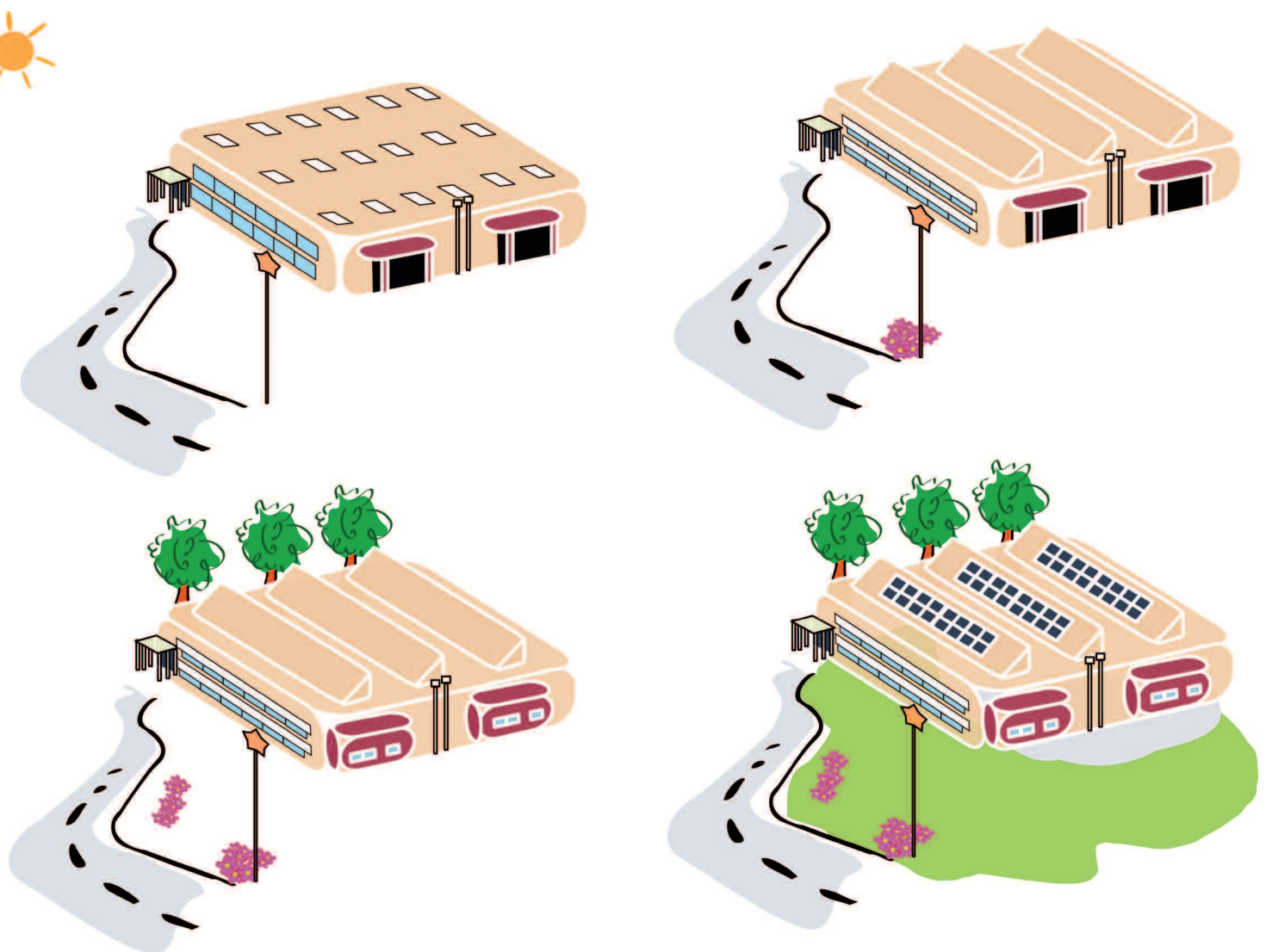


RISPARMIO ENERGETICO NEGLI EDIFICI AD USO PRODUTTIVO



***Risparmio energetico
negli edifici ad uso produttivo***

Coordinatori:

Marino Cavallo (Provincia di Bologna, Servizio Artigianato, Commercio e Industria)

Responsabili:

Valeria Stacchini (Provincia di Bologna, Servizio Artigianato, Commercio e Industria)

Pier Federico Fileni (Ecuba)

Gruppo di lavoro:

Luca Borsari (Provincia di Bologna Pianificazione Territoriale);

Valentina Caroli (Provincia di Bologna, Servizio Artigianato, Commercio e Industria),

Giovanna Pinca (Provincia di Bologna, Servizio Qualità e Sistemi Ambientali), Viviana

Melchiorre (Provincia di Bologna, Servizio Artigianato, Commercio e Industria);

Piergabriele Andreoli (ICS);

Esther Morelli(ICS).

Si ringraziano:

Mario Zuccotti (Tecnicoop); Paolo Paoloni (C.N.A.); Bruno Della Mura (Tecnicoop);

Marcello Antinucci (AESS); William Brunelli (Unindustria).

INDICE

Premessa.....	5
Introduzione	7
1. I SISTEMI DELL'EDIFICIO	11
1.1 Orientamento, geometria e benefici passivi.....	12
1.2 La copertura dell'edificio	19
1.3 Le chiusure trasparenti.....	29
1.4 Le pareti esterne	34
1.5 Il solaio a terra.....	40
1.6 Gli impianti per la climatizzazione invernale/estiva	43
2. LE PRESTAZIONI ENERGETICHE	51
2.1. La certificazione energetica di un edificio ad uso produttivo	51
2.2. Il progetto pilota	62
2.3 Metodologia di calcolo delle prestazioni energetiche	66
2.4 Caratterizzazione degli edifici tipo e introduzione all'area di calcolo	68
2.5 Analisi costi/benefici.....	83
APPENDICE	87
Gli insediamenti produttivi in Provincia di Bologna	88
Buone pratiche nel settore degli edifici ad uso produttivo	97
Definizioni	118
Bibliografia	119

Premessa

Le sfide energetiche rappresentano uno dei principali fattori di innovazione e di profonda trasformazione dei processi produttivi del nostro sistema economico. Attraverso nuove e più efficaci soluzioni si può infatti migliorare il rapporto tra economia e ambiente favorendo così la qualità dello sviluppo e la sostenibilità.

Il risparmio e l'utilizzo efficiente dell'energia sono inoltre obiettivi strategici in quanto riducono i costi per le imprese, garantiscono un migliore confort agli ambienti di lavoro, riducono gli impatti negativi sull'ambiente.

La Direttiva europea 2002/91/Ce ha portato in primo piano il tema dell'efficienza energetica degli edifici, mettendo in evidenza i ritardi del nostro paese sulla qualità edilizia, ma evidenziando anche le enormi opportunità connesse ai risparmi energetici che è possibile raggiungere. Recenti disposizioni normative nazionali (D. Lgs 192/2005 e 311/2006) e regionali (D.A.L. 156/08) hanno introdotto la certificazione energetica degli edifici, che si applica in generale anche agli edifici ad uso produttivo.

La progettazione e costruzione di un edificio industriale deve rispondere ad esigenze e dinamiche diverse dal residenziale: è un mezzo di produzione, in cui è importante cercare l'equilibrio tra costi e qualità. Occorre immaginarlo come una struttura efficiente e conveniente.

Le piccole e medie imprese incontrano maggiori difficoltà rispetto alle grandi aziende nel conformarsi a nuove disposizioni in materia energetico-ambientale: quanto più piccola è l'azienda, tanto più grande è l'ostacolo. Realizzare interventi per migliorare le prestazioni energetiche può comportare un incremento dei costi iniziali necessari alla costruzione o ristrutturazione degli edifici industriali, ma sarà poi possibile trarre vantaggio dalla riduzione dei consumi energetici.

La Provincia di Bologna è impegnata da alcuni anni nella qualificazione dei propri insediamenti industriali sotto il profilo della sostenibilità economica, sociale ed anche ambientale. In particolare si sta lavorando per la realizzazione di Aree Produttive Ecologicamente Attrezzate (Apea): un modello innovativo di area produttiva, i cui obiettivi strategici sono da un lato ridurre al minimo l'impatto ambientale ed il consumo di risorse, dall'altro fornire un vantaggio competitivo alle aziende, in particolar modo le pmi, attraverso la riduzione dei costi energetici, servizi di qualità e una gestione efficace.

Lo scopo di questo studio è fornire alcune indicazioni e spunti per stimolare la diffusione di capannoni energeticamente efficienti, nelle Apea ma non solo, sia nel caso di nuove costruzioni che di ristrutturazione del patrimonio esistente.

BEATRICE DRAGHETTI
Presidente della Provincia di Bologna

Introduzione

La Provincia di Bologna è impegnata da alcuni anni nella qualificazione dei propri insediamenti industriali sotto il profilo della sostenibilità economica, sociale ed anche ambientale. In particolare sta lavorando per la realizzazione di Aree Produttive Ecologicamente Attrezzate (Apea)¹. La qualifica di Apea non rappresenta solo uno strumento di valorizzazione ecologico-ambientale del territorio, ma al tempo stesso costituisce un'opzione strategica per la crescita di competitività del sistema produttivo. Si tratta quindi di caratterizzare le Apea come aree innovative di investimento, cantieri dell'innovazione manifatturiera declinata in chiave ambientale.

Uno dei primi risultati conseguiti dal gruppo di lavoro provinciale è rappresentato dall'elaborazione di *Linee guida per la realizzazione di Apea*, all'interno delle quali sono contenute indicazioni sia di carattere progettuale che gestionale, sia alla scala insediativa che edilizia.

Questo studio rappresenta un'occasione di approfondimento di alcuni contenuti alla scala del singolo manufatto edilizio, allo scopo di fornire indicazioni utili ad orientare la progettazione degli edifici ad uso produttivo in un'ottica di sostenibilità ambientale e risparmio energetico. La ricerca tuttavia non si rivolge solo agli edifici localizzati all'interno delle aree ecologicamente attrezzate, ma cerca di fornire alcune indicazioni utili in merito al soddisfacimento di quanto prescritto dalla recente normativa nazionale e regionale sulla certificazione energetica degli edifici, che si applica in generale agli edifici ad uso produttivo.

Le informazioni qui contenute sono utilizzabili dal gruppo di tecnici coinvolto nella progettazione. Si è voluto realizzare uno strumento di semplice comprensione, in modo tale che possa essere utilizzato nel processo decisionale anche dai possibili committenti, gli imprenditori.

Lo studio è rivolto principalmente alle piccole e medie imprese (pmi) che caratterizzano qualitativamente e numericamente il nostro sistema produttivo locale.

L'indagine si compone di tre parti:

- una prima parte, dove si analizzano i principali sistemi che determinano le prestazioni energetiche ed il confort degli edifici ad uso produttivo;

¹ Il concetto di aree ecologicamente attrezzate è stato introdotto dal D. Lgs. 112/98 (Bassanini, art. 26). La regione Emilia Romagna ha recepito tali indicazioni nella legge 20/2000 (art. A-14) e successivamente nell'Atto di indirizzo e di coordinamento tecnico in merito alla realizzazione in Emilia-Romagna di aree ecologicamente attrezzate, approvato con Delibera di Giunta n.118 il 13 giugno 2007.

- una seconda parte, più propriamente sperimentale, dove si riassumono i contenuti introdotti dalle recenti normative sulla certificazione energetica degli edifici e si effettuano delle simulazioni su un edificio produttivo di piccola taglia, adatto alle esigenze medie delle pmi, applicandovi differenti soluzioni tecnico-impiantistiche e ad elevate prestazioni energetiche. I risultati raggiunti sono verificati attraverso un'analisi costi-benefici.
- un'appendice, nella quale si ricostruiscono le vicende urbanistiche di alcuni insediamenti artigianali e industriali della provincia bolognese, e si analizzano alcune buone pratiche scelte nell'attuale panorama nazionale e internazionale.

Nella prima parte della ricerca, l'edificio è stato scomposto nei principali sistemi che ne determinano le prestazioni energetiche:

- la copertura;
- le chiusure trasparenti;
- le pareti esterne;
- il solaio a terra;
- gli impianti per la climatizzazione invernale ed estiva.

Per ogni sistema analizzato sono presentate diverse soluzioni tecnologiche, facilmente reperibili sul mercato nazionale, di cui sono state indicate le principali caratteristiche in termini di prestazione energetica. Si sono presi in considerazione anche i possibili apporti energetici gratuiti determinati da un corretto orientamento e dallo studio della forma geometrica dell'edificio e delle aperture, e gli apporti che possono derivare dall'utilizzo di fonti energetiche rinnovabili, quali l'installazione di pannelli fotovoltaici o collettori solari, resi in parte obbligatori dalle nuove disposizioni normative.

Nella seconda parte dello studio è presentata una sintesi della normativa nazionale e regionale sul rendimento energetico degli edifici, con particolare riferimento all'uso produttivo. Al fine di effettuare simulazioni di certificazione, si è proceduto a definire i parametri geometrici (con particolare riferimento al rapporto fra superficie disperdente e volume riscaldato, e alla possibilità di ottenere guadagni gratuiti) ed energetici (riferiti in maniera specifica alle condizioni della zona climatica di Bologna) del modello da utilizzare nell'area di calcolo. Le analisi sono state eseguite senza l'ausilio delle linee guida ministeriali per la certificazione energetica degli edifici, ancora non disponibili, ma si è fatto specifico riferimento all'Atto di Indirizzo della Regione Emilia Romagna. Si è proceduto quindi a studiare le prestazioni energetiche del capannone, al variare delle soluzioni adottate per ciascun sistema edilizio individuato. Le simulazioni partono da un edificio riconducibile allo standard attuale, a cui si applicano soluzioni tecnologiche sempre più performanti, allo scopo di ridurre il fabbisogno di energia primaria per la climatizzazione estiva ed invernale, fino a pervenire a costruzioni in grado di soddisfare i propri

fabbisogni anche solo attraverso le energie rinnovabili (edificio a *bolletta zero*). Nello studio delle diverse soluzioni sono stati valutati sia i costi di realizzazione che i costi di gestione per la climatizzazione, e si è calcolato il periodo di ritorno degli investimenti, al fine di evidenziare il rapporto costi-benefici. Tutte le analisi e valutazioni presentate in questo documento sono riferite ai fabbisogni primari di energia, ovvero all'energia necessaria a garantire il confort climatico agli ambienti di lavoro interni, mentre non sono presi in considerazione i consumi energetici determinati dai processi produttivi veri e propri.

In passato sono stati condotti studi autorevoli per la ricerca di un “capannone modello”. Il documento elaborato non aspira a questo, anzi non si ritiene corretto perseguire questo approccio: riferirsi ad una situazione *tipo*, astratta, di fronte ad una realtà estremamente eterogenea, genererebbe necessariamente delle diseconomie. È importante per una progettazione di qualità, fare riferimento alle esigenze specifiche sia del contesto in cui ci si insedia, sia di chi andrà ad utilizzare quegli spazi. Lo studio effettuato, non ha quindi lo scopo di proporre un modello da replicare acriticamente, ma piuttosto di attivare una riflessione e attenzione verso il tema della progettazione energeticamente efficiente, analizzando alcune possibili soluzioni, evidenziando costi e benefici.

Il mercato globale, la delocalizzazione produttiva, la concorrenza, impongono alle imprese scelte di breve - medio periodo. La progettazione energeticamente efficiente di uno stabilimento produttivo richiede un investimento iniziale maggiore a fronte di un periodo di ritorno dell'investimento in tempi medio-lunghi, anche se probabilmente il costante e considerevole aumento dei costi per l'acquisto di petrolio ed energia elettrica determinerà una compressione del periodo di *pay-back*. La possibilità di accedere a specifici canali di finanziamento può contribuire a rendere l'intervento maggiormente appetibile. È opportuno poi prendere in considerazione anche i vantaggi indiretti che derivano da un'attenta progettazione del capannone: un luogo di lavoro di qualità, che assicura elevati livelli di *confort*, può concorrere ad aumentare la produttività dei lavoratori; inoltre, un'attenzione verso l'ambiente e un utilizzo efficiente delle risorse, in particolare energetiche, può migliorare l'immagine dell'impresa e costituire quindi un vantaggio competitivo.

Nell'appendice, infine, sono presentate le politiche per gli insediamenti produttivi in provincia di Bologna. Inoltre sono mostrate alcune recenti realizzazioni, significative a livello europeo e nazionale, che possono essere di riferimento per la progettazione di nuovi edifici o anche solo fornire importanti spunti di riflessione.

1. I SISTEMI DELL'EDIFICIO

Gli immobili ad uso produttivo possiedono caratteristiche differenti rispetto ai manufatti di tipo residenziale, in termine di costo, di durata della vita utile, di confort, di flessibilità funzionale degli spazi e di impianti. Per quanto riguarda le abitazioni le esigenze dei fruitori sono piuttosto omogenee; diversamente le imprese possono avere bisogni particolari legate ad esigenze di carattere produttivo: ad esempio, le altezze degli edifici possono essere anche piuttosto elevate (carro ponte, silos, magazzini automatici...), le superfici adibite ad uffici o magazzino possono essere più o meno ampie, le lavorazioni eseguite possono necessitare di particolari condizioni termigrometriche.

Il settore industriale fa ampio ricorso ai sistemi di prefabbricazione, per questioni di economia, facilità e velocità di posa in opera. Molti stabilimenti vengono realizzati da operatori immobiliari ad uno stadio di cosiddetto "grezzo avanzato" (è realizzato l'involucro esterno e gli impianti, senza le finiture) e poi personalizzati o frazionati dall'acquirente o dal locatario. Questa pratica non facilita il raggiungimento di un rapporto costi-benefici ottimale, in quanto non è possibile conoscere in anticipo le esigenze specifiche dell'utilizzatore finale. Ad esempio, non è importante realizzare sistemi con elevati isolamenti termici, qualora i capannoni siano utilizzati esclusivamente come deposito-magazzino non riscaldato, oppure quando vi si debba svolgere un processo produttivo che determina un eccesso di calore (come ad esempio nel settore ceramico o nelle fonderie).

Si è qui cercato di analizzare i sistemi che maggiormente influenzano le prestazioni energetiche degli edifici di carattere industriale. Le soluzioni tecnologiche presentate non costituiscono una panoramica esaustiva ma sono state individuate sulla base dei seguenti criteri: facile reperibilità sul mercato, efficienza e semplicità funzionale, un favorevole rapporto costi-benefici. Alcune considerazioni - quale ad esempio l'orientamento rispetto all'asse eliocentrico - sono applicabili solo ai nuovi edifici ma in generale sono prospettate soluzioni riferibili sia a nuove realizzazioni sia a ristrutturazioni che possono avvenire intervenendo anche in uno solo dei sistemi analizzati.

I sistemi studiati sono:

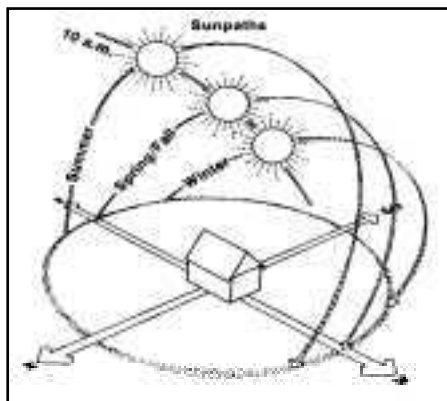
- l'orientamento, la geometria e i benefici passivi;
- la copertura;
- le chiusure trasparenti;
- le pareti esterne;
- il solaio a terra;
- gli impianti per la climatizzazione invernale ed estiva.

1.1 Orientamento, geometria e benefici passivi

Il clima continentale europeo, pur con le sue spiccate differenze di quota e latitudine, spinge il progettista a compiere uno sforzo di mediazione tra la stagione invernale e quella estiva. L'obiettivo di sempre, perseguire le migliori condizioni di comfort possibili, oggi diventa anche una stringente necessità di risparmio energetico.

A tale scopo occorre massimizzare gli apporti solari nella stagione sottomiscelata e minimizzare quelli nella stagione surriscaldata, fermo restando l'uniformità dell'energia incidente sulle pareti dell'involucro diversamente orientate. Per raggiungere questo obiettivo è necessario prendere in considerazione sia aspetti progettuali che impiantistici.

L'orientamento e la geometria



È importante orientare in maniera corretta l'edificio in modo da ottimizzare lo sfruttamento della radiazione solare. L'orientamento lungo l'asse Est-Ovest, con una variazione massima bilaterale di 15°, permette di massimizzare la captazione solare invernale e meglio controllare l'irraggiamento in quella estiva.

Il tema dell'orientamento dovrebbe essere affrontato nel caso di nuove realizzazioni a partire dalla progettazione urbanistica del *lay out* dell'insediamento, al fine di facilitare una corretta organizzazione dei corpi edilizi, in coerenza con il disegno dei lotti e delle infrastrutture viabilistiche. Tuttavia è possibile trovare soluzioni di qualità anche per lotti di completamento. È il caso della nuova sede del National Trust a Swindon (Inghilterra)², dove il progettista, non potendo orientare correttamente l'edificio a causa del contesto urbanistico, ha disposto lungo l'asse eliocentrico gli shed delle coperture, con una scelta stilistica particolare ed interessante.

Grazie ad un corretto orientamento è possibile ottenere un incremento del 30% dei benefici passivi legati all'apporto solare, come dimostrato nella parte sperimentale dello studio. Questo non significa però un risparmio energetico del 30%, poiché alla determinazione delle prestazioni energetiche

² Vedi scheda in appendice.

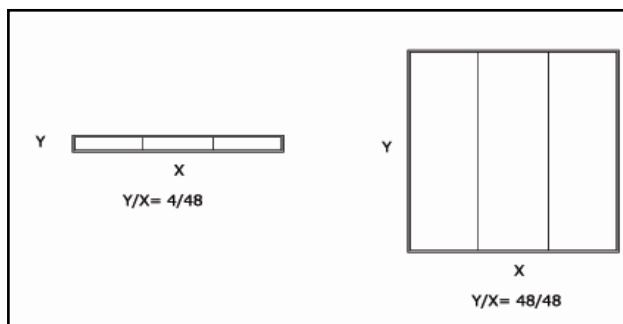
complessive concorrono molti altri fattori. Inoltre, il corretto orientamento deve essere coerente con il disegno delle aperture, altrimenti può rivelarsi inutile se non addirittura controproducente.

ORIENTAMENTO	APPORTI SOLARI SULLE SUPERFICI TRASPARENTI - kWh/ANNO
SudEst / NordOvest	28.191
Sud / Nord	29.063
Est / Ovest	30.114

Tab. 01 – apporti solari in kWh/anno in funzione dell'orientamento, misurati sul modello del progetto pilota.

In questa tabella viene confrontato l'apporto solare sulle superfici trasparenti, al netto di soluzioni migliorative di schermatura: l'apporto annuale risulta medio ovvero ottimale per il compromesso estate-inverno con l'orientamento sud-nord.

Per evitare di parlare di orientamento e parametri geometrici in termini troppo generali, si è ritenuto opportuno ragionare alla scala locale, in particolare si è preso come riferimento il piano particolareggiato della zona industriale di Ponte Rizzoli, primo progetto sperimentale per la realizzazione di Aree produttive ecologicamente attrezzate (Apea) in provincia di Bologna.



In relazione alle caratteristiche logistiche e funzionali di tale insediamento, si sono presi in considerazione moduli edilizi di tipo rettangolare, e ne è stata calcolata l'energia incidente al variare dei rapporti dei lati (Y/X) dell'edificio tipo. In particolare, si è partiti da una forma allungata ($Y/X = 4/48$) fino ad arrivare a quella quadrata ($Y/X = 48/48$).

L'energia incidente sull'unità di superficie dell'involucro edilizio può essere calcolata sommando il contributo della radiazione diretta, diffusa e riflessa del terreno; la radiazione diffusa e riflessa non risente dell'influenza della geometria e dell'orientamento dell'edificio. L'energia incidente sull'unità di superficie quindi è funzione dell'irraggiamento sul piano orizzontale, dell'orientamento dell'edificio attraverso i fattori di inclinazione della radiazione diretta e del rapporto in pianta dei lati (Y/X). La forma che ottimizza l'energia annuale incidente, ricevendo l'apporto maggiore nella stagione di riscaldamento e quello minore nel periodo estivo, è quella rettangolare

allungata ($Y/X = 4/48$) con i lati minori esposti a Est e a Ovest. Il lato maggiore dell'edificio risulta quindi esposto a Sud e ricorda una stringa di un impianto solare.

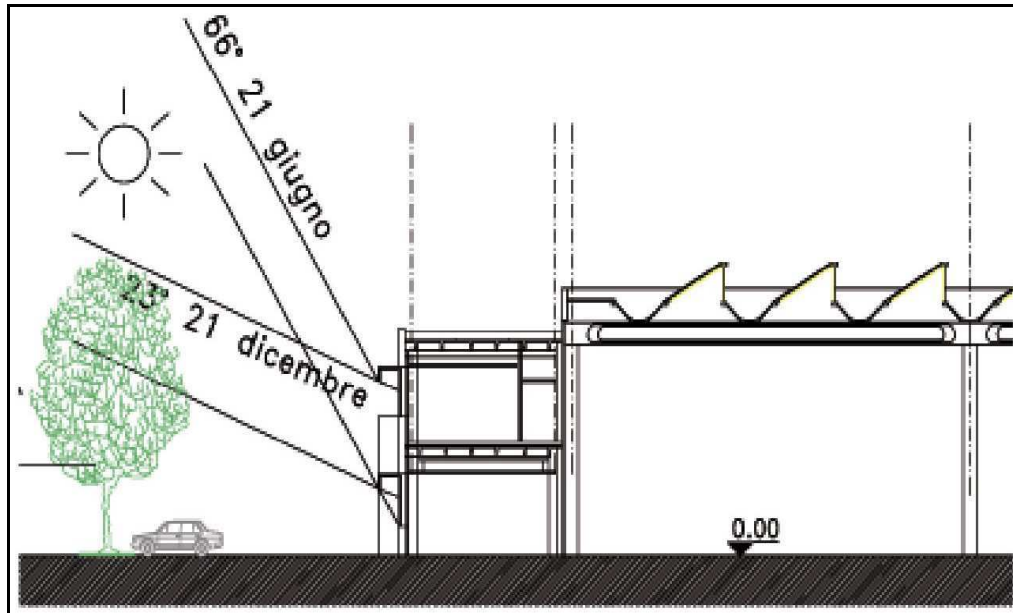


Fig. 1, verifica della massima incidenza dei raggi solari sia in estate sia in inverno in una ipotesi di edificio – capannone e uffici su due piani – nella Apea di Ponte Rizzoli; estratto dal progetto redatto a cura di Tecnicoop.

La proporzione in pianta dei lati $Y/X = 4/48$ massimizza inoltre l'indice ottenuto come rapporto tra l'energia incidente nel periodo di riscaldamento e la corrispondente energia incidente nel periodo di raffreddamento. Un rettangolo con queste proporzioni si presenta però come un blocco molto allungato e poco funzionale agli usi di carattere produttivo. Pertanto, nell'area di calcolo del progetto pilota è stato ridimensionato ed adattato per l'inserimento modulare all'interno di un'area di espansione di tipo artigianale ed industriale, funzionale a esigenze logistiche e di viabilità. Si è preso in considerazione un rapporto $Y/X = 3/18$, ovvero con i lati corti esposti ad Est e Ovest di 30 metri, con il lato lungo di 180 metri, suddivisibile in tre moduli da 60 metri ciascuno.

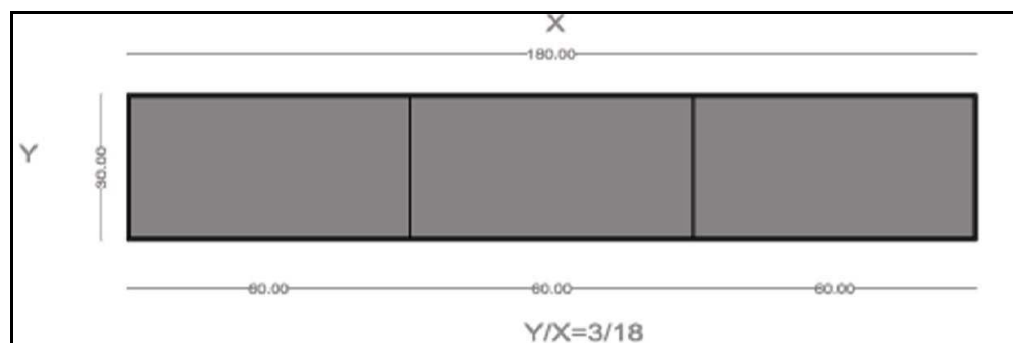


Fig. 2 – Modulo composto da tre celle di 30mx60m.

Il sistema studiato, denominato “*stringa solare*”, è così composto:

- *celle* (30m x 60m),
- *moduli*, formati da tre celle accostate (30m x 180m),
- *stringhe*, formate da più moduli componibili a seconda delle esigenze.

Per mantenere le caratteristiche ottimali di energia annuale incidente occorre, in analogia ad un impianto solare, mantenere una distanza tra le *stringhe* edilizie di 2,5 volte l'altezza della facciata Nord prospiciente; in questo modo si ottimizzano gli apporti energetici nel periodo invernale rendendo minimi gli ombreggiamenti reciproci.

Nel definire la geometria dell'edificio, occorre inoltre tenere in considerazione che a parità di volume, il fabbisogno energetico di un edificio decresce progressivamente con la riduzione della superficie disperdente (superficie che delimita il volume riscaldato verso l'esterno, ovvero verso ambienti non dotati d'impianto di riscaldamento).

La distribuzione interna

Importante nella progettazione dell'edificio è un'attenta distribuzione e localizzazione degli spazi, in relazione al loro uso effettivo. Si è riscontrato che realizzare grandi volumi con moduli standard, consente forti economie progettuali costruttive, ma in fase di fruizione questo determina spesso spazi non utilizzati o sotto utilizzati e considerevoli aumenti dei costi di gestione.

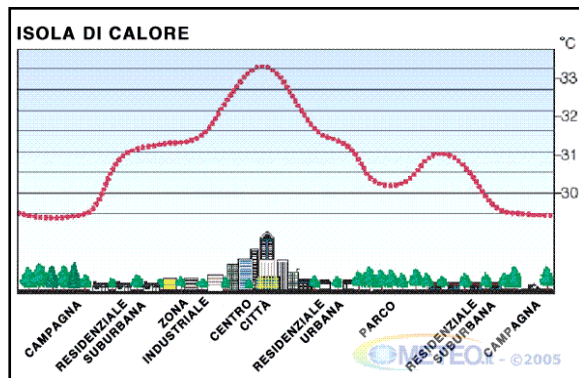
È preferibile localizzare i magazzini non riscaldati a nord e la zona uffici a sud, in modo da ottimizzare gli apporti solari gratuiti, debitamente controllati e mitigati; alla zona di produzione andrà garantita la maggiore ventilazione naturale possibile e le migliori condizioni di luce solare durante l'intero arco della giornata (shed³ orientati a nord e finestre su pareti contrapposte rispettivamente a est ed ovest).

L'isola di calore

L'isola di calore è un fenomeno che si misura sia alla scala urbana sia alla scala del singolo manufatto edilizio. Alla scala urbana consiste in un aumento della temperatura (oltre che alla formazione di smog fotochimico ed in particolare di ozono) causato dai processi di industrializzazione, dai sistemi di trasporto e dalla crescente urbanizzazione. L'asfalto, il calcestruzzo e le murature in genere assorbono più energia rispetto alla copertura vegetale (10-20%); il calore viene poi rilasciato tramite irraggiamento con conseguente

³ Tipo di copertura usato in edifici a uso industriale come capannoni, saloni ecc. dove è necessaria una luce diffusa. È costituito da una successione di falde inclinate alternate ad altre quasi verticali, vetrate che determina il caratteristico profilo a denti di sega.

surriscaldamento dell'aria delle città. Inoltre, il suolo urbano presenta una scarsa capacità di trattenere acqua; ne consegue una minore evaporazione e un minore raffreddamento della temperatura in prossimità del terreno. Alcuni Comuni, come Firenze, hanno inserito nel proprio regolamento edilizio disposizioni finalizzate alla diminuzione di questo fenomeno, attraverso il controllo dell'albedo⁴ della pavimentazione degli spazi pubblici (privilegiando



quindi superfici chiare), la realizzazione di adeguate quantità di verde in modo tale da produrre effetti migliorativi sul microclima, l'ombreggiamento degli edifici ma anche dei parcheggi.

Fig. 3 – l'isola di calore a livello urbano – immagine tratta da <http://www.meteoparma.com/>

L'isola di calore può verificarsi anche a scala edilizia. Nei capannoni industriali, ad esempio, si genera soprattutto nella zona della copertura e nelle pavimentazioni dei piazzali limitrofi allo stabilimento. Le temperature elevate che si registrano in vicinanza di queste superfici, determinano un aumento dei consumi energetici per la climatizzazione estiva, oltre a rendere disagiata la permanenza durante le ore più calde della giornata negli spazi esterni di pertinenza. Per evitare questi fenomeni, occorre utilizzare superfici con un elevato albedo, ovvero che non assorbono il calore, ma lo riflettono in gran parte. Possono essere di contributo alla risoluzione del problema l'impiego di tetti verdi, ad esempio, ma anche la semplice scelta di tonalità chiare per il rivestimento delle coperture⁵ garantisce un sensibile aumento dell'albedo.

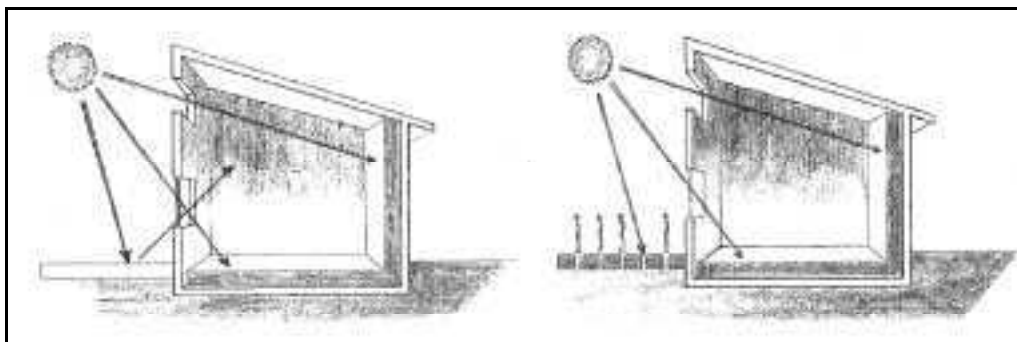


Fig. 4 – riflessione e assorbimento della radiazione solare nel rapporto tra l'esterno e l'interno dell'edificio.

⁴ L'albedo di una superficie è la frazione di luce o di radiazione incidente che viene riflessa. L'albedo massimo è 1 (bianco) e il minimo zero (nero). La maggiore o minore riflessione di radiazione incidente, e il conseguente assorbimento, può influenzare la temperatura di un corpo.

⁵ Nel capitolo 1.1.2 sulle coperture è illustrato il sistema *cool roof* che sfrutta gli alti coefficienti di albedo per ridurre l'isola di calore.

Per quanto attiene agli spazi esterni pertinenziali, una presenza diffusa del verde produce effetti positivi sul microclima dell'area mitigando i picchi di temperatura estivi grazie all'evapotraspirazione, ed inoltre consente di controllare l'irraggiamento solare diretto sugli edifici e sulle superfici circostanti durante le diverse ore del giorno.

Colore	Riflessione
Bianco	70-85
Giallo	65-75
Grigio chiaro	45-65
Grigio scuro	10-20
Verde chiaro	30-55
Verde scuro	10-25
Rosso chiaro	25-35
Rosso scuro	10-20
Celeste	30-55
Blu	10-25
Nero	5

In linea di principio generale, si consiglia di utilizzare rivestimenti chiari per le zone maggiormente esposte al sole e specie arboree caducifoglie per le aree a verde. La presenza di piante caducifoglie permette, infatti, di schermare la pavimentazione dalla radiazione solare durante le ore più calde del periodo estivo, permettendo invece l'apporto termico durante l'inverno.

Fig. 4 - valori di riflessione dei principali colori (il valore 100 indica un albedo pari 1 ovvero una riflessione totale, il valore pari a 0 indica un totale assorbimento).

Il sistema di raffrescamento *free cooling*

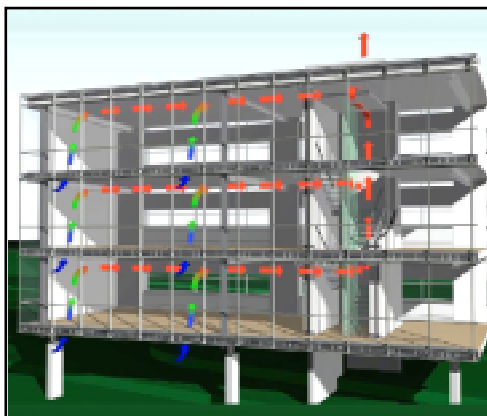
Il *free cooling* è un sistema naturale per il raffrescamento che sfrutta la differenza di temperatura tra ambienti diversi, in particolare tra gli ambienti domestici e di lavoro e quella del sottosuolo o dell'esterno, come nel caso del raffrescamento notturno. Durante il periodo estivo la temperatura interna dell'edificio è superiore alla temperatura esterna ma la differenza è ancora maggiore rispetto alla temperatura del sottosuolo che mitiga maggiormente il surriscaldamento diurno.

Il *free cooling* ha caratteristiche di estrema eco-compatibilità ed era già diffuso nel passato, ad esempio è utilizzato in alcune ville palladiane. Nell'edificio pilota che è stato utilizzato per effettuare i calcoli delle prestazioni energetiche, si è adottato un sistema molto semplice, composto da tubi inseriti nel sottosuolo. In questo modo, lo scambio di aria fresca proveniente dal sottosuolo è in grado di garantire una clima gradevole nelle prime ore della giornata, grazie ad una differenza di temperatura di circa 8°C. Nella progettazione di tali impianti, molto semplici ed economici, è necessario prestare attenzione a:

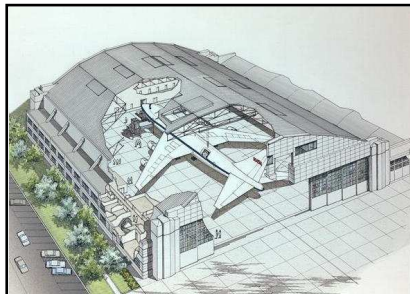
- lunghezza delle tubazioni (non inferiore ai 10 m),
- diametro delle tubazioni (non inferiore ai 20 cm),
- profondità delle tubazioni stesse (compresa tra 1,5 e 3 m).

In questo modo si ottiene una velocità dell'aria compresa tra i 4 e gli 8 m/s.

Fig. 5 – *raffrescamento naturale attraverso lo scambio di aria tra l'esterno dell'edificio e l'interno, dove si è creato un corridoio per la ventilazione. - Schema della ventilazione per il Palazzo Uffici iGuzzini di Recanati (progetto di Mario Cucinella Architects).*



1.2 La copertura dell'edificio



Le coperture degli edifici industriali devono garantire luci molto grandi per lasciare libere dai pilastri le aree sottostanti, adibite a luoghi di produzione o stoccaggio dei materiali. Gli hangar per gli aerei, i dirigibili, i treni o i cantieri navali, sono strutture imponenti e affascinanti dal punto di vista strutturale e ingegneristico.

Fig. 6 – hangar per aerei – immagine tratta dal sito wikipedia <http://it.wikipedia.org/wiki/Immagine:Hangar.jpeg>

Negli edifici ad uso produttivo la copertura assolve a diverse funzioni: protezione dagli agenti atmosferici, isolamento termico e ventilazione, ma anche fonte di illuminazione, poiché le pareti esterne spesso non garantiscano un sufficiente apporto di luce naturale, a causa della profondità consistente di queste strutture. Gli shed - la tradizionale copertura a dente di sega - orientati a nord garantiscono una luce diffusa e indiretta, evitando abbagliamento e rifrazione. Sono invece da evitare sistemi che determinano un'illuminazione zenitale diretta, quali cupolini, poiché possono provocare fenomeni di abbagliamento e surriscaldamento.



La copertura si compone di una parte strutturale che assolve alle funzioni statiche e di un pacchetto di chiusura che garantisce l'impermeabilità ed è responsabile dell'isolamento termico. Le due componenti sono trattate di seguito in maniera distinta.

Fig. 7 – coperture in ds con elementi prefabbricati e illuminazione a shed.

La struttura di copertura

Le strutture di copertura degli edifici industriali sono caratterizzate da luci - distanza tra un appoggio e l'altro - di dimensioni molto maggiori rispetto al settore residenziale. In termini statici, occorre fare ricorso a travi con sezioni consistenti, soprattutto in altezza, per aumentare il momento centrale d'inerzia. In termini costruttivi, invece, si può ricorrere a due differenti soluzioni: a strutture di tipo "pesante" come il cemento armato o di tipo "leggero" come le strutture metalliche o in legno lamellare.

Strutture di copertura in cemento armato

Il cemento armato consente un vastissima gamma di applicazioni e la realizzazione di qualsiasi tipo di sezione, garantendo la possibilità di coprire ampie luci e resistere a carichi notevoli. Può essere gettato direttamente in cantiere (nel caso di edifici industriali non è però una pratica frequente) oppure può essere facilmente reperito sul mercato della prefabbricazione. Le sezioni più usate sono quelle di tipo allungato per la loro elevata resistenza alla flessione. Le sezioni a L e a T rovescia possono essere impiegate anche come via di corsa per il carro ponte.



Fig 8 e 9 – travi prefabbricate in cls per la struttura di copertura di edifici industriali e carro ponte che corre lungo l'asse longitudinale della trave in cemento armato

Il cemento armato di tipo tradizionale non consente luci maggiori di 10-12 metri, pertanto nell'edilizia industriale si fa solitamente ricorso al cemento armato precompresso, soluzione che garantisce standard qualitativi e portanze maggiori. La precompressione delle armature non avviene in opera ma in stabilimento, consentendo una maggiore omogeneità del materiale finale e un migliore controllo chimico (esami di laboratorio). Le travi in cls precompresso sono alleggerite di gran parte del cemento che lavora inutilmente a compressione; la loro realizzazione prevede la tensione meccanica delle armature ad aderenza migliorata al momento del getto del cls ed un progressivo rilascio mano a mano che il cls si indurisce. Inizialmente erano impiegate solo per grandi strutture o opere infrastrutturali, ma ora la prefabbricazione ne ha ridotto i costi, e pertanto quando si parla di cemento armato nelle travi di copertura degli stabilimenti produttivi si sottintende quasi sempre la cosiddetta "precompressione".

Strutture di copertura metalliche

Le strutture metalliche possono essere impiegate per l'intera struttura portante dell'edificio, sia orizzontale sia verticale. In Italia la loro applicazione è piuttosto limitata, inferiore al 20%. Negli altri paesi europei la diffusione delle strutture metalliche è molto maggiore: in Inghilterra ad esempio raggiunge il

95% delle realizzazioni in campo industriale. In appendice ne è analizzato un esempio: la nuova sede di Ove Arup a Solihull, Birmingham (Inghilterra) presenta una struttura in acciaio completamente smontabile e riciclabile.

Le strutture di copertura in acciaio consentono la realizzazione di spazi ampi senza interruzioni di pilastri. Le sezioni delle travi in acciaio sono ottimizzate, e pertanto risultano più leggere: il migliore rapporto leggerezza - resistenza si raggiunge nelle travi reticolari. L'acciaio inoltre si integra perfettamente con gli altri materiali da costruzione, quali il cls (i due materiali hanno lo stesso coefficiente di dilatazione termica), il legno o la muratura.

Le strutture metalliche presentano costi unitari maggiori rispetto alle strutture in cls, anche in conseguenza ai notevoli aumenti del prezzo del ferro che si sono registrati negli ultimi tempi. Tuttavia grazie ad una progettazione accurata è possibile realizzare strutture con costi non superiori rispetto ad un capitolato tradizionale, come dimostrato nel caso dello Stabilimento Omes (vedi appendice). Una progettazione accurata è opportuna anche al fine di evitare problemi di deformabilità e instabilità locale (nel caso in cui l'intera struttura portante sia realizzata in acciaio). Importante ai fini del risultato finale è anche la realizzazione di un corretto montaggio.

L'acciaio presenta una scarsa resistenza al fuoco, a causa dell'elevata conduttività del materiale e delle criticità determinate dalle piastre di collegamento tra i vari elementi orizzontali e verticali. Da un punto di vista energetico, la conduttività termica che lo caratterizza, determina la necessità di eseguire una valida coibentazione e l'eliminazione dei ponti termici.



Fig. 10 – stabilimenti con strutture di copertura in acciaio

Strutture di copertura in legno lamellare

Fino a poco tempo fa l'utilizzo di strutture di copertura in legno lamellare era limitato a palestre e centri commerciali dove particolare importanza assume il risultato estetico. Negli ultimi anni questa tecnologia ha iniziato a diffondersi anche sul mercato produttivo, grazie anche ad una sensibile diminuzione dei costi e al fatto che alcune aziende specializzate sono in grado di produrre

elementi di qualsiasi forma e dimensione (con asse rettilineo o curvo, totalmente o parzialmente, con luce massima fino a 50 metri).

Le travi lamellari garantiscono una perfetta integrazione e collaborazione con gli altri materiali – anche gli elementi in calcestruzzo prefabbricato – facilitando e velocizzando la fase di posa in opera.



Fig. 11 – particolare della struttura di copertura in legno lamellare - *Valeggio sul Mincio (Vr) – Edificio ad uso industriale, realizzato da Moretti Industria delle Costruzioni.*

Da un punto di vista strutturale il legno può essere assimilabile all'acciaio, ma presenta una migliore resistenza al fuoco, grazie ad una combustione estremamente lenta dovuta alla mancanza di fessurazioni e al fatto che la bassa conduttività termica garantisce protezione alla parte centrale della trave stessa (nocciolo centrale d'inerzia). È caratterizzato inoltre da un ottimo comportamento antisismico.



Fig. 12 – *Stabilimento Campari a Novi Ligure (Alessandria), il legno lamellare è utilizzato sia nei porticati esterni sia nelle coperture con lucernari.*

Le struttura in legno lamellare per la copertura è stata considerata anche nello sviluppo del progetto pilota dei prossimi capitoli, per i vantaggi di cui si è parlato in precedenza e perché la maggiore diffusione sul mercato ha reso i costi (fornitura e posa in opera) paragonabili a quelli delle strutture tradizionali in calcestruzzo prefabbricato.



Fig. 13 – stabilimento Campari Cinzano a Novi Ligure, progettato da Enoconsult Srl

Un'altra applicazione del legno per le coperture in campo industriale è rappresentata dai “tegoli prefabbricati in calcestruzzo e legno lamellare”.

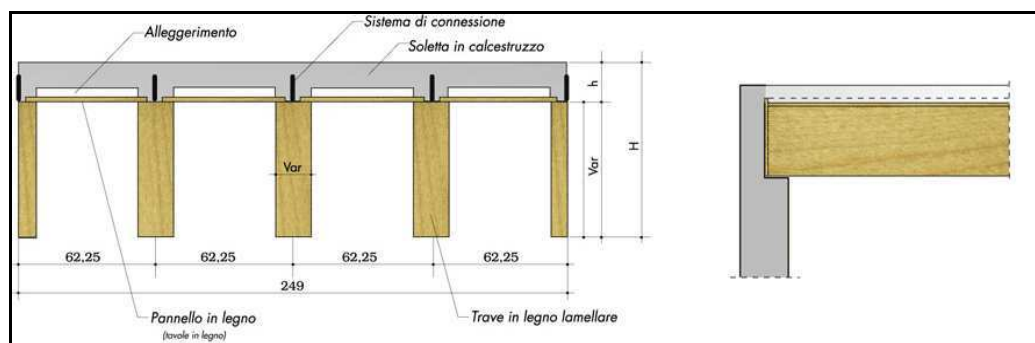
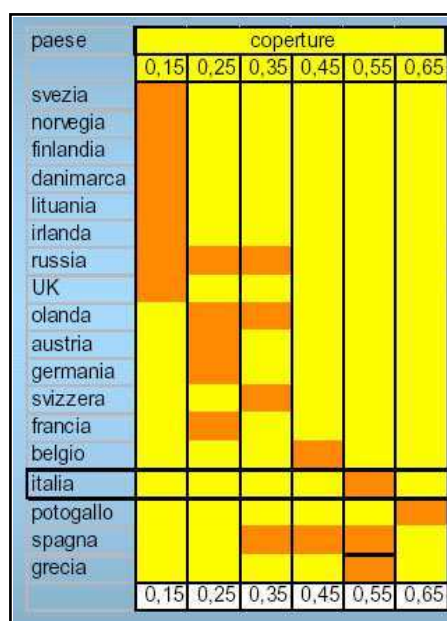


Fig. 14 - solaio misto in legno lamellare e calcestruzzo con pannelli di copertura Profidec, - sezione trasversale e longitudinale, particolare delle luci tra le travi e attacco trave lignea e pilastro in calcestruzzo - informazioni e tratte dal sito <http://www.ledile.com>

Il pacchetto di copertura

Il pacchetto di copertura garantisce la protezione dagli agenti atmosferici e l'isolamento termico, contribuendo a diminuire le dispersioni termiche dall'interno verso l'esterno dell'edificio nel periodo invernale e viceversa nel periodo estivo.

L'isolamento medio delle coperture nel nostro Paese è a livelli estremamente bassi. Le prestazioni energetiche delle coperture, e non solo, sono maggiori dove le condizioni climatiche invernali sono più sfavorevoli. Tuttavia anche nella nostra fascia climatica sarebbe opportuno aumentare l'isolamento della copertura.



Il valore di riferimento è la conduttività termica che esprime la capacità di un materiale di lasciar passare il calore: in pratica, minore è la conduttività, migliore è la proprietà isolante specifica di quel materiale o di quella soluzione.

Tab. 02 – le prestazioni medie delle coperture nei paesi dell'Unione Europea in relazione alla conduttività termica – dati da Energy Trophy, Progetto europeo a cura di AESS.

Relativamente al sistema di copertura, ci sono ampi margini di miglioramento anche nella ristrutturazione. Un'opportunità interessante per il patrimonio edilizio esistente è rappresentata dal nuovo Conto energia (DM 23/2/2007). Sono previsti incentivi per i sistemi fotovoltaici – i quali possono essere agevolmente integrati sulle coperture degli edifici industriali, dove tra l'altro la superficie utile corrisponde quasi sempre alla superficie della copertura - con una maggiorazione del 5% del contributo nel caso in cui si sostituisca una copertura esistente in *eternit* (cemento amianto), ancora piuttosto diffusa nei vecchi capannoni industriali.

Tipologia impianti	da 1 a 3 kWp	da 3 a 20 kWp	oltre 20 kWp
non integrati nell'edificio o installati a terra	0,40 €/kWh	0,38 €/kWh	0,36 €/kWh
parzialmente integrati	0,44 €/kWh	0,42 €/kWh	0,40 €/kWh
integrati	0,49 €/kWh	0,46 €/kWh	0,44 €/kWh

Tab. 03 – Le tariffe incentivanti del Conto energia (DM 23/2/2007) per kWh prodotto

I pacchetti di copertura possono essere realizzati con materiali e sistemi molto diversi tra loro, per prestazioni e prezzi. Di seguito si riportano alcuni esempi utilizzati nel campo dell'edilizia produttiva, impiegati anche nell'area di calcolo.

Copertura in lamiera grecata

Si tratta di una soluzione – con o senza coibentazione - economica e di facile applicazione, per questo molto diffusa. Spesso è impiegata in caso di sostituzione delle coperture esistenti in *eternit*.

La lamiera grecata non consente una coibentazione termica particolarmente elevata e neanche buone prestazioni acustiche (particolarmente in caso di pioggia o grandine). Dal punto di vista tecnico, può essere realizzata con differenti materiali (acciaio, alluminio, rame), può essere verniciata e l'isolamento (pannelli *sandwich*) può essere realizzato con poliuretano o lana di roccia, nel caso in cui si voglia garantire una maggiore resistenza al fuoco.



Fig. 19 - Nuova Cantina di Vinificazione a Mezzacorona (Tn.) progettata dallo Studio Cecchetto - dettaglio dei telai e della copertura in lamiera grecata appoggiata su tubi – Le fotografie sono state scattate da Luca Campigotto (Studio Cecchetto) e tratte dal sito www.promozioneacciaio.it

Copertura ventilata

Si tratta di un sistema costruttivo in cui tra lo strato esterno del rivestimento della copertura e lo strato interno è posta un'intercapedine che consente la ventilazione naturale. A differenza dei sistemi di isolamento nei quali l'aria secca e priva di alcun moto convettivo è utilizzata come isolante (ad esempio nei vetri a camera d'aria), nei sistemi ventilati l'aria circola nell'intercapedine. La ventilazione garantisce una maggiore durata della copertura stessa poiché elimina muffe e condense, determina inoltre una maggiore coibentazione, in grado di assicurare protezione dal freddo invernale ma soprattutto dal caldo estivo: si può arrivare a raggiungere un abbattimento del carico calorico superiore al 40%.

Particolare cura va posta nel dimensionamento della camera di ventilazione, in funzione della lunghezza della falda e della sua inclinazione. Laddove non si riesca a garantire uno strato sufficiente alla ventilazione (secondo le indicazioni della Norma UNI 9460) è consigliabile realizzare almeno uno strato di microventilazione, al fine di migliorare le prestazioni termoigrometriche.



Nel capannone che si è utilizzato per analizzare le prestazioni energetiche (capitolo 2), l'inclinazione e la lunghezza della falda ne favoriscono i moti convettivi ascensionali dovuti all'espansione dell'aria riscaldata.

Copertura cool roof (tetto freddo)

Il *cool roof*⁶ consiste in un rivestimento esterno della copertura in grado di garantire un'albedo elevata e di emettere energia termica nell'infrarosso. È un sistema vantaggioso quando viene applicato in climi caldi e in edifici con ampie coperture piane, mentre diventa svantaggioso in climi freddi, poiché elimina gli apporti solari gratuiti durante il periodo invernale. Il *cool roof*, infatti, non incide positivamente sui consumi energetici invernali, ma nel caso di climi caldi i vantaggi estivi compensano largamente gli svantaggi invernali. Consente infatti di:

- ridurre i costi di condizionamento estivo, garantendo anche un migliore confort termogrignometrico,
- ridurre l'isola di calore, e quindi proteggere gli elementi degli strati sottostanti della copertura dal degrado chimico e fisico dei materiali dei quali sono composti.



Il *cool roof* trova difficilmente applicazione in campo residenziale (necessita di una copertura piana) e nei centri storici (vincoli paesaggistici), ma è vantaggioso nel caso di edifici industriali. Il *cool roof* incide sui costi di realizzazione e necessita di manutenzione, anche se solo riferita alla pulizia per mantenere elevata l'albedo.

Il rivestimento in lamiera metallica lucida (non verniciata) non costituisce un sistema *cool roof* poiché ha una scarsissima emissione all'infrarosso anche se ha una albedo molto elevata.

I principali centri di ricerca in questo campo sono negli Stati Uniti (dove sono presenti ampie aree desertiche); qui è prevista anche una campagna di incentivazione per la loro installazione (2-3 dollari al mq) e un apposito sistema di certificazione. Nel caso di un edificio esistente in California, il rivestimento della copertura con un *cool roof* ha portato ad un innalzamento dell'albedo da 0,18 a 0,77 determinando un risparmio dei costi di

⁶ Alcune delle indicazioni riportate sono estrapolate dal documento "I Cool Roofs - Una soluzione innovativa per il risparmio energetico in edilizia" redatto dal Prof. Ing. Paolo Tartarini, e dal Dott. Ing. Alberto Muscio del Dipartimento di Ingegneria Meccanica e Civile Università di Modena e Reggio Emilia.

condizionamento estivo del 67% (fonte Lawrence Berkeley Laboratory report, 1993).



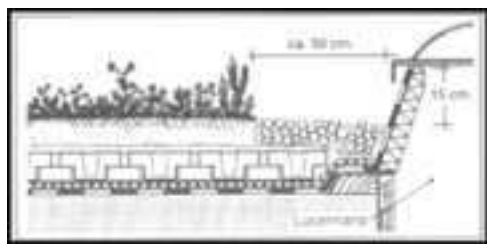
Fig. 20 – rilevazione della temperatura dell'aria a livello della copertura, prima e dopo l'applicazione del sistema cool roof. Prima dell'applicazione si è rilevata una temperatura di 81 °F in un pomeriggio assolato estivo in California; dopo l'applicazione, nelle medesime condizioni climatiche si è rilevata una temperatura pari a 33 °C.

Tetto verde

La copertura di un edificio industriale, solitamente ampia e piana o leggermente inclinata, si presta ad essere ricoperta di vegetazione. Tale soluzione non è molto diffusa in Italia. Un esempio di rilievo, per dimensioni e risultati economici, è costituito dal Ford Rouge Center nel Michigan, progettato dall'architetto americano William McDonough. L'edificio è stato ricoperto con tetti organici in grado di assorbire l'acqua meteorica, evitando così di scaricare le acque di prima pioggia (cariche di inquinanti) direttamente in fognatura. La soluzione, anche se in apparenza costosa a causa delle dimensioni dell'edificio (42.000 m² di tetto verde su 93.000 complessivi, per una spesa di circa 13 milioni di dollari) si è invece rivelata economica, poiché ha reso inutile la costruzione di un impianto di drenaggio e trattamento dell'acqua da 48 milioni di dollari.



Fig. 21 – Ford Rouge Center nel Michigan: rendering dell'area complessiva e il tetto verde di uno dei capannoni - Image and graphics by Ford Communications Network.



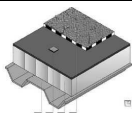
I tetti verdi possono essere estensivi e intensivi. Nel caso di capannoni industriali è sicuramente più indicato il verde estensivo perché ha un costo minore, un peso del pacchetto limitato (mediamente 80-120 kg/m²), necessita

di uno strato ridotto per accogliere la vegetazione (10 – 15 cm) e non richiede manutenzione grazie all'utilizzo di specie vegetali con basse esigenze nutritive, elevata resistenza agli stress termici ed idrici, bassa competizione inter ed intraspecifica, assenza di fenomeni di allopatria. Inoltre, le piante utilizzate per il verde estensivo non hanno problemi nei confronti dell'azione del vento, come può invece accadere nel caso di verde intensivo che ricorre anche ad alberature.

I vantaggi di una copertura verde per un edificio industriale, in sintesi, sono il miglioramento dell'isolamento termico, la riduzione della differenza di temperatura tra estate e inverno, dell'isola di calore e dei picchi di deflusso idrico.

È necessario però precisare che i tetti verdi limitano le possibilità di illuminare il capannone dall'alto, e l'installazione di pannelli fotovoltaici e collettori solari, hanno un costo sostanzialmente maggiore rispetto ai sistemi tradizionali e non esistono sistemi di prefabbricazione e di velocizzazione della posa in opera.

Nella parte sperimentale del manuale che fa riferimento al progetto pilota, si sono considerate alcune tipologie di coperture, al fine di valutare le loro prestazioni energetiche, anche in funzione del rapporto costo-benefici. Nella tabella sottostante riportiamo i parametri di tali coperture:

Coperture analizzate nell'area di calcolo		
	lamiera grecata	$U = 2.02 \text{ W/mq K}$
	lamiera grecata coibentata	$U = 0.75 \text{ W/mq K}$
	lamiera grecata mediamente isolata	$U = 0.55 \text{ W/mq K}$
	lamiera grecata molto isolata	$U = 0.50 \text{ W/mq K}$
	legno isolato e ventilato	$U = 0.30 \text{ W/mq K}$

1.3 Le chiusure trasparenti

Le finestre, tanto negli edifici industriali quanto in quelli residenziali, assolvono in primo luogo al compito di illuminare e garantire la ventilazione naturale, secondo gli obblighi previsti dai regolamenti d'igiene. Tuttavia nella progettazione delle chiusure trasparenti occorre controllare anche i flussi di radiazione solare che attraversano le stesse, in modo tale da evitare condizioni di surriscaldamento degli ambienti interni nella stagione calda, e allo stesso tempo evitare eccessive dispersioni termiche nella stagione fredda.

Controllo degli apporti termici solari delle chiusure trasparenti

Il controllo degli apporti termici solari delle chiusure trasparenti si attua attraverso scelte progettuali appropriate in merito a:

- orientamento,
- inclinazione ed area della superficie finestrata,
- proprietà termo-fisiche e ottico-solari dei materiali trasparenti impiegati.

Le superfici vetrate (salvo motivate esigenze legate all'attività) dovrebbero:

- garantire un adeguato guadagno termico nel periodo invernale,
- essere opportunamente schermate nel periodo estivo.

L'area trasparente deve quindi risultare dal bilanciamento tra esigenze di illuminazione naturale, e quelle di riduzione del fabbisogno energetico annuale complessivo per riscaldamento, raffrescamento e illuminazione. La superficie minima viene determinata in funzione delle esigenze di illuminazione naturale⁷. È poi possibile calcolare il valore ottimale della superficie trasparente (in funzione dell'orientamento), oltre il quale ogni ulteriore incremento delle aperture produrrebbe un aumento del fabbisogno termico superiore alla riduzione dei consumi per illuminazione.

È poi importante adottare sistemi di schermatura correttamente posizionati e dimensionati⁸ che consentano la penetrazione della luce naturale nel periodo invernale e la ostacolino nel periodo estivo, allo scopo di evitare fenomeni di abbagliamento e surriscaldamento estivi. È preferibile l'utilizzo di sistemi esterni poiché evitano il surriscaldamento del vetro; gli schermi fissi devono essere congruenti con l'orientamento della facciata e opportunamente dimensionati:

⁷ fare riferimento al requisito cogente 3.6 del Regolamento edilizio tipo della Regione Emilia Romagna.

⁸ Il D. Lgs. 311/2006 esclude gli edifici di categoria E8 da tale obbligo, tuttavia ai fini del risparmio energetico si ritiene opportuno incoraggiare l'adozione di tali sistemi, poiché possono contribuire in modo significativo al miglioramento delle prestazioni energetiche degli edifici a costi non eccessivi.

- le schermature orizzontali sono efficaci sulla facciata sud, impediscono la penetrazione della radiazione diretta nelle ore centrali estive, consentendo l'apporto solare invernale,
- le schermature verticali sono efficaci con ogni orientamento quando la direzione dei raggi solari non è contenuta in un piano parallelo a quello dello schermo e forma con esso un angolo di incidenza sufficientemente ampio da impedire la penetrazione dei raggi stessi.

paese	finestre				
	1,25	1,75	2,25	2,75	3,25
svezia					
norvegia					
finlandia					
danimarca					
lituania					
irlanda					
russia					
UK					
olanda					
austria					
germania					
svizzera					
francia					
belgio					
italia					
portogallo					
spagna					
grezia					
	1,25	1,75	2,25	2,75	3,25

Negli spazi produttivi in genere si privilegia l'illuminazione dall'alto poiché si tratta di strutture ad un unico piano e di grandi dimensioni. I lucernari (aperture con inclinazione orizzontale) costituiscono un elemento di vulnerabilità dal punto di vista del controllo solare estivo, pertanto necessitano di essere opportunamente schermati. L'adozione di sistemi a *shed* o simili (finestrature su piano verticale), orientati a nord o a sud, rappresentano un'alternativa meno sensibile rispetto al lucernario all'incremento termico solare estivo.

Tab. 04 – le prestazioni medie delle finestre nei paesi dell'Unione Europea in relazione alla conduttività termica – dati da Energy Trophy, Progetto europeo a cura di AESS.

Serramenti a bassa trasmittanza

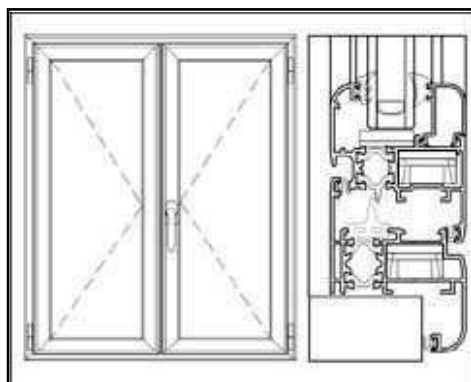
Nell'edilizia residenziale si è registrato un sostanziale rinnovo del parco degli infissi, con la diffusione di doppie finestre, o l'installazione di vetri doppi o tripli, per motivazioni di carattere estetico, di riduzione della rumorosità, di sicurezza e ultimamente per la riduzione dei consumi energetici. Il parco edilizio industriale, in particolar modo quello esistente, è invece rimasto fermo. La trasmittanza termica di una chiusura trasparente nel settore produttivo è mediamente 5-6 volte superiore rispetto a quella di una finestra di un'abitazione. Le ragioni sono varie: la componente estetica è sempre stata poco rilevante, la riduzione dei consumi energetici per il riscaldamento è stata trascurata poiché abitualmente molti edifici industriali non sono riscaldati proprio a causa della loro inefficienza energetica che renderebbe i costi di riscaldamento insostenibili, così come la coibentazione acustica. Il contenimento dei costi di realizzazione è ancora il fattore decisivo.

Altra caratteristica di rilievo nella scelta degli infissi è la leggerezza; in particolar modo nei sistemi a *shed*, utilizzando infissi leggeri è possibile contenere i fenomeni di *fluage*⁹ delle travi con luci elevate e garantire la loro apertura meccanizzata.

Nella progettazione di nuovi edifici produttivi non ci si può permettere di trascurare il valore della trasmittanza delle finestre poiché si correrebbe il rischio di non ottemperare alle prestazioni complessive imposte dalla certificazione energetica. Grazie alla vera e propria rivoluzione introdotta dal D.Lgs. 192/2005 e dal successivo D.Lgs 311/06, il mercato degli infissi sarà uno di quelli maggiormente sottoposti a innovazione. Il produttore dovrà certificare la trasmittanza termica dei serramenti, utile al progettista per il calcolo delle prestazioni energetiche dell'edificio. Nella nostra regione, ma in pratica su circa il 60-70% del territorio nazionale, si potranno adottare solamente serramenti con prestazioni termiche elevate: serramenti in legno, pvc, alluminio e acciaio a taglio termico. Analogamente si potranno montare solo vetri in grado di garantire gli standard prestazionali richiesti ovvero vetri basso emissivi o selettivi.

Infissi a taglio termico

L'utilizzo di un infisso a taglio termico al posto di uno non isolato garantisce una migliore coibentazione. La minore trasmittanza di tali profilati riduce la trasmissione di calore tra interno ed esterno del profilato stesso: sulla superficie del profilato isolato si hanno temperature più vicine a quelle dell'ambiente con il quale sono a contatto rispetto ad un profilato non isolato, riducendo la cessione di calore, che avviene per convezione tra l'aria in movimento e le superfici del profilato. Queste qualità termiche garantiscono un aumento del confort anche in regime estivo, quando l'ambiente esterno è molto più caldo rispetto agli ambienti interni climatizzati.



In sintesi, i vantaggi degli infissi a taglio termico sono riconducibili a:

- diminuzione del fabbisogno energetico per la climatizzazione estiva e invernale;
- riduzione (o eliminazione) dei fenomeni di condensa sui vetri e sui telai;
- migliore confort termoigrometrico.

Fig. 15 – sezione e prospetto di un infisso a taglio termico.

⁹ Deformazione viscosa permanente che può subire un materiale resistente sotto carico costante. Nel calcestruzzo la deformazione progredisce lentamente nel tempo, tendendo asintoticamente a un valore massimo, circa tre volte superiore a quello elastico.

All'aumentare del livello tecnologico dell'infisso, aumentano le prestazioni energetiche, ma anche il costo finale. La scelta degli infissi dovrà risultare coerente con le scelte progettuali e le prestazioni degli altri componenti dell'edificio: non ha infatti senso ridurre le dispersioni delle finestre se non si isola la copertura.

Vetro a bassa emissione

Per quanto attiene invece alle tipologie di vetro (le prestazioni energetiche si misurano nel sistema infisso-vetro), la tecnologia a bassa emissione migliora l'isolamento termico della finestra riducendo la dispersione del calore. Da un punto di vista estetico non presenta differenze rispetto ad un vetro camera tradizionale. In termini di vantaggi, invece, il vetro basso emissivo:

- riduce l'apporto di calore dei raggi solari durante il periodo estivo;
- riduce le dispersioni di calore durante il periodo invernale;
- non presenta fenomeni di condensa;
- ha elevati doti di trasparenza.

Per avere prestazioni energetiche ancora più elevate, è possibile sostituire la tradizionale aria disidratata contenuta nell'intercapedine delle vetro-camere con gas nobile, quale ad esempio l'Argon, senza eccessive maggiorazioni di costo. Ad esempio, l'impiego di un triplo vetro basso emissivo è caratterizzato da prestazioni che possono essere raggiunte da un doppio vetro basso emissivo con Argon, senza pertanto il raddoppio del costo della vetro-camera.

Vetro selettivo

I vetri selettivi sono ottenuti grazie al deposito di un sottilissimo strato di metallo nobile sulla lastra di vetro. In questo modo è possibile sia controllare l'irraggiamento solare, mantenendo comunque elevate capacità di luminosità, sia garantire un elevato grado di isolamento termico. I vetri selettivi lasciano passare i raggi solari visibili, e pertanto una grande quantità di luce naturale, bloccano invece i raggi ultravioletti e infrarossi (raggi solari invisibili) che in estate trasmettono il calore dall'esterno all'interno dell'edificio. Il termine "selettivo" deriva pertanto dalla caratteristica di fare passare un notevole flusso luminoso a fronte di uno scarso apporto energetico. Hanno capacità di isolamento termico analoghe, o migliori, rispetto ai vetri a bassa emissione. Hanno un costo decisamente elevato rispetto alle vetrature tradizionali; il loro impiego è rivolto soprattutto a edifici con sistemi di facciate vetrate che hanno bisogno di essere protette dalla radiazione solare, più a carattere terziario che produttivo. Nel sistema della vetro-camera si può utilizzare sia l'aria disidratata

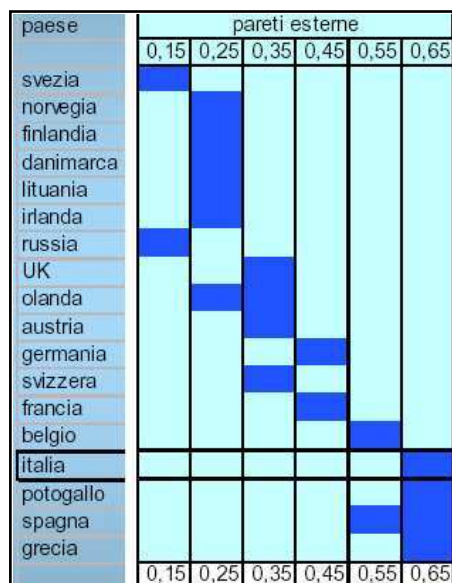
sia gas nobili per diminuire ulteriormente la trasmittanza, così come per i vetri a bassa emissione.

Nella parte sperimentale dello studio che fa riferimento al progetto pilota, si sono considerate alcune tipologie di superfici finestrate, al fine di valutare le loro prestazioni energetiche, anche in funzione del rapporto costo-benefici. Nella tabella sottostante riportiamo i parametri di tali infissi:

Infissi analizzati nell'area di calcolo		
	vetro singolo, telaio in metallo senza taglio termico	$U = 6.00 \text{ W/mq K}$
	vetro camera semplice e metallo a taglio termico	$U = 3.30 \text{ W/mq K}$
	vetro camera semplice e metallo a taglio termico	$U = 3.0 \text{ W/mq K}$
	vetro camera basso emissivo con aria e telaio in PVC	$U = 1.70 \text{ W/mq K}$
	vetro camera selettivo con aria e telaio in PVC	$U = 1.70 \text{ W/mq K}$

1.4. Le pareti esterne

Il settore produttivo, molto più di quello residenziale, ha sempre fatto largo uso dei sistemi di prefabbricazione degli elementi costruttivi, tra i quali le pareti esterne. I motivi sono riconducibili alla riduzione dei costi, alla velocità di posa in opera, alla poco sentita necessità di personalizzazione dovuta alla pratica del mercato immobiliare di vendere al grezzo.



La mancanza di una normativa sulla certificazione energetica, non ha mai incoraggiato i produttori a realizzare elementi a bassa trasmittanza termica. Il contenimento dei costi è sempre stato fattore decisivo nella scelta di questi elementi; ciò ha fatto sì che i sistemi più economici presenti sul mercato hanno prestazioni paragonabili a quelle di una finestra di media qualità.

Tab. 05 - le prestazioni medie delle pareti esterne nei paesi dell'Unione Europea in relazione alla conduttività termica – dati da Energy Trophy, Progetto europeo a cura di AESS.

Come per gli altri sistemi dell'edificio analizzati, anche per quanto riguarda le chiusure esterne verticali i valori medi di trasmittanza rispetto agli altri Paesi europei sono piuttosto scarsi. I valori più performanti si raggiungono nei Paesi nordici, ma un buon isolamento termico garantisce protezione anche dal caldo estivo. A giugno 2007 in Sicilia è stata raggiunta una temperatura esterna di 45° all'ombra e un importante stabilimento di Termini Imerese ha dovuto mandare a casa i propri dipendenti non riuscendo a garantire una temperatura sopportabile negli ambienti di lavoro.

Altro elemento critico della prefabbricazione di bassa qualità è legato ai sistemi di assemblaggio, sia tra pannello e pannello sia tra i pannelli e le travi, dando luogo spesso a ponti termici e nodi non risolti dal punto di vista energetico.

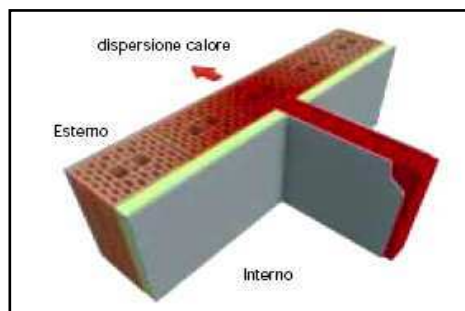


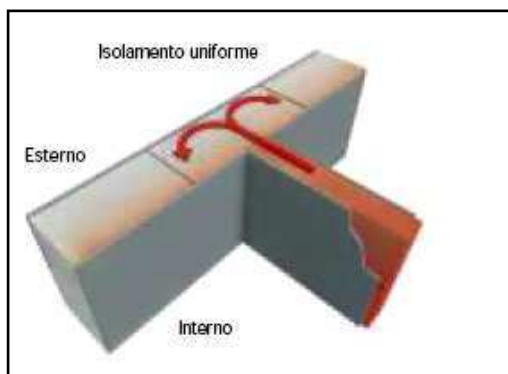
Fig. 16 - dispersione del calore attraverso il ponte termico generato tra la parete interna e quella esterna – immagine tratta dal sito www.gasbeton.it

Poiché il D.Lgs 192/2005 e le successive modifiche introdotte dal D.Lgs 311/2006 ha imposto parametri energetici molto più selettivi, i produttori stanno iniziando a rispondere alle nuove esigenze imposte dalla normativa. È possibile infatti già trovare sul mercato pannelli prefabbricati a taglio termico e soluzioni che propongono sistemi diversi. Di seguito si presentano alcuni esempi di possibili applicazioni.

Parete in blocchi di calcestruzzo cellulare espanso

I blocchi di calcestruzzo cellulare espanso¹⁰ presentano valori di isolamento termico elevato, notevole inerzia termica, buona traspirabilità e costi di poco superiori alle murature di tipo tradizionale. Possiedono un'elevata portanza, pertanto non limitano l'altezza dell'edificio; la leggerezza ne facilita la posa in opera (il taglio, la realizzazione di tracce murarie, la movimentazione dei

blocchi in cantiere, ecc.). Le buone prestazioni energetiche ne consentono l'utilizzo senza l'adozione di "pacchetti multistrato"; l'omogeneità del materiale lo rende inoltre particolarmente efficace nell'evitare i ponti termici.



www.gasbeton.it.

Fig. 17 – la dispersione del calore tra la parete interna e quella esterna viene evitata, non si genera pertanto il ponte termico – immagine tratta dal sito

Sono caratterizzati anche da un'elevata resistenza al fuoco e pertanto si prestano all'applicazione in campo industriale. Sono stati utilizzati ad esempio nel termoutilizzatore di Brescia per la realizzazione sia dei tamponamenti esterni che delle partizioni interne.

Pannelli prefabbricati in cls a taglio termico

I pannelli prefabbricati tradizionali e quelli alleggeriti solamente con lastre in materiale isolante e con cordoli in calcestruzzo passante, non sono in grado di ottemperare alle indicazioni previste per la certificazione energetica. Inoltre, i pannelli tradizionali non riescono a risolvere il problema dei ponti termici tra le connessioni dei diversi elementi strutturali.

I pannelli a taglio termico garantiscono l'isolamento termico su tutta la superficie: la facciata posta all'esterno non è mai in contatto con quella

¹⁰ Calcestruzzo maturato in autoclave e ottenuto da una miscela di cemento, sabbia e calce.

interna. I due elementi interagiscono tra di loro mediante dei distanziatori metallici che consentono di non interrompere gli alleggerimenti e di mantenere l'integrità del materiale. In questo modo, l'isolamento termico è garantito anche nei giunti di collegamento tra un pannello e l'altro.

Fig. 17 – dettaglio della sezione di un pannello prefabbricato in cls a taglio termico - immagine tratta dal sito <http://www.itercoop.com>.

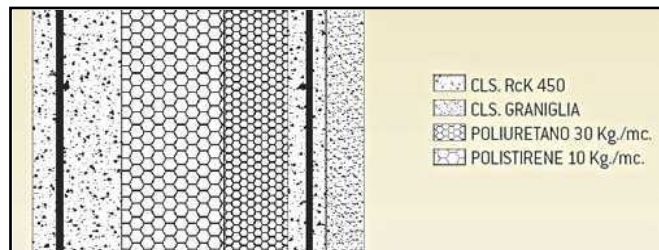
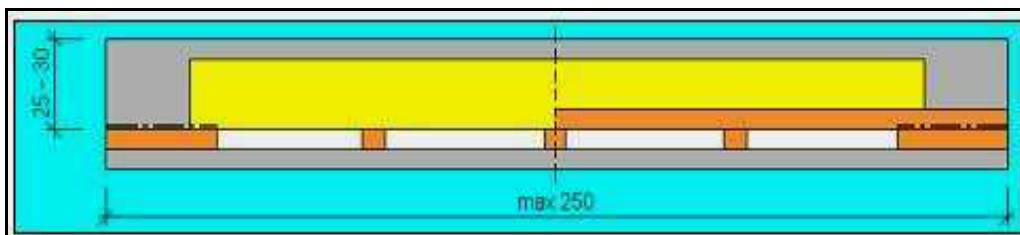


Fig. 18 – impiego di pannelli prefabbricati a taglio termico in un edificio industriale.



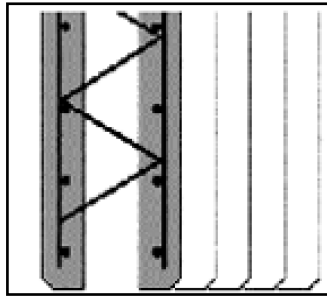
Pannello a taglio termico areato o ventilato

Il pannello a taglio termico areato o ventilato è ottenuto inserendo un'intercapedine in cui circola aria esterna, posta tra lo strato esterno portato e l'isolamento passante (se la camera d'aria fosse posizionata tra lo strato isolante e lo strato alleggerito, perderebbe ogni efficacia l'isolante passante).



Il pannello ventilato a taglio termico:

- mantiene inalterati i vantaggi del taglio termico alleggerito (elevato isolamento e minimo peso);
- riduce il costo dei materiali isolanti ed elimina la barriera al vapore;
- riduce l'incidenza di mano d'opera;
- impedisce l'accumulo di calore estivo e realizza un muro che traspira;
- evita con un isolamento uniforme macchie sul paramento esterno.

Pannello in cls a doppia lastra

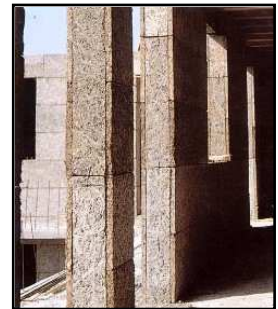
La parete è costituita da due lastre esterne che racchiudono un nucleo in calcestruzzo il cui getto viene effettuato in opera. L'utilizzo di tali elementi presenta diversi vantaggi: razionalizzazione e ottimizzazione delle opere di cantiere, flessibilità d'impiego, massima economia di manodopera, aumento dei livelli di sicurezza, eliminazione di casserature tradizionali per i getti in cemento

armato, elevate prestazioni statiche e di resistenza al fuoco, ottime capacità portanti, rapidità di posa in opera.

Le elevate prestazioni fin qui elencate si coniugano anche alla possibilità di un buon risultato sul piano estetico e compositivo: i pannelli possono infatti essere rivestiti con diversi materiali, dalla pietra alle ceramiche, ai metalli da facciata.

Parete in cls isolato

L'accoppiamento del calcestruzzo con i pannelli in fibre di legno e cemento, permette di realizzare pareti con grandi prestazioni. Il rivestimento isolante esterno permette infatti di eliminare ogni ponte termico, preserva la struttura dai danni derivanti da eccessive escursioni termiche e dalle azioni meteoriche, impedisce la formazione di condense e mantiene asciutta la parete. Il rivestimento isolante interno assicura un'ottima temperatura superficiale di parete, prima responsabile della sensazione di benessere del nostro organismo, permette una veloce messa a regime dell'ambiente. La costruzione con cassero a perdere offre quindi i vantaggi della parete con isolamento sia esterno sia interno.

*Pannelli in cls cellulare autoclavato*

I pannelli in cls cellulare autoclavato sono particolarmente performanti dal punto di vista energetico: possiedono una ridotta conduttività termica, senza utilizzare isolanti aggiuntivi; l'omogeneità del materiale li rende inoltre particolarmente efficaci nell'evitare i ponti termici. Il confort termoigrometrico è garantito dall'inerzia data dalla massa.

Il nome deriva dal particolare procedimento di produzione che prevede la stabilizzazione e maturazione dei pannelli in grandi autoclavi, dove riposano a pressione e temperature elevate (12 atmosfere e 200°). Questo procedimento conferisce particolari caratteristiche di resistenza e stabilità dimensionale, facendolo diventare un elemento monolitico (compatto, isotropo ed omogeneo) simile ad una pietra artificiale estremamente leggera e lavorabile.

Tra le principali caratteristiche di questo materiale, vanno evidenziate:

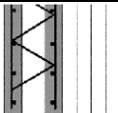
- un'elevata resistenza al fuoco,
- una buona resistenza al gelo senza necessità di protezioni esterne,
- un ottimo isolamento acustico, grazie alla porosità diffusa e a un valore piuttosto basso del modulo di elasticità,
- una certa versatilità, che consente di personalizzare gli edifici e di privilegiare anche le qualità formali del progetto, oltre che favorire la collaborazione con tutti i tipi di struttura portante (quali cls armato, acciaio, muratura, legno); può essere montato sia in verticale sia in orizzontale.

Il cls cellulare autoclavato può anche essere armato, con armature lisce, montate durante la lavorazione in fabbrica, che aderiscono perfettamente al materiale.



Fig. 20 – calcestruzzo cellulare autoclavato, realizzazione con pannelli montati in orizzontale e montati in verticale.

Nella parte sperimentale dello studio che fa riferimento al progetto pilota, si sono considerate alcune tipologie di pareti esterne, al fine di valutare le loro prestazioni energetiche, anche in funzione del rapporto costo-benefici. Nella tabella sottostante riportiamo i parametri energetici di tali soluzioni:

Pareti esterne analizzati nell'area di calcolo		
	c.a. prefabbricato	$U = 3.36 \text{ W/mq K}$
	parete a cassa vuota in blocchi di cls cellulare espanso	$U = 1.32 \text{ W/mq K}$
	pannello in cls	$U = 0.74 \text{ W/mq K}$
	pannello in cls a doppia lastra con camera d'aria	$U = 0.59 \text{ W/mq K}$
	parete in cls isolato	$U = 0.57 \text{ W/mq K}$
	parete in cls cellulare autoclavato	$U = 0.35 \text{ W/mq K}$

1.5. Il solaio a terra

Il solaio a terra ha la funzione di separare gli spazi interni dell'organismo edilizio dal terreno. La tenuta all'acqua è la funzione fondamentale, da assolvere tramite impermeabilizzazione e drenaggio del terreno. Le altre funzioni che deve svolgere sono: resistere meccanicamente ai carichi propri e accidentali, non consentire il passaggio di vapore e di acqua e isolare termicamente dal terreno sottostante.

paese	pavimento					
	0,15	0,25	0,35	0,45	0,55	0,65
svezia						
norvegia						
finlandia						
danimarca						
lituania						
irlanda						
russia						
UK						
olanda						
austria						
germania						
svizzera						
francia						
belgio						
italia						
portogallo						
spagna						
grezia						
	0,15	0,25	0,35	0,45	0,55	0,65

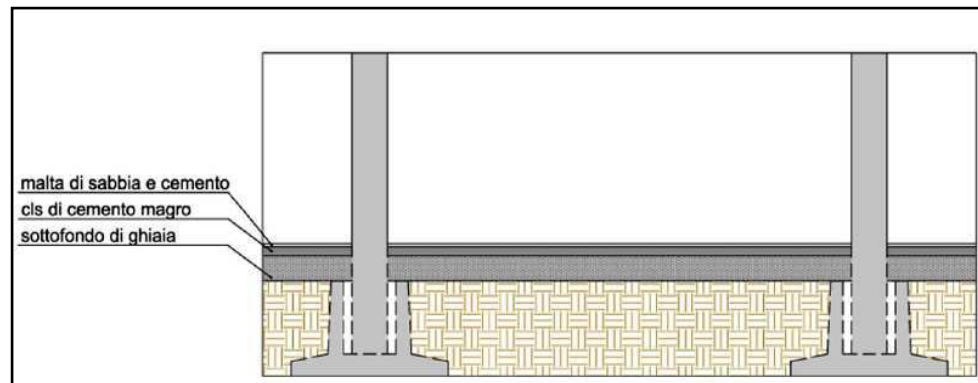
Nelle attività produttive possono essere presenti macchinari molto pesanti, che generano forti vibrazioni e necessitano di ancoraggi a terra, oppure può esserci necessità di movimentare automezzi pesanti all'interno dello stabilimento, pertanto sono necessarie portanze piuttosto elevate. Questo rende non adatti alcune soluzioni solitamente utilizzate per migliorare le prestazioni energetiche.

Tab. 06 - Le prestazioni medie dei solai a terra nei paesi dell'Unione Europea in relazione alla conduttività termica – dati da Energy Trophy, Progetto europeo a cura di AESSE.

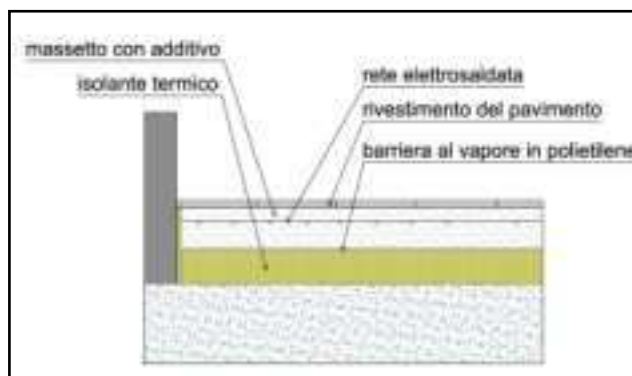
Anche in questo caso, il confronto dei parametri energetici con gli altri paesi europei mette in evidenza un notevole deficit di prestazione. Il valore riportato in tabella tiene conto anche del settore residenziale, pertanto è ottimista rispetto alle reali prestazioni dei solai dei nostri capannoni. Nella pratica, i solai a terra possono essere distinti in due tipologie principali: senza isolamento termico o con isolamento termico.

Solai senza coibentazione

Si tratta della realizzazione più semplice: il solaio è costituito da uno spesso strato di sottofondo, generalmente in ghiaia e pietrisco a granulometria variabile, su cui viene realizzato uno strato di cemento armato (cls e rete elettrosaldata); per grandi superfici, è opportuno realizzare giunti di dilatazione e contrazione mediante taglio meccanico e successiva sigillatura degli stessi con guaina in pvc. La corazzatura superficiale è poi realizzata a spolvero o a pastina con quarzo, o con quarzo e metallo.



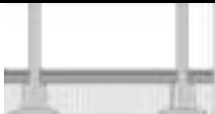
Solai con soletta coibentata



I solai dotati di isolamento termico sono costituiti da un massetto su cui viene predisposto l'isolante termico, che può essere di diversi tipi, anche sfuso, purché abbia una densità minima di almeno 30 kg/mc. Sopra l'isolante si predispone una barriera al

vapore in polietilene, in genere dello spessore di 0,2 mm; si procede quindi alla realizzazione del massetto portante con rete elettrosaldata. Particolare attenzione deve essere posta alla realizzazione dei giunti di dilatazione sia nella posa dei materiali di rivestimento, sia in caso di finitura in cemento, comunemente levigato al quarzo o similmente.

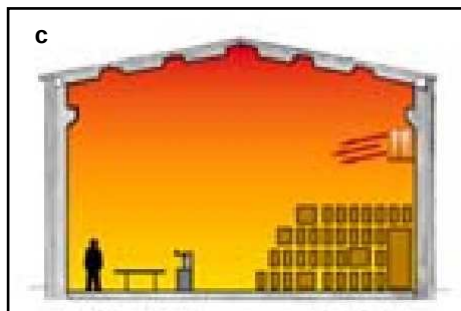
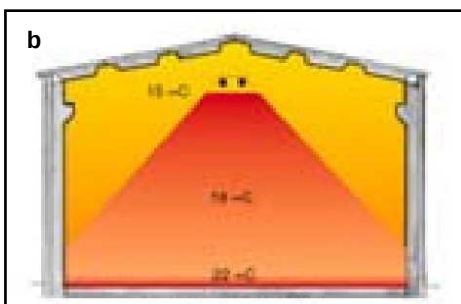
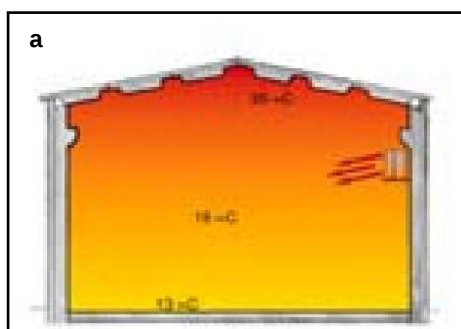
Nella parte sperimentale dello studio che fa riferimento al progetto pilota, si sono considerate alcune tipologie di solai a terra, al fine di valutare le loro prestazioni energetiche, anche in funzione del rapporto costo-benefici. Nella tabella sottostante riportiamo i parametri di riferimento:

Solai a terra analizzati nell'area di calcolo		
	Basamento cls su terreno	$U = 1.27 \text{ W/mq K}$
	Basamento cls su terreno	$U = 0.98 \text{ W/mq K}$
	Soletta coibentata	$U = 0.71 \text{ W/mq K}$
	Soletta coibentata	$U = 0.66 \text{ W/mq K}$
	Soletta coibentata	$U = 0.55 \text{ W/mq K}$
	Soletta coibentata	$U = 0.50 \text{ W/mq K}$

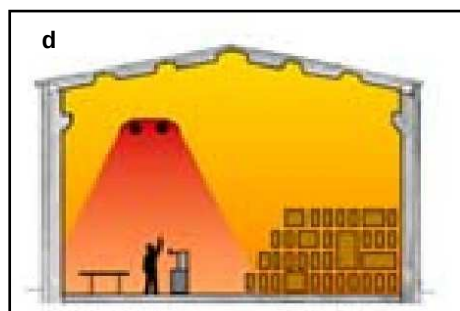
1.6. Gli impianti per la climatizzazione invernale/estiva

Il riscaldamento invernale negli edifici industriali rappresenta una voce importante di costo: se le prestazioni energetiche dell'edificio sono modeste e gli impianti non sono funzionali alle reali esigenze, si corre il rischio di sostenere elevati costi di riscaldamento a fronte di ambienti di lavoro poco confortevoli. A prestazioni energetiche più performanti, corrisponde una minore spesa di gestione e condizioni di benessere per i lavoratori.

Nei capannoni, per esigenze di carattere produttivo o di stoccaggio, si hanno altezze considerevoli, di norma tre volte superiori agli standard del settore residenziale. Questo fa sì che l'aria calda prodotta dagli impianti di climatizzazione si stratifichi nella parte sottostante alla copertura, mentre le zone basse dove c'è presenza di personale restano invece più fredde: per garantire una temperatura di 18° sul piano di lavoro o, in alcuni casi si raggiungono temperature di quasi 30° sulla sommità delle strutture.



In presenza, ad esempio, di un impianto ad aria con generatore standard (fig. a), il calore sale verso l'alto mentre sul piano di lavoro non si ottiene una temperatura accettabile a meno di sprechi energetici. Si tratta di una soluzione economica come investimento iniziale ma che determina costi elevati in fase di utilizzo. Nel caso di impianti ad irraggiamento (fig. b), il calore viene convogliato verso il pavimento, in maniera tanto più efficace tanto più il generatore di calore è vicino al piano di lavoro. Le temperature più elevate si registrano sempre nella zona alta, ma si limita il volume riscaldato escludendo la sommità del capannone. Da un punto di vista energetico, questa soluzione è sicuramente più razionale, anche se non consente particolari forme di termoregolazione. Gli impianti di climatizzazione spesso sono installati senza conoscere le reali esigenze del fruitore, pertanto si rischia di generare calore e di convogliarlo in aree dove non



è necessario, come ad esempio nelle zone adibite a deposito (fig. c). Con un progetto termotecnico misurato sulle reali esigenze degli ambienti di lavoro, si possono ottenere risultati migliori in termini di confort, un minore dispendio di energia, e quindi spese di gestione inferiori. Si tratta di una soluzione che risponde alle esigenze di un fruitore

specifico e che andrà modificata nel caso in cui mutino le esigenze (fig. d).

Le considerazioni avanzate finora sono indipendenti dal sistema di generazione del calore adottato. Dall'analisi del comportamento del progetto pilota è emerso che minore è il fabbisogno energetico dell'edificio e più è facile e conveniente soddisfare tale esigenza ricorrendo alle fonti rinnovabili. Di norma l'impiego di elettricità per la produzione di calore e freddo è da considerarsi uno spreco energetico, oltre che estremamente diseconomico; nel caso invece di edifici altamente performanti e che richiedono pochissima energia primaria, è possibile generare il calore attraverso l'elettricità autoprodotta da pannelli fotovoltaici installati sulla copertura. Si è verificata anche la possibilità di preriscaldare l'acqua da immettere nell'impianto di riscaldamento tramite collettori solari, ma si sono misurati incrementi prestazionali poco significativi. Si sono inoltre analizzate soluzioni diverse, come l'utilizzo di sonde geotermiche, pannelli radianti a pavimento o l'impiego di pompe di calore. Di seguito si riportano delle annotazioni per ogni singola tecnologia.

Generatore di calore standard



Con generatore di calore standard di indicano macchine per la produzione di aria calda che scambiano direttamente negli ambienti, usando metano o propano come fonte energetica. Sono solitamente pensili, servono per scaldare volumi medio - grandi. Sono i sistemi più diffusi nel settore industriale e artigianale (ma

anche nelle palestre, nei magazzini e depositi, nei laboratori, nelle strutture commerciali, nei campi da tennis, nelle serre, ecc).

I principali vantaggi sono l'economicità, la facilità di installazione, l'ingombro limitato di spazio, la mancanza della centrale termica, la modularità, la facilità di rimozione e ricollocazione, la sicurezza, i consumi limitati, la rapidità nel

raggiungimento della temperatura di esercizio, e un rendimento termico che per le macchine di ultima generazione può andare dall'85% fino al 96%.

Nei locali con interpiani elevati possono però verificarsi problemi di stratificazione: l'aria calda tende a salire e a non riscaldare le zone più basse (come mostrato nelle figure precedenti), dove invece c'è presenza di personale. Non possiede sistemi di regolazione evoluti (di norma si ha la funzione per le ore diurne, le ore notturne e l'antigelo), è rumoroso (da 50 fino a 65 decibel misurati a 6 metri di distanza) e genera moti convettivi con possibile movimentazione di polveri o scarti delle lavorazioni.



Generatore di calore a temperatura scorrevole

Le caldaie a temperatura scorrevole si caratterizzano per valori elevati di rendimento. A differenza delle caldaie di tipo tradizionale, la temperatura interna della caldaia non è costante, ma varia in funzione della richiesta del carico dell'impianto e delle condizioni climatiche a contorno. La capacità di variare la temperatura dipende dal bruciatore, che può essere di due tipi:

- a più stadi: regola in automatico l'ingresso dell'aria comburente (per le caldaie di piccola taglia ad uso principalmente residenziale),
- modulante: regola l'ingresso sia dell'aria sia del combustibile.

Quest'ultimo è maggiormente efficiente, ed è utilizzato per caldaie di taglia maggiore per ambienti medio - grandi.

Nelle caldaie a temperatura scorrevole non si raggiunge la temperatura di rugiada e pertanto i materiali sono meno sollecitati. La temperatura varia in funzione della potenza richiesta per riscaldare gli ambienti, diminuiscono quindi anche le perdite attraverso il mantello; tali perdite sono estremamente limitate in condizioni di funzionamento a piena potenza, mentre diventano preponderanti in condizioni di bruciatore spento e quindi sono particolarmente rilevanti quando la domanda termica è bassa e i tempi di funzionamento a bruciatore spento sono predominanti.



Termostrisce, tubi e nastri radianti

Le termostrisce radianti, ad acqua o a vapore, trasmettono il calore per irraggiamento e sono costituite essenzialmente da un pannello metallico e da un insieme di tubi. I principali vantaggi derivano dall'assenza di fenomeni di

stratificazione dell'aria, da una temperatura uniforme su tutto il corpo radiante e da una altrettanto uniforme diffusione del calore verso il piano di calpestio, dai ridotti consumi, dalla facilità di installazione (non è dovuto il collaudo dei vigili del fuoco grazie alla ridotta potenza delle caldaie) e disinstallazione, dalla rapidità di funzionamento a regime e dalla silenziosità.

L'impianto che utilizza termostrisce a vapore è composto da una caldaia che genera vapore, dalle tubazioni di mandata e ritorno, dalle strisce radianti e da un dispositivo di controllo del vuoto che espelle l'aria in eccesso dal circuito. Il circuito idraulico è chiuso e sottovuoto, e consente la circolazione naturale del vapore senza l'ausilio di pompe, come negli impianti ad acqua. Il vapore, che ha una temperatura superiore a quella dell'acqua, trasferisce il calore alle piastre radianti che raggiungono così i 105 °C. Dopo aver ceduto energia termica, il vapore condensa e ritorna alla caldaia. L'intero processo si svolge a temperatura quasi costante lungo tutto il circuito.



I moduli a tubi radianti sono impiegati in ambienti medio grandi e sono particolarmente efficaci per il cosiddetto riscaldamento a zone. Il sistema si compone di un'unità di produzione di calore, da un sistema di tubi radianti (i moduli standard vanno dai 6 ai 9 e 12 metri) e da dispositivi di termoregolazione e di sicurezza. Il generatore brucia una miscela di aria e gas, riscaldando il fluido termovettore che circola all'interno dei tubi scambiatori. Una ventola di aspirazione crea una depressione all'interno dei tubi scambiatori per rendere più uniforme lo scambio termico. Per migliorare l'efficienza energetica e il confort sul piano di lavoro, alcuni di questi sistemi montano sulla sommità dei corpi scaldanti una parabola riflettente per il recupero di tutto il calore che altrimenti tenderebbe a disperdersi verso la copertura del capannone.



Fig. 21 – riscaldamento con moduli a tubi radianti in uno stabilimento industriale; i singoli elementi possono essere accesi con la stessa semplicità di una luce elettrica e sono particolarmente indicati per il riscaldamento a zone differenziate. Immagine tratta dal sito www.edilportale.com.

Pannelli radianti a pavimento

Il riscaldamento a pavimento¹¹ è un sistema diffuso ma che inizia ad essere applicato anche in edifici industriali e terziari. Garantisce una climatizzazione naturale coerente con i principi della architettura bioclimatica: consente, infatti, di percepire un confort maggiore rispetto ai sistemi di riscaldamento tradizionale, garantendo inoltre un'efficienza termica superiore. Il sistema radiante a pavimento permette una distribuzione del calore omogenea anche su superfici e volumetrie ampie, evitando la necessità di movimentare l'aria dalle zone alte a quelle basse delle strutture. È così possibile utilizzare acqua a basse temperature e pertanto risulta più semplice fare ricorso a fonti rinnovabili e ad applicazioni quali collettori solari (per il preriscaldamento dell'acqua), pompe di calore o sistemi geotermici. In termini di risposta per la messa a regime, questo sistema di riscaldamento ha prestazioni paragonabili a quelle dei generatori di calore ad aria, poiché il benessere termoigrometrico è percepito anticipatamente e a temperature inferiori.

I sistemi di ultima generazione utilizzano elementi capillari per la trasmissione del fluido, incrementando ulteriormente l'efficienza energetica grazie all'aumento della superficie di scambio del calore.



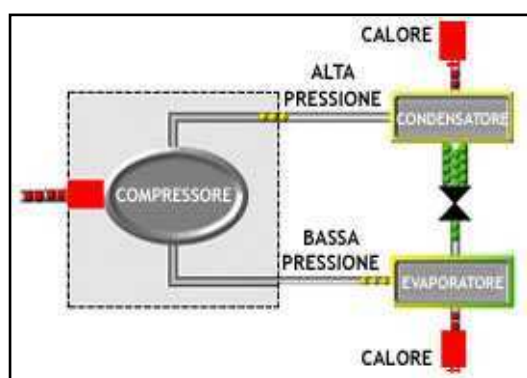
Fig. 22 – pannelli radianti a pavimento in una applicazione industriale- immagine tratta dal sito <http://www.apisilverona.com>.

Generatori di calore tramite pompa di calore

La pompa di calore è un sistema in grado sia di riscaldare che di raffrescare ambienti di medio - grandi dimensioni (è impiegata anche nei processi produttivi) con una notevole efficienza dal punto di vista energetico. Questi sistemi possono utilizzare come combustibile sia gas sia energia elettrica: nel primo caso possono essere integrati con collettori solari per il preriscaldamento dell'acqua oppure con una sonda geotermica; nel secondo caso invece è possibile utilizzare l'energia elettrica autoprodotta tramite pannelli fotovoltaici (ovviamente l'adozione di tali tecnologie è tanto più conveniente minore è il fabbisogno energetico, e quindi migliori sono le prestazioni dell'involucro dell'edificio).

¹¹ analoghe considerazioni si possono effettuare anche per sistemi a parete, applicabili in zone di volumetria ridotta, come gli uffici.

Il principio di funzionamento è quello di una macchina frigorifera: assorbire calore da un ambiente più freddo (esterno, attraverso l'aria, l'acqua o il terreno) e scambiarlo con l'ambiente che si desidera riscaldare. Le macchine più recenti possono essere installate in zone climatiche dove non si raggiungono temperature inferiori ai -20° e superiori ai 45° , ed hanno un'efficienza energetica estremamente elevata, fino al 140% in condizioni di riscaldamento. Solitamente l'installazione della caldaia avviene all'esterno del fabbricato, senza la necessità di un locale per la centrale termica. Il suo impiego risulta ottimale laddove la richiesta di energia termica per il riscaldamento sia elevata (volumi medio grandi) e vi sia anche l'esigenza di condizionamento estivo. Nel caso di impiego di pompe di calore a gas, l'impegno elettrico del sistema è minimo e soprattutto non aumenta durante la



climatizzazione, ovvero nei mesi più caldi quando la richiesta elettrica per le unità di condizionamento (residenziale e terziario) genera il picco della domanda con conseguente pericolo di *black out* (problematico per il settore industriale).

Fig. 23 – principio di funzionamento della pompa di calore.

Applicazione con pompa di calore geotermica

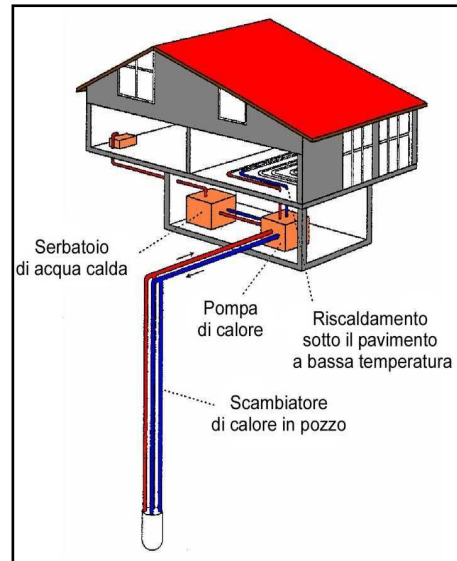
L'applicazione combinata della pompa di calore con la geotermia rappresenta una tecnica in grado di coniugare un'elevata efficienza ad un'elevata sostenibilità ambientale. Mentre per la produzione di energia elettrica da fonte geotermica si ha bisogno di acqua ad altissime temperature (vapore fino a 300°) e quindi può essere pratica solo in presenza di particolari condizioni del sottosuolo, sistemi geotermici per la climatizzazione – sia estiva sia invernale – degli edifici possono essere utilizzati ovunque.

Si sfrutta la differenza di temperatura tra il terreno e l'aria: attraverso la pompa di calore si estrae calore dal terreno d'inverno (quando il terreno è più caldo rispetto all'aria esterna) per riscaldare l'edificio, e si cede calore durante l'estate per il raffrescamento (lo stesso principio è utilizzato dal *free cooling* che prevede di raffrescare l'aria e di convogliarla nell'edificio durante l'estate attraverso il passaggio di condutture nel terreno, caratterizzato da una temperatura inferiore rispetto a quella dell'aria esterna).

Un impianto di questo tipo si compone di:

- una sonda di captazione geotermica inserita nel sottosuolo ad una profondità variabile tra i 50 e i 150 metri, a seconda delle necessità dell'impianto;
- una pompa di calore
- un sistema di distribuzione del calore che lavora a bassa temperatura (ad esempio pannelli radianti).

I principali vantaggi sono riconducibili a un'elevata sostenibilità ambientale (sostanziale riduzione di emissioni di CO₂), riduzione dei costi di esercizio, dovuti ad un minor consumo di combustibile, elevata silenziosità e versatilità (provvede alla climatizzazione sia estiva sia invernale, e alla produzione di acqua calda sanitaria). Gli svantaggi invece sono legati ad una ancora scarsa applicazione nel nostro Paese e ai costi iniziale dell'impianto.



Caldaia a condensazione ed impianto solare termico

Le caldaie a condensazione sono tra le più moderne ed ecologiche oggi esistenti: riescono ad ottenere rendimenti molto elevati (oltre al 100%) e riduzioni delle emissioni climalteranti fino al 70% rispetto agli impianti tradizionali.

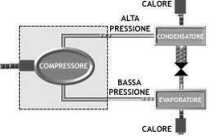


La caldaia a condensazione è in grado di recuperare una gran parte del calore contenuto nei fumi espulsi attraverso il camino e minimizzare le dispersioni, riducendo anche il consumo del combustibile. In questo modo i fumi vengono raffreddati fino al punto di rugiada e si può utilizzare una canna fumaria in plastica. Grazie a queste caratteristiche costruttive, funzionali e di

rendimento energetico, quando si sostituisce una caldaia tradizionale con una a condensazione è possibile ridurne la potenza del 15% ed ottenere un risparmio energetico fino al 30%. L'efficienza del sistema rende interessante l'integrazione con collettori solari per il preriscaldamento dell'acqua da utilizzare nel circuito di climatizzazione: è possibile così ottenere un ulteriore risparmio del 25-30%. Si evidenzia però che il consumo di acqua calda nel

caso di edifici industriali sanitaria è limitato e pertanto i collettori solari sono nel complesso meno efficienti rispetto ad un'applicazione nel settore residenziale, poiché nella stagione calda non svolgono alcuna funzione utile.

Nella parte sperimentale dello studio che fa riferimento al progetto pilota, si sono analizzate alcune tipologie di impianto, al fine di valutare le loro prestazioni energetiche, anche in funzione del rapporto costo-qualità. Nella tabella sottostante riportiamo i parametri di tali soluzioni impiantistiche:

Impianti di climatizzazione analizzati nell'area di calcolo		
	<i>Generatore di calore</i>	<i>Terminali scaldanti, sistema di regolazione</i>
	standard efficiente	termoventilanti regolazione manuale
	a temperatura scorrevole	termoventilanti termoregolazione di zona
	a temperatura scorrevole	termostisce o tubi radianti termoregolazione di zona
	caldaia a condensazione	pannelli radianti pavimento termoregolazione di zona
	caldaia a condensazione e impianto solare termico	pannelli radianti pavimento termoregolazione di zona
	pompa di calore ad aria	pannelli radianti a pavimento termoregolazione di zona
	pompa di calore geotermica	pannelli radianti a pavimento termoregolazione di zona

2. LE PRESTAZIONI ENERGETICHE

2.1. La certificazione energetica di un edificio ad uso produttivo

Alcune recenti normative (D. Lgs. 192/2005 e D. Lgs. 311/2006 e Del.A.L.dell'Emilia Romagna 156/2008 ed il conseguente Atto di Indirizzo e Coordinamento sui requisiti di rendimento energetico e sulle procedure di certificazione energetica degli edifici del 4 Marzo 2008) pongono nuovi e precisi obiettivi per la realizzazione di edifici ad elevata efficienza energetica.

In particolare stabiliscono i criteri, le condizioni e le modalità per migliorare le prestazioni energetiche degli edifici al fine di favorire lo sviluppo, la valorizzazione e l'integrazione delle fonti rinnovabili e la diversificazione energetica, contribuire a conseguire gli obiettivi nazionali di limitazione delle emissioni di gas ad effetto serra posti dal protocollo di Kyoto, promuovere la competitività dei comparti più avanzati attraverso lo sviluppo tecnologico.

Gli ambiti di applicazione dei requisiti di rendimento energetico

I requisiti minimi di prestazione energetica si applicano agli edifici di nuova costruzione e agli edifici oggetto di ristrutturazione; nel caso di ristrutturazione di edifici esistenti è prevista un'applicazione graduale in relazione al tipo di intervento.

Il provvedimento si rivolge sia agli edifici residenziali, sia terziari e industriali, secondo modalità e tempi differenziati. Sono invece esclusi:

- gli immobili di valore storico testimoniale vincolati dalla Sovrintendenza;
- i fabbricati industriali, artigianali e agricoli non residenziali quando gli ambienti sono riscaldati per esigenze del processo produttivo o utilizzando reflui energetici del processo produttivo non altrimenti utilizzabili;
- i fabbricati isolati con una superficie utile totale inferiore a 50 metri quadrati.

La Regione Emilia Romagna, inoltre, esclude anche gli impianti installati ai fini del processo produttivo realizzati all'interno dell'edificio, anche se utilizzati, in parte non preponderante, per usi energetici tipici del settore civile.

Gli elementi disciplinati dal D. Lgs. 311/2006 sono:

- i criteri generali per la certificazione energetica degli edifici;

- la metodologia per il calcolo delle prestazioni energetiche integrate degli edifici;
- i requisiti minimi in materia di prestazioni energetiche degli edifici.

L'Atto di indirizzo e coordinamento regionale, oltre a fornire precisazione e alcuni criteri più stringenti, disciplina anche:

- l'accreditamento dei soggetti certificatori;
- la disciplina di esercizio, manutenzione ed ispezione degli edifici ed impianti;
- l'allestimento di un sistema informativo regionale per il monitoraggio dell'efficienza energetica di edifici ed impianti;
- la promozione di servizi energetici e misure di sostegno.

La certificazione energetica

Gli edifici nuovi e quelli oggetto di compravendita dovranno essere muniti di un certificato che ne attesti la capacità di risparmio energetico.

La certificazione è obbligatoria:

- dal 1°luglio 2007 per gli edifici con superficie utile $S_u > 1.000 \text{mq}$, nel caso di compravendita dell'intero immobile;
- dal 1°luglio 2008 per gli edifici con superficie utile $S_u < 1.000 \text{mq}$, nel caso di compravendita dell'intero immobile;
- dal 1°luglio 2009 per le singole unità immobiliari.

L'atto di Indirizzo e Coordinamento della Regione Emilia Romagna introduce a livello regionale, secondo il principio della cedevolezza un nuovo ambito di applicazione:

- a decorrere dal 1°luglio 2008, agli edifici, nel caso di trasferimento a titolo oneroso dell'intero immobile con esclusione delle singole unità immobiliari;
- a decorrere dal 1°luglio 2009, alle singole unità immobiliari, nel caso di trasferimento a titolo oneroso;
- a decorrere dal 1°luglio 2010, agli edifici e singole unità immobiliari soggetti a locazione con contratto stipulato successivamente a tale data.

Comunque, dal 1°gennaio 2007 il certificato energetico o di qualificazione energetica è una condizione indispensabile per ottenere le agevolazioni fiscali per ristrutturare edifici in funzione di una maggiore efficienza energetica.

La gradualità proposta per l'entrata in vigore della disposizione, consente la messa a punto e la verifica delle procedure ed un progressivo ed ordinato adeguamento del mercato immobiliare. Entro il 2007, un decreto ministeriale avrebbe dovuto individuare le linee guida per i criteri di certificazione. Ad oggi non sono ancora state emanate tali linee guida nazionali, pertanto fino a tale data *l'attestato di certificazione energetica* degli edifici (ovvero il documento

che deve essere redatto da soggetti terzi accreditati) è sostituito dall'*attestato di qualificazione energetica* asseverato dal Direttore dei Lavori (tale documento deve essere allegato alla dichiarazione di fine lavori, perché questa possa essere accettata dal Comune).

L'attestato di certificazione energetica ha una validità temporale massima di 10 anni e dovrà essere aggiornato ad ogni intervento che modifica la prestazione energetica dell'edificio o dell'impianto.

La metodologia per il calcolo delle prestazioni energetiche integrate degli edifici e i requisiti minimi

A livello nazionale in via transitoria (fino all'entrata in vigore dei decreti di cui all'articolo 4, comma 1), il calcolo della prestazione energetica degli edifici nella climatizzazione invernale ed, in particolare, il fabbisogno annuo di energia primaria, continua ad essere disciplinato dalla legge 9 gennaio 1991, n.10, come modificata dal D. Lgs. 192/2005 e D. Lgs. 311/2006, dalle norme attuative e dalle disposizioni di cui all'allegato I.

La Regione Emilia Romagna ha disciplinato tale aspetto (allegato 8 Del.A.L.RER 156/2008) indicando i seguenti metodi:

- 1) *calcolo di progetto o di calcolo strutturato*: si applica essenzialmente nei casi di nuova costruzione, ristrutturazioni integrali e ampliamenti superiori al 20% del volume riscaldato o a 80mq;
- 2) *calcolo da rilievo* sull'edificio.

Per il calcolo della prestazione energetica dell'edificio per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria, si fa riferimento alla norma UNI TS 11300 e anche alla metodologia predisposta da Cnr ed Enea, sulla base della normativa UNI e CEN.

È inoltre prevista una metodologia di calcolo da rilievo semplificata per edifici con superficie utile fino a 1000mq.

I requisiti minimi di prestazione energetica

I nuovi edifici ad uso produttivo dovranno soddisfare i requisiti previsti. In particolare, occorre verificare che siano inferiori ai valori limite definiti:

- a) l'indice di prestazione energetica (EP),
- b) il rendimento globale medio stagionale dell'impianto termico,
- c) il valore della trasmittanza termica delle strutture edilizie.

Sono previste semplificazioni nel caso in cui il rapporto tra la superficie trasparente complessiva dell'edificio e la superficie utile risulti inferiore a 0,18.

I valori limite riportati nelle tabelle sono espressi in funzione della zona climatica, così come individuata dal DPR 412/93 e del rapporto di forma dell'edificio S/V, dove:

- S è la superficie (m^2) che delimita il volume riscaldato V verso l'esterno (ovvero verso ambienti non dotati di impianto di riscaldamento);
- V è il volume lordo (m^3) delle parti di edificio riscaldate, definito dalle superfici che lo delimitano.

Per valori di S/V compresi nell'intervallo 0.2 e 0.9 e, analogamente, per gradi giorno (GG) intermedi ai limiti delle zone climatiche riportati in tabella, si procede mediante interpolazione lineare.

L'allegato C del D. Lgs 311/2006 prevede per gli edifici industriali (E8), i seguenti valori limite relativamente alle prestazioni per la climatizzazione invernale¹².

Tab. 05 Valori limite dell'indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale (EPI limite), espresso in KWh/mc/anno (D. Lgs 311/2006).

Rapporto di forma edificio S/V		zona climatica									
		B			C		D		E		F
		fino a 600 GG	fino a 601 GG	fino a 900 GG	fino a 901 GG	fino a 1400 GG	fino a 1401 GG	fino a 2100 GG	fino a 2101 GG	fino a 3000 GG	oltre 3000 GG
<=0,2	2007	2,5	2,5	4,5	4,5	7,5	7,5	12	12	16	16
	2008	2,5	2,5	4,5	4,5	6,5	6,5	10,5	10,5	14,5	14,5
	2010	2	2	3,6	3,6	6	6	9,6	9,6	12,7	12,7
>=0,9	2007	11	11	17	17	23	23	30	30	41	41
	2008	9	9	14	14	20	20	26	26	36	36
	2010	8,2	8,2	12,8	12,8	17,3	17,3	22,5	22,5	31	31

La Regione Emilia Romagna ha deciso di anticipare a luglio 2008 i valori indicati a livello nazionale per il 2010, operando una differenziazione rispetto al caso di nuova costruzione e ristrutturazione integrale, come si evince dalla tabella seguente.

Tab. 06 Valori limite dell'indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale (EPI limite), espresso in KWh/mc/anno (Del.A.L. ER 156/2008).

Rapporto di forma edificio S/V		zona climatica				
		D		E		F
		Da 1401 GG	a 2100 GG	Da 2101 GG	a 3000 GG	oltre 3000 GG
<= 0,2		6,0	9,6	9,6	12,7	12,7
> 0,7	Nuova costruzione	14,1	18,8	18,8	25,8	25,8
> 0,9	Ristrutturazione integrale	17,3	22,5	22,5	31,0	31,0

¹² È stata evidenziata in grigio la zona climatica in cui rientra il Comune di Bologna (gradi giorno 2259 – zona E), valori utilizzati nell'area di calcolo.

La Regione Emilia Romagna, inoltre, ha stabilito valori limite per l'indice di prestazione energetica anche per la produzione di acqua calda sanitaria (Acs); fra le destinazioni d'uso elencate in tabella non compaiono le attività produttive, tuttavia può essere di riferimento quanto indicato per uffici e negozi.

Tab. 07 Valori limite dell'indice di prestazione energetica per la produzione di acqua calda sanitaria (EP_{acs} limite), espresso in $KWh/addetto/anno^2$ (Del.A.L. ER 156/2008).

Destinazione d'uso	EP_{acs} ($KWh/addetto/anno^2$)
Uffici	114,00
Negozi e grande distribuzione	114,00
Per la conversione in $KWh/mc/anno$ occorre moltiplicare il valore di EP_{acs} per il numero di addetti e dividere il totale per il volume netto dell'edificio.	

Il valore limite del rendimento globale medio stagionale dell'impianto termico è indicato nella tabella seguente.

Tab. 08 Valori limite del rendimento globale medio stagionale dell'impianto termico.

	D. Lgs 311/2006	Del.A.L. ER 156/2008
$P_n < 1000 \text{ kW}$	$\eta_g = (65 + 3 \log P_n) \%$	$\eta_g = (75 + 3 \log P_n) \%$
$P_n \geq 1000 \text{ kW}$	$\eta_g \geq 74 \%$	$\eta_g \geq 84 \%$

dove $\log P_n$ è logaritmo in base 10 della potenza utile nominale del generatore o dei generatori di calore al servizio del singolo impianto termico, espressa in kW.

Sono inoltre definiti i valori limite di trasmittanza termica delle strutture edilizie al fine di ridurre i consumi energetici per la climatizzazione invernale. Anche in questo caso l'Emilia Romagna anticipa i valori indicati per il 2010 a luglio 2008.

Tab. 09 Valori limite della trasmittanza termica U delle strutture opache verticali, espresse in W/m^2K .

Zona climatica	Dall' 1 gennaio 2006 U (W/m^2K)	Dall' 1 gennaio 2008 U (W/m^2K)	Dall' 1 gennaio 2010 U (W/m^2K)
A	0,85	0,72	0,62
B	0,64	0,54	0,48
C	0,57	0,46	0,40
D	0,50	0,40	0,36
E	0,46	0,37	0,34
F	0,44	0,35	0,33

Tab. 10 Valori limite della trasmittanza termica U delle strutture opache orizzontali o inclinate di copertura, espresse in W/m^2k

Zona climatica	Dall' 1 gennaio 2006 U (W/m^2k)	Dall' 1 gennaio 2008 U (W/m^2k)	Dall' 1 gennaio 2010 U (W/m^2k)
A	0,80	0,42	0,38
B	0,60	0,42	0,38
C	0,55	0,42	0,38
D	0,46	0,35	0,32
E	0,43	0,32	0,30
F	0,41	0,31	0,29

Tab. 11 Valori limite della trasmittanza termica U delle strutture opache orizzontali di pavimento verso locali non riscaldati o verso l'esterno, espresse in W/m^2k

Zona climatica	Dall' 1 gennaio 2006 U (W/m^2k)	Dall' 1 gennaio 2008 U (W/m^2k)	Dall' 1 gennaio 2010 U (W/m^2k)
A	0,80	0,74	0,65
B	0,60	0,55	0,49
C	0,55	0,49	0,42
D	0,46	0,41	0,36
E	0,43	0,38	0,33
F	0,41	0,36	0,32

Tab. 12 Valori limite della trasmittanza termica U delle chiusure trasparenti comprensive degli infissi espresse in W/m^2k

Zona climatica	Dall' 1 gennaio 2006 U (W/m^2k)	Dall' 1 gennaio 2008 U (W/m^2k)	Dall' 1 gennaio 2010 U (W/m^2k)
A	5,5	5,0	4,6
B	4,0	3,6	3,0
C	3,3	3,0	2,6
D	3,1	2,8	2,4
E	2,8	2,4	2,2
F	2,4	2,2	2,0

Tab. 13 Valori limite della trasmittanza termica U dei vetri espresse in W/m^2k

Zona climatica	Dall' 1 gennaio 2006 U (W/m^2k)	Dall' 1 gennaio 2008 U (W/m^2k)	Dall' 1 gennaio 2010 U (W/m^2k)
A	5,0	4,5	3,7
B	4,0	3,4	2,7
C	3,0	2,3	2,1
D	2,6	2,1	1,9
E	2,4	1,9	1,7
F	2,3	1,7	1,3

L'Atto di Indirizzo della Regione Emilia Romagna, inoltre, specifica che, per tutte le categorie di edifici, il valore della trasmittanza delle strutture di separazione tra edifici o unità immobiliari confinanti nel caso di pareti divisorie verticali e orizzontali, nonché di strutture opache, verticali, orizzontali e

inclinate che delimitano verso l'ambiente esterno gli ambienti non dotati di impianto di riscaldamento, deve essere inferiore a $0,8 \text{ W/ m}^2\text{k}$.

Verifiche da rispettare

Di seguito è proposta una sintesi delle verifiche che occorre effettuare per gli edifici industriali e artigianali (categoria E8, DPR 412/93) riscaldati per il confort degli occupanti (il seguente schema è stato elaborato a partire da "Sintesi del DLgs n.311", Anit – Associazione Nazionale per l'isolamento Termico e acustico).

Tab. 14 Tipi di intervento e verifiche correlate

Tipo di intervento		Verifiche	
		D. Lgs 311/2006	Del.A.L. ER 156/2008
	Edifici di nuova costruzione e impianti in essi contenuti	A, B, C, H, J, K, L	A, A', B, H, J, K', L
	Ristrutturazioni integrali degli elementi d'involucro e demolizioni e ricostruzioni in manutenzione straordinaria di edifici esistenti con superficie utile >1000 mq	A, B, C, H, K, L	A, A', H, K, L
	Ampliamenti con un volume >20% del volume dell'edificio stesso e comunque in tutti i casi in cui l'ampliamento risulti >80mq	A, A', B, C, H, K, L	A, A', H
	Ristrutturazioni totali o parziali di edifici esistenti di superficie utile <1000mq	C'	C'
	Manutenzione straordinaria dell'involucro edilizio	O, P, Q	
	Nuova installazione di impianti termici in edifici esistenti o ristrutturazione degli stessi impianti (3.1.c)	H, J, O, P	H, J O, P
	Sostituzione di generatori di calore	O, P, Q	O, P, Q

Tab.15 Elenco delle verifiche

Elenco delle verifiche	
A <i>E_{pi}</i>	Indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale $E_{pi} < E_{pi} \text{ limite calcolato dalle Tabelle 1}$ <i>Calcolo semplificato:</i> in alternativa se il rapporto tra superficie trasparente complessiva dell'edificio e la sua superficie utile è inferiore a 0.18 si può attribuire direttamente all'edificio un valore di $E_{pi} = E_{pi} \text{ limite}$, se in contemporanea si verificano le seguenti prescrizioni sugli impianti e sull'involucro: a) Rendimento termico utile (a carico pari al 100% di P_n) $\geq X + 2 \log P_n$ Con $X=90$ per le zone climatiche A, B e C, e $X=93$ per le zone climatiche D, E e F. Se $P_n > 400 \text{ kW}$, si applica il limite massimo corrispondente a 400 kW b) T media fluido termovettore in condizione di progetto $< 60^\circ\text{C}$ c) Installazione centralina di termoregolazione programmabile in ogni unità immobiliare e dispositivi per la regolazione della temperatura ambiente nelle zone omogenee dell'edificio per prevenire il surriscaldamento dovuto agli apporti gratuiti d) Nel caso di installazione di pompe di calore: rendimento utile in condizioni nominale riferito all'en. primaria (η_u) $\geq (90+3\log P_n)$ con fattore di conversione = (When.elett/When.primaria) = 0.36 e) Trasmissanza strutture opache verticali $\leq$ valori Tab 3.1
A' <i>E_{pacs}</i>	Indice di prestazione energetica per la produzione di acqua calda sanitaria $E_{pacs} < E_{pacs} \text{ limite calcolato dalle Tabelle 1.3}$
B <i>η_g</i>	Rendimento globale medio stagionale $\eta_g \geq \eta_g \text{ limite calcolato dalla tabella 2}$
C <i>U limite</i>	Trasmissanza delle strutture (opache verticali, opache orizzontali, vetri) risulti inferiore ai valori riportati nelle tabelle corrispondenti. Il D. Lgs.311/2006 prevede una tolleranza del 30%, non prevista dall'Atto dell'Emilia Romagna.
C' <i>U limite</i>	Trasmissanza strutture opache verticali $\leq$ valori Tab 3.1
H <i>Controllo Ambiente</i>	Verificare che in ogni locale o zona a caratteristiche termiche uniformi siano installati dispositivi per la regolazione automatica della temperatura ambiente nei singoli locali o nelle singole zone aventi caratteristiche di uso ed esposizioni uniformi, per evitare il sovrariscaldamento per effetto degli apporti solari e degli apporti gratuiti interni. La Del.A.L. ER 156/2008 puntualizza la presenza di: - sistemi di regolazione degli impianti termici, - sistemi di regolazione della temperatura ambiente per i singoli locali, - sistemi di contabilizzazione per impianti centralizzati - dispositivi per la gestione e il controllo degli edifici (Bacs).
J <i>Rinnovabile</i>	Obbligo di utilizzo di fonti rinnovabili per la produzione di energia termica in grado di coprire almeno il 50% del fabbisogno annuo di energia primaria richiesta dall'utenza per la produzione di Acs. Tale limite è ridotto al 20% per edifici situati nei centri storici. Le valutazioni concernenti il dimensionamento ottimale devono essere dettagliatamente illustrate nella relazione tecnica da depositare in Comune Deve in ogni caso essere rispettato il livello di prestazione minima indicato (A').
K <i>Rinnovabile elettrico</i>	Obbligo di utilizzo di fonti rinnovabili per la produzione di energia elettrica. Le modalità applicative di questo obbligo saranno definite con i decreti attuativi previsti all'Art.4.
K'	Obbligo di installare impianti a fonti rinnovabili per la produzione di energia elettrica per una potenza installata non inferiore a 0,5kW per ogni 100m ² di superficie utile.
L <i>Tele-riscaldamento</i>	Obbligo di predisposizione delle opere necessarie a favorire il collegamento a reti di teleriscaldamento nel caso di tratti di rete ad una distanza inferiore a 1.000 metri o in presenza di progetti previsti dai vigenti strumenti di pianificazione territoriale ed urbanistica e in corso di realizzazione.
O	Rendimento globale medio stagionale $\eta_g \geq (75+3\log P_n)\%$ se $P_n < 1000 \text{ kW}$, $\eta_g \geq 84\%$ se $P_n \geq 1000 \text{ kW}$

P <i>mera sostituzione di generatori di calore</i>	Allegare alla relazione tecnica una diagnosi energetica dell'edificio e dell'impianto che individui gli interventi di riduzione della spesa energetica, i relativi tempi di ritorno degli investimenti, i miglioramenti di classe energetica dell'edificio, motivando le scelte impiantistiche che si vanno a realizzare nel caso di: a) di installazione di potenze nominali al focolare ≥ 100 kW b) di installazione di impianti termici individuali per i quali la somma delle potenze dei singoli generatori o la potenza nominale dell'impianto termico preesistente risulta essere ≥ 100 kW
Q	Fermo restando quanto prescritto per gli impianti di potenza complessiva maggiore o uguale a 350kW all'art.5 comma 6 del DPR 412/1993, è prescritto: a) In assenza di produzione di acqua calda sanitaria ed in presenza di acqua di alimentazione dell'impianto con durezza temporanea maggiore o uguale 25 gradi francesi: -un trattamento chimico di condizionamento per impianti di potenza nominale del focolare complessiva ≤ 100 kW, -un trattamento di addolcimento per impianti di potenza nominale di focolare complessiva compresa 100 e 350kW. Nel caso di produzione di acqua calda sanitaria le disposizioni di cui alla lettera a) valgono in presenza di acqua di alimentazione dell'impianto con durezza temporanea maggiore di 15 gradi francesi.
Q'	Nel caso di mera sostituzione di generatori di calore si intendono rispettate tutte le disposizioni vigenti in tema di uso razionale dell'energia, qualora coesistano le seguenti condizioni: a) rendimento termico utile (in corrispondenza di un carico pari al 100% della potenza termica nominale utile $\eta \geq 90 + 2 \log P_n$, Per valori di P_n maggiori di 400 kW si applica il limite massimo corrispondente a 400 kW; b) le nuove pompe di calore elettriche o a gas abbiano un rendimento utile in condizioni nominali, riferito all'energia primaria $\eta_{u, \geq 90 + 2 \log P_n}$; con fattore di conversione tra energia elettrica ed energia primaria $0,36 \frac{W_{elett}}{W_{primaria}}$ e per le pompe di calore a gas, il fattore di conversione pari a 1 per il solo consumo di gas; c) siano presenti una centralina di termoregolazione programmabile per ogni generatore di calore e dispositivi modulanti per la regolazione automatica della temperatura ambiente nei singoli locali e nelle zone che, per le loro caratteristiche di uso ed esposizione possano godere, a differenza degli ambienti riscaldati, di apporti di calore solari o comunque gratuiti. Detta centralina di termoregolazione si differenzia in relazione alla tipologia impiantistica e deve possedere almeno i requisiti già previsti all'art. 7 del DPR 412/1993, nei casi di nuova installazione o ristrutturazione di impianti termici. In ogni caso detta centralina deve: - essere pilotata da sonde di rilevamento della temperatura interna, supportate eventualmente da una analoga centralina per la temperatura esterna, con programmatore che consenta la regolazione della temperatura ambiente su due livelli di temperatura nell'arco delle 24 ore, nel caso di impianti termici centralizzati - consentire la programmazione e la regolazione della temperatura ambiente su due livelli di temperatura nell'arco delle 24 ore, nel caso di impianti termici per singole unità immobiliari; d) siano presenti e dispositivi modulanti per la regolazione automatica della temperatura ambiente nei singoli locali e nelle zone che, per le loro caratteristiche di uso ed esposizione possano godere, a differenza degli ambienti riscaldati, di apporti di calore solari o comunque gratuiti; e) sia motivato l'eventuale incremento di potenza nominale dei nuovi generatori rispetto a quelli sostituiti; f) nel caso di installazione di generatori di calore a servizio di più unità immobiliari, sia verificata la corretta equilibratura del sistema di distribuzione, al fine di consentire contemporaneamente, in ogni unità immobiliare, il rispetto dei limiti minimi di confort e dei limiti massimi di temperatura interna e sia installato un sistema di contabilizzazione del calore che permetta la ripartizione dei consumi per singola unità immobiliare;

Alcune esperienze di certificazione già attive

Nell'attesa che sia indicata un'unica procedura normativa nazionale per la certificazione degli edifici, alcuni soggetti pubblici hanno già avviato o sviluppato procedure di certificazione. È il caso, ad esempio, della Regione Lombardia, della Regione Piemonte, delle Province di Milano, Bolzano, Trento e Reggio Emilia (Ecoabita), del Comune di Carugate (Mi) e del Comune di Melzo (Mi).

Di particolare rilievo è l'esperienza Casa Clima di Bolzano¹³: nel 2002 la Provincia ha adottato un sistema che permette ai cittadini di calcolare in modo semplice ma efficace il consumo energetico anno a metro quadrato della loro abitazione e ottenere un *certificato edilizio* comprovante la classe di appartenenza (le classi vanno dalla A alla G, ovvero da 3 a 16 litri di gasolio o metri cubi di metano). Il sistema denominato Casa Clima, anche se volontario, si è affermato e ha fatto scuola per la sua semplicità ed efficacia, oltre che per lo spirito di emulazione che ha determinato tra i cittadini e i costruttori. Questo metodo, infatti, rende evidente ed esplicito che il minor consumo determina un crescente risparmio nella gestione dell'abitazione, per cui i maggiori costi di costruzione possono essere ammortizzati in pochi anni. Solo in un secondo momento il Comune di Bolzano ha reso obbligatoria la certificazione degli edifici.

Altra esperienza di grande interesse è quella promossa dalla Provincia di Milano e dai Comuni di Carugate e Melzo che ha condotto all'istituzione di un ente di accreditamento denominato Sacert (Sistema per l'accREDITamento degli organismi degli edifici) con il compito di:

- definire una procedura per la certificazione energetica degli edifici (Class Energia);
- definire una metodologia di calcolo per la valutazione delle prestazioni energetiche in condizioni standard (BestClass);
- promuovere l'organizzazione di corsi per certificatori, progettisti e attività formative nel campo dell'efficienza energetica e dell'uso delle fonti energetiche rinnovabili¹⁴;
- accreditare i tecnici certificatori rendendo disponibili gli elenchi agli operatori che intendono aderire allo schema di certificazione promosso da Sacert;
- effettuare controlli ed ispezioni sulle attività di certificazione garantendo che le stesse siano svolte in coerenza con quanto stabilito dalle procedure di certificazione.

¹³ Per maggiori informazioni vedi <http://www.provincia.bz.it/agenzia-ambiente/2902/klimahaus/>.

¹⁴ La procedura di calcolo, il software sono scaricabili gratuitamente dal sito www.sacert.eu, dove si trovano anche informazioni relativamente ai corsi e l'elenco dei professionisti già accreditati.

Nella nostra Regione, invece, risulta estremamente interessante la proposta del Comune di Reggio Emilia¹⁵ che ha introdotto nel proprio regolamento edilizio norme sul risparmio energetico e l'uso di tecnologie costruttive bioclimatiche, ecologiche e non inquinanti. Sono stati individuati tre campi di intervento sui quali investire in termini di qualità: efficienza energetica, risparmio idrico e benessere abitativo. Le norme non sono cogenti ma individuano una serie di incentivi economici, edilizi e di merito, come l'aumento della superficie edificabile, la riduzione degli oneri di urbanizzazione secondaria, e attestazioni del livello qualitativo raggiunto attraverso etichette di qualità (classificazione energetica, certificazione Eco, certificazione Bio). Per quanto riguarda la certificazione energetica (Eco) sarà necessario che l'edificio rispetti tre requisiti, riguardanti l'efficienza energetica, il comfort estivo ed il risparmio idrico.

Tuttavia, al momento le varie esperienze hanno operato principalmente nel settore residenziale, mentre non sono ancora stati effettuati approfondimenti relativamente all'edilizia di carattere produttivo. Poiché anche i nuovi edifici ad uso produttivo dovranno soddisfare quanto previsto dal Decreto, nei paragrafi successivi si è cercato di indagare come si effettua il calcolo della prestazione energetica degli edifici, al fine di comprendere le difficoltà tecniche e progettuali per rispettare tali requisiti.

¹⁵ Maggiori informazioni al sito www.ecoabita.it o www.municipio.re.it.

2.2. Il progetto pilota

La progettazione di un edificio eco-sostenibile è molto complessa per i numerosi aspetti che devono essere affrontati. Il tema della sostenibilità in edifici di tipo residenziale e, seppure in misura minore, in edifici di tipo terziario, inizia a diffondersi e diversi interventi sono già stati realizzati. L'applicazione dei principi della sostenibilità alla realizzazione di edifici industriali è invece ad oggi ancora inesplorata, e la consuetudine realizzativa è lontana da standard accettabili. Il presente studio si pone l'obiettivo di portare un contributo in tal senso, indagando nello specifico il tema dell'efficienza energetica.

È necessario, allo scopo di verificare quali caratteristiche deve possedere un edificio di carattere produttivo affinché siano rispettate le indicazioni contenute nel D. Lgs. 311/2006 e nell'Atto di indirizzo della regione Emilia Romagna, e ottimizzarne le prestazioni energetiche, definire un caso studio da sottoporre alle verifiche indispensabili; in particolare è opportuno definire alcuni parametri geometrici ed energetici.

Parametri geometrici

Il progetto pilota è localizzato in un'area produttiva di espansione in provincia di Bologna, ed è destinato ad ospitare un'impresa medio-piccola.

Sulla base delle considerazioni esposte nel paragrafo 1.1 in cui si è cercato di approfondire il tema "Geometria e orientamento", si prende a riferimento una cellula dell'edificio a *stringa solare*, isolata nella simulazione, di dimensioni 30x60 m (1.800 mq)., con un orientamento est-ovest¹⁶.

Il nucleo civile (uffici, servizi al personale, ecc.) occupa una superficie di 400 mq.

Lo schema dell'organizzazione funzionale e spaziale interna dei nuclei civili con quelli produttivi, di magazzinaggio e di mostra, è pensato per la più ampia possibilità di suddivisione degli spazi interni in diretto rapporto con le esigenze produttive; in particolare la parte civile è collocata sul lato Sud del modulo, disposta, a seconda delle esigenze, fino a due livelli accessibili anche dall'esterno; in questo modo vengono minimizzate le problematiche di qualità ambientale riferita all'intorno acustico, termico, di illuminazione e ventilazione.

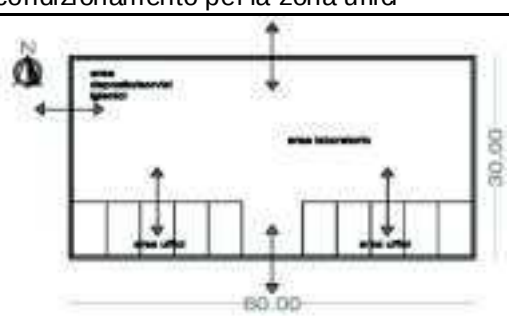
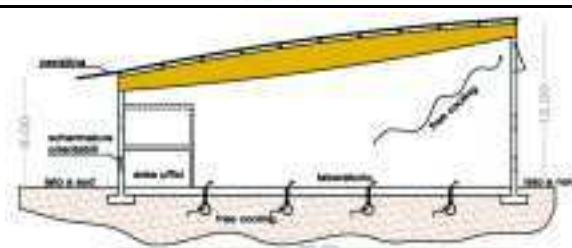
L'inserimento della parte civile non compromette lo schema di tipo simmetrico, permettendo una facile accessibilità sia dal lato Nord sia dal lato Sud; viene così privilegiata la logistica dei trasporti grazie alla struttura edilizia allungata,

¹⁶ Nell'edificio base, si considera il caso di un orientamento nord-sud non corretto.

rispondendo allo stesso tempo anche all'esigenza di avere i vari nuclei funzionali organizzati in una struttura di tipo compatto.

La copertura dell'edificio è semplificata al massimo, anche in ragione del costo di costruzione, e si configura come un'unica falda su trave in legno lamellare, 12 metri in elevazione sul lato Nord, rispetto all'altezza di gronda di 8 metri del lato Sud. Questa geometria permette una facile ed intuitiva interazione e predisposizione di sistemi solari termici e fotovoltaici.

Sulla facciata del lato Sud, la copertura si prolunga naturalmente in una pensilina, adeguata per riparare da luce e calore nella stagione estiva la finestratura alta degli uffici; la finestratura bassa sarà dotata di schermature solari orientabili direttamente applicate agli infissi.

<i>Parametri di riferimento per il progetto pilota</i>	
Superficie	Modulo 30x60m = 1.800mq Uffici 400mq (2 livelli) Produzione 1.400mq
Altezza	Min 8 m – max 12 m
Volume	18.000 mc
S/V	0,3
Zona climatica	E (gradi giorno Comune di Bologna: 2259)
Orientamento	Est-ovest (edificio base Nord-sud)
Temperature esercizio invernali	Produzione 18°C Uffici 20°C
Temperature esercizio estiva	-4°C rispetto alla temperatura esterna per la zona interessata dal (<i>Free cooling</i>) -6/8°C rispetto alla temperatura esterna con un sistema di condizionamento per la zona uffici
Pianta	
Sezione	

Parametri energetici

I termini di Legge per la valutazione delle prestazioni energetiche degli edifici sono, al momento della stesura di questo studio, in una fase di transizione e perfezionamento: gli innumerevoli e virtuosi esempi di calcolo che provengono dalle esperienze finora condotte a livello sperimentale e volontario, stanno per essere introdotte all'interno di una nuova normativa, che fisserà univocamente i limiti per procedere ad una valutazione di "merito" energetico univoca.

In mancanza di uno schema di calcolo delle prestazioni energetiche e delle procedure di calcolo dei rendimenti definito dalla normativa Italiana, si è proceduto basandosi su quanto finora sperimentato -anche con successo- in diverse realtà europee e locali Italiane.

Occorre prima di tutto calcolare i valori limite per la climatizzazione invernale, sulla base della tab. A3 dell'Allegato 3 all'Atto di indirizzo regionale, specifico per gli edifici industriali di nuova costruzione a partire dal 1°Luglio 2008 ¹⁷:

Ipotizzando che l'edificio studiato ($S/V=0,3$) sia localizzato nell'area climatica del Bolognese (gradi giorno 2259) ed effettuando un'interpolazione lineare, si ottiene un limite imposto dalla normativa vigente, in termini di prestazione energetica per la climatizzazione invernale che utilizzeremo per i vari confronti:

$$EP_i, \text{ di } 12,12 \text{ kWh/mc}$$

La Classe Energetica a cui l'edificio appartiene è determinata confrontando il valore del fabbisogno di energia primaria:

$$EP_i + EP_{acs} = EP_{tot}$$

Dove

EP_i = indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale,

EP_{acs} = indice di prestazione energetica per produzione di acqua calda sanitaria.

Per quanto riguarda il calcolo di EP_{acs} ci si riferisce alla tab. B2 dell'Allegato 3 all'Atto di indirizzo regionale¹⁸.

In particolare, per la conversione in kWh/mc/anno, occorre moltiplicare il valore di EP_{acs} della tabella B2 per il numero dell'unità di misura considerato e dividere il totale per il volume netto dell'edificio.

Nell'edificio pilota considereremo per questo calcolo la sola superficie ed il relativo volume della parte uffici, considerando un affollamento della zona considerata di circa 40 occupanti.

$$EP_{acs} = 3,8 \text{ kWh/mc.}$$

¹⁷ Riportata nel testo alla tab. 06.

¹⁸ In parte riportata nel testo alla tab. 07

Pertanto possiamo così esprimere il limite di riferimento:

Parametri di riferimento per il progetto pilota		
$EP_{tot} \text{ limite} = EP_i + EP_{acs}$	1° Luglio 2008	15,92 kWh/mc

Tab. 15 – Valore limite dell'indice di prestazione energetica.

Quanto finora indicato è valido per le prestazioni energetiche invernali, mentre nei termini di quella che sarà la certificazione energetica, non vengono considerate le problematiche di efficienza energetica legate alla climatizzazione estiva.

Nelle considerazioni seguenti abbiamo scelto un approccio globale al problema dell'energia, ampliando il calcolo e considerando il rapporto costi benefici per la prestazione energetica complessiva dell'edificio durante tutto l'anno.

L'approccio globale permette di considerare anche sotto il profilo economico i benefici dell'edilizia passiva, che in molti casi contribuisce in termini di comfort e risparmio soprattutto nella stagione estiva.

Il fabbisogno di energia primaria per la climatizzazione invernale viene calcolato quindi sia per gli uffici, e zone di tipo civile (ipotizzando una superficie di circa 400 mq), sia che per la parte artigianale avente un volume più ampio.

Per il fabbisogno di energia primaria per la climatizzazione estiva si considerano invece solo gli uffici e la parte civile, in quanto la parte di volumetria maggiore relativa alla zona artigianale normalmente non viene raffrescata; nell'area di lavoro gli unici apporti per migliorare le condizioni ambientali sono quelli gratuiti (*free cooling*) determinati dalla predisposizione di accorgimenti passivi. Questo significa che spenderemo energia solo per raffrescare gli uffici. Anche il sistema di aerazione utilizzato è di tipo naturale.

Si ipotizzano inoltre le seguenti temperature di esercizio:

- 1) nella stagione invernale 18°C nelle aree dedicate alla produzione e 20°C negli uffici;
- 2) nella stagione estiva 4°C in meno rispetto alla temperatura esterna per la zona interessata grazie al *free cooling*;
- 3) nella stagione estiva 6/8°C in meno rispetto alla temperatura esterna negli uffici.

2.3 Metodologia di calcolo delle prestazioni energetiche

Lo schema di calcolo per la valutazione delle prestazioni energetiche degli edifici si basa sulle metodologie standard, i cui riferimenti sono principalmente fissati dalla seguente norma UNI:

- UNI 10347, Riscaldamento e raffrescamento degli edifici – Energia termica scambiata tra una tubazione e l'ambiente circostante – Metodo di calcolo
- UNI 10348, Riscaldamento degli edifici – Rendimenti dei sistemi di riscaldamento – Metodo di calcolo
- UNI 10349, Riscaldamento e raffrescamento degli edifici – Dati climatici
- UNI 10351, Materiali da costruzione – Conduttività termica e permeabilità al vapore
- UNI 10355, Murature e solai – Valori della resistenza termica e metodo di calcolo
- UNI EN 410, Vetro per edilizia – Determinazione delle caratteristiche luminose e solari delle vetrate
- UNI EN 673, Vetro per edilizia – Determinazione della trasmittanza termica (valore U) - Metodo di calcolo
- UNI EN 832, Prestazione termica degli edifici – Calcolo del fabbisogno di energia per il riscaldamento – Edifici residenziali
- UNI EN 13789, Prestazione termica degli edifici – Coefficiente di perdita di calore per trasmissione – Metodo di calcolo
- UNI EN ISO 6946, Componenti ed elementi per edilizia – Resistenza termica e trasmittanza termica – Metodo di calcolo
- UNI EN ISO 7345, Isolamento termico – Grandezze fisiche e definizioni
- UNI EN ISO 10077-1, Prestazione termica di finestre, porte e chiusure – Calcolo della trasmittanza termica – Metodo semplificato
- UNI EN ISO 10077-2, Prestazione termica di finestre, porte e chiusure – Calcolo della trasmittanza termica – Metodo numerico per i telai
- UNI EN ISO 10211-1, Ponti termici in edilizia – Flussi termici e temperature superficiali – Metodi generali di calcolo
- UNI EN ISO 10211-2, Ponti termici in edilizia – Calcolo dei flussi termici e delle temperature superficiali – Ponti termici lineari
- UNI EN ISO 13370, Prestazione termica degli edifici – Trasferimento di calore attraverso il terreno – Metodi di calcolo
- UNI EN ISO 13786, Prestazione termica dei componenti per edilizia – Caratteristiche termiche dinamiche – Metodi di calcolo
- UNI EN ISO 13790, Prestazione termica degli edifici – Calcolo del fabbisogno di energia per il riscaldamento
- UNI EN ISO 14683, Ponti termici nelle costruzioni edili – Trasmittanza termica lineare – Metodi semplificati e valori di progetto

- UNI EN ISO 15927-1, Prestazione termoigrometrica degli edifici –Calcolo e presentazione dei dati climatici – Medie mensili dei singoli elementi meteorologici.

Esistono molti software commerciali che interpretano le norme suddette, non sempre in modo esaustivo, quasi mai in modo completamente flessibile, a meno dell'inserimento pedissequo di tutti i dati di input; alcuni software iniziano a utilizzare modelli matematici che permettono buoni risultati a fronte dell'inserimento di un numero limitato di informazioni: per i calcoli fatti di seguito si è provveduto al test di diversi programmi, alcuni dei quali già sviluppati con un approccio modellistico.

Nell'analisi dei dati relativi allo studio in oggetto si sono messi a confronto diversi software sviluppando il medesimo caso; sono stati utilizzati software di approccio termotecnico, quindi molto vicini alle norme UNI a confronto con software nati per la certificazione energetica, diversi come impostazione, più qualitativa e meno "numerica".

I risultati sono stati confrontati nell'ambito di precisione fissato dalle classi di efficienza energetica.

L'Atto di indirizzo della regione Emilia Romagna ha fissato per la nuova edilizia industriale i valori limite di legge a partire dal 1°Luglio 2008 (tabella 12.2 dell'Allegato n.9) e per costruire la tabella delle classi di efficienza ci si è basati su questi intervalli; dopo diverse simulazioni in cui ci si è portati vicino al limite qualità prezzo dei materiali, si è operato il confronto con le diverse classi indicate.

Classi di prestazione energetica: altri edifici (kWh/m³anno)	
A	$Ep_{tot} < 8$
B	$8 < Ep_{tot} < 16$
C	$16 < Ep_{tot} < 30$
D	$30 < Ep_{tot} < 44$
E	$44 < Ep_{tot} < 60$
F	$60 < Ep_{tot} < 80$
G	$Ep_{tot} > 80$

I valori per il calcolo costi benefici sono stati desunti prevalentemente da prezziari regionali delle Camere di Commercio e per alcuni materiali anche da prezzi di mercato.

In base al confronto con l'indice di prestazione energetica EP_i , di 15,92 kWh/mc, che utilizzeremo per i vari confronti, gli edifici industriali di nuova costruzione a partire dal 1°Luglio 2008 dovranno appartenere alla Classe B.

La caratterizzazione energetica dell'edificio tipo negli esempi proposti in seguito, metterà in evidenza due parametri:

$$PE_H = \text{Fabbisogno energetico specifico dell'involucro}$$

Definisce le caratteristiche dell'involucro, tiene conto delle dispersioni di calore, ma anche degli eventuali apporti gratuiti dovuti alla radiazione solare e gli apporti interni:

$$EP_{tot} = \text{Fabbisogno globale di energia primaria}$$

somma del fabbisogno di energia primaria per riscaldamento e di quello per la produzione di acqua calda sanitaria con la detrazione degli eventuali contributi energetici dovuti alle fonti rinnovabili.

2.4 Caratterizzazione degli edifici tipo e introduzione all'area di calcolo

Per lo svolgimento delle analisi energetiche sulle diverse tipologie costruttive proposte successivamente, sono stati considerati i principi dell'*umanesimo ecologico*, filosofia della sostenibilità architettonica che coniuga *low* e *high tech*, cercando di abbinare coerentemente materiali della tradizione e prodotti dell'industrializzazione edilizia.

Questa filosofia di progettazione pone l'uomo e la natura al centro del progetto, cercando una terza via tra l'uso massiccio della tecnologia e le componenti passive sempre utilizzate nella costruzione degli edifici.

In particolare, la scelta di materiali, l'orientamento degli edifici e le altre componenti passive fanno tesoro dei principi di quanto realizzato nell'architettura del passato; il *free cooling*, ad esempio, era già impiegato nell'edilizia araba del medioevo siciliano, mentre il concetto di isolamento trova esempi incredibili nei trulli pugliesi.

Nel rispetto dell'*umanesimo ecologico* l'inserimento dell'*high tech* in strutture che nascono secondo questi principi, permette il raggiungimento di elevate prestazioni complessive degli edifici; al contrario l'inserimento della tecnologia su strutture poco efficienti determina un assurdo in termini energetici contribuendo in modo massiccio ad inutili sprechi.

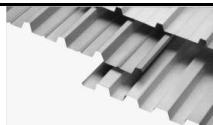
In linea con questi principi, nei nostri casi studio, l'inserimento della tecnologia (impianti ad energia rinnovabile, ecc) avanza in parallelo con il miglioramento degli involucri edilizi ottimizzando il rapporto costi - benefici.

In particolare sono stati studiati casi diversi applicando varie tecnologie costruttive a partire dalle tradizionali fino all'edificio a bolletta zero.

L'edificio base rappresenta il capannone industriale - artigianale costruito con i materiali e le tecnologie di tipo tradizionale, applicate già allo schema costruttivo a "stringa solare"; sono state calcolate le prestazioni energetiche sia per un edificio orientato non correttamente che secondo criteri per l'ottimizzazione energetica.

Le schede di ogni edificio tipo riportano nella prima parte una sintesi semplificativa delle scelte operate in termini di materiali ed impianti e successivamente un riassunto dei parametri significativi risultanti dal calcolo energetico; nella tabella finale sono poi riportati i risultati utilizzati per il calcolo dei costi e benefici.

Alcune caratterizzazioni di edificio vengono proposte con alcune varianti che interessano prevalentemente la scelta degli impianti e non le parti strutturali.

Edificio Base (Classe D): non rispetta i limiti al 1°luglio 2008								
	Orientamento: Est-Ovest	Superfici ripartite per orientamento (m²)						
		SE=0	E=100	NE=0	N=0	NO=0	O=200	SO=0
		Oscuramento						
	Copertura: lamiera grecata	U = 2.02 W/mq K						
	Infissi: vetro singolo, telaio in metallo senza taglio termico	U = 6.00 W/mq K						
	Partizioni esterne verticali: c.a. prefabbricato	U = 3.36 W/mq K						
	Solaio a terra cls su terreno	U = 1.27 W/mq K						
	Impianti climatizzazione invernale: Generatore di calore: standard efficiente	Terminali scaldanti :termoventilanti Sistema di regolazione: manuale						
	Impianto climatizzazione estiva: nessuno							

Classe di consumo indicativa		PE _H	EP _{tot}
A		EP _{tot} < 8	
B	Limite Progetto Pilota 	8 < EP _{tot} < 16	
C		16 < EP _{tot} < 30	
D		30 < EP _{tot} < 44	22,7 32,9
E		44 < EP _{tot} < 60	
F		60 < EP _{tot} < 80	
G		EP _{tot} > 80	

Questa configurazione, esemplificativa dello standard costruttivo presente, è ampiamente al di fuori dei limiti imposti dalla normativa; è anche difficoltoso sostenere economicamente le spese per il riscaldamento del capannone.

Costo di Costruzione ipotizzato: 450 €/mq

Edificio Base Variante 1

È lo stesso edificio analizzato precedentemente per quanto riguarda impianti e strutture, è però stato ruotato e orientato in modo tale da avere il lato maggiore esposto a sud.

Classe di consumo indicativa			PE _H	EP _{tot}
A		EP _{tot} < 8		
B	 Limite Progetto Pilota EP _{tot} =15,92	8 < EP _{tot} < 16		
C		16 < EP _{tot} < 30		
D		30 < EP _{tot} < 44	21,3	30,9
E		44 < EP _{tot} < 60		
F		60 < EP _{tot} < 80		
G		EP _{tot} > 80		

Anche in questa configurazione si è sempre ampiamente al di fuori dei limiti imposti dalla normativa, ma a costo di costruzione invariato si guadagna un aumento del 30% degli apporti gratuiti, che hanno sensibilmente migliorato la situazione invernale e determinato l'aumento del comfort estivo della zona artigianale.

Costo di Costruzione ipotizzato: 450 €/mq

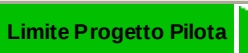
Edificio classe B.1 : rispetta i limiti al 1°luglio 2008								
	Orientamento: Nord-Sud	Superfici ripartite per orientamento (m²)						
		S=100	SE=0	E=0	NE=0	N=200	NO=0	O=0
		Oscuramento						
X								
	Copertura: lamiera grecata poco coibentata	U = 0.75 W/mq K						
	Infissi: vetro camera semplice e metallo a taglio termico	U = 3.3 W/mq K						
	Partizioni esterne verticali: parete a cassa vuota in gasbeton	U = 1.32 W/mq K						
	Solaio a terra Basamento cls su terreno	U = 0.98 W/mq K						
	Impianti climatizzazione invernale: <i>Generatore di calore:</i> a temperatura scorrevole	<i>Terminali scaldanti:</i> termoventilanti <i>Sistema di regolazione:</i> termoregolazione di zona						
	Impianto climatizzazione estiva: free cooling	<i>Accorgimenti passivi</i>						

Classe di consumo indicativa			PE _H	EP _{tot}
A		EP _{tot} < 8		
B	 Limite Progetto Pilota	EP _{tot} =15,92	8 < EP _{tot} < 16	14,5 14,9
C		16 < EP _{tot} < 30		
D		30 < EP _{tot} < 44		
E		44 < EP _{tot} < 60		
F		60 < EP _{tot} < 80		
G		EP _{tot} > 80		

L'applicazione dei miglioramenti effettuati sull'involucro e in parte dell'impianto termico hanno determinato un sensibile miglioramento dei parametri energetici, determinando l'ingresso nella fascia di consumo a norma di legge.

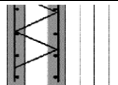
Costo di Costruzione ipotizzato: 560 €/mq

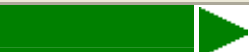
Edificio classe B.2:		
	Orientamento: Nord-Sud	Superfici ripartite per orientamento (m ²) S<100 SE=0 E=0 NE=0 N=200 ND=0 O=0 Oscuramento X
	Copertura: lamiera grecata poco coibentata	U = 0.75 W/mq K
	Infissi: vetro camera semplice e metallo a taglio termico	U = 3.0 W/mq K
	Partizioni esterne verticali: pannello in cls	U = 0.74 W/mq K
	Solaio a terra Soletta coibentata	U = 0.71 W/mq K
	Impianti climatizzazione invernale: <i>Generatore di calore:</i> a temperatura scorrevole	<i>Terminali scaldanti:</i> termostriscie o tubi radianti <i>Sistema di regolazione:</i> termoregolazione di zona
	Impianto climatizzazione estiva: free cooling	<i>Accorgimenti passivi</i>

Classe di consumo indicativa			PE _H	EP _{tot}
A		EP _{tot} < 8		
B	 Limite Progetto Pilota	EP _{tot} =15,92	8 < EP _{tot} < 16	13,6
C		16 < EP _{tot} < 30		
D		30 < EP _{tot} < 44		
E		44 < EP _{tot} < 60		
F		60 < EP _{tot} < 80		
G		EP _{tot} > 80		

Il miglioramento dei materiali isolanti e della tipologia di impianto di riscaldamento hanno determinato l'innalzamento dei parametri energetici entro il livello di Legge previsto all'inizio del 2008.

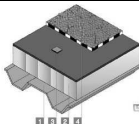
Costo di Costruzione ipotizzato: 624 €/mq.

Edificio classe B.3																																		
	Orientamento: Nord-Sud	<table><tr><th colspan="7">Superfici ripartite per orientamento (m²)</th></tr><tr><td>S=100</td><td>SE=0</td><td>E=0</td><td>NE=0</td><td>N=200</td><td>NO=0</td><td>O=0</td></tr><tr><th colspan="7">Oscuramento</th></tr><tr><td>X</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>					Superfici ripartite per orientamento (m²)							S=100	SE=0	E=0	NE=0	N=200	NO=0	O=0	Oscuramento							X						
Superfici ripartite per orientamento (m²)																																		
S=100	SE=0	E=0	NE=0	N=200	NO=0	O=0																												
Oscuramento																																		
X																																		
	Copertura: in lamiera grecata mediamente isolata	U = 0.55 W/mq K																																
	Infissi: vetro camera basso emissivo con aria e telaio in PVC	U = 1.70 W/mq K																																
	Partizioni esterne verticali: pannello in cls a doppia lastra con camera d'aria	U = 0.59 W/mq K																																
	Solaio a terra Soletta coibentata	U = 0.66 W/mq K																																
	Impianti climatizzazione invernale: <i>Generatore di calore:</i> caldaia a condensazione	<i>Terminali scaldanti:</i> pannelli radianti pavimento <i>Sistema di regolazione:</i> termoregolazione di zona																																
	Impianto climatizzazione estiva: free cooling	<i>Accorgimenti passivi</i>																																

Classe di consumo indicativa			PE _H	EP _{tot}
A		EP _{tot} < 8		
B	Limite Progetto Pilota  EP _{tot} =15,92	8 < EP _{tot} < 16	11,7	11,8
C		16 < EP _{tot} < 30		
D		30 < EP _{tot} < 44		
E		44 < EP _{tot} < 60		
F		60 < EP _{tot} < 80		
G		EP _{tot} > 80		

Sono stati operati miglioramenti ulteriori ed in particolare è stata introdotta una tipologia di vetro particolarmente virtuosa dal punto di vista energetico. Da adesso in avanti ulteriori miglioramenti sull'involucro determineranno un aumento lento della prestazione energetica che renderà i costi di costruzione elevati a fronte di guadagni energetici non rilevanti.

Costo di Costruzione ipotizzato: 736 €/mq.

Edificio classe B.4																														
	Orientamento: Nord-Sud	<table><tr><th colspan="7">Superfici ripartite per orientamento (m²)</th></tr><tr><td>S=100</td><td>SE=0</td><td>E=0</td><td>NE=0</td><td>N=200</td><td>NO=0</td><td>O=0</td></tr><tr><th colspan="7">Oscuramento</th></tr><tr><td>X</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>	Superfici ripartite per orientamento (m²)							S=100	SE=0	E=0	NE=0	N=200	NO=0	O=0	Oscuramento							X						
Superfici ripartite per orientamento (m²)																														
S=100	SE=0	E=0	NE=0	N=200	NO=0	O=0																								
Oscuramento																														
X																														
	Copertura: lamiera grecata molto isolata	U = 0.50 W/mq K																												
	Infissi: vetro camera selettivo con aria e telaio in PVC	U = 1.70 W/mq K																												
	Partizioni esterne verticali: parete in cls isolato	U = 0.57 W/mq K																												
	Solaio a terra Soletta coibentata	U = 0.55 W/mq K																												
	Impianti climatizzazione invernale: <i>Generatore di calore:</i> caldaia a condensazione	<i>Terminali scaldanti:</i> pannelli radianti pavimento <i>Sistema di regolazione:</i> termoregolazione di zona																												
	Impianto climatizzazione estiva: free cooling	<i>Accorgimenti passivi</i>																												

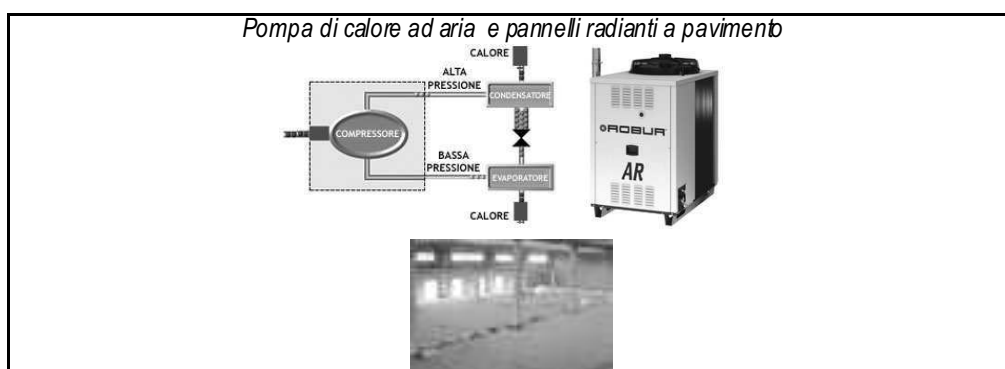
Classe di consumo indicativa			PE _H	EP _{tot}
A		EP _{tot} < 8		
B	 Limite Progetto Pilota	EP _{tot} =15,92 8 < EP _{tot} < 16	8,3	8,6
C		16 < EP _{tot} < 30		
D		30 < EP _{tot} < 44		
E		44 < EP _{tot} < 60		
F		60 < EP _{tot} < 80		
G		EP _{tot} > 80		

Sono state aumentate ulteriormente le prestazioni delle strutture opache verticali e delle strutture trasparenti. A partire da questi valori di fabbisogno energetico è possibile operare con l'ausilio delle tecnologie solari (termiche e fotovoltaiche) per diminuire il fabbisogno termico ovvero si può riuscire ad azzerare la bolletta energetica con l'ausilio delle energie rinnovabili.

Costo di Costruzione ipotizzato: 784 €/mq.

Edificio di Classe B.4 - Variante 1

È stata inserita al posto della caldaia a condensazione un impianto a pompa di calore, che può essere alimentato con un impianto solare fotovoltaico. Visti i consumi di acqua calda sanitaria determinati da una piccola attività produttiva che non utilizza acqua nel proprio ciclo produttivo, il solare termico per l'acqua calda sanitaria non è interessante da un punto di vista energetico ed economico; analogamente l'inserimento del solare termico per riscaldamento migliora il fabbisogno di energia primaria invernale molto lentamente, rispetto ai benefici del solare fotovoltaico sulle pompe di calore.



È interessante notare come inserendo nell'edificio una pompa di calore ad aria, confrontabile in termini di efficienza con una caldaia a condensazione, c'è la possibilità di azzerare il consumo invernale inserendo 400 mq di pannelli fotovoltaici sul coperto, già correttamente predisposto. Per azzerare anche i consumi determinati dal condizionamento estivo degli uffici occorre inserire circa altri 100 mq di pannelli fotovoltaici.

Classe di consumo indicativa		PE _H	EP _{tot}
A		EP _{tot} < 8	0
B	Limite Progetto Pilota  EP _{tot} =15,92	8 < EP _{tot} < 16	8,3
C		16 < EP _{tot} < 30	
D		30 < EP _{tot} < 44	
E		44 < EP _{tot} < 60	
F		60 < EP _{tot} < 80	
G		EP _{tot} > 80	

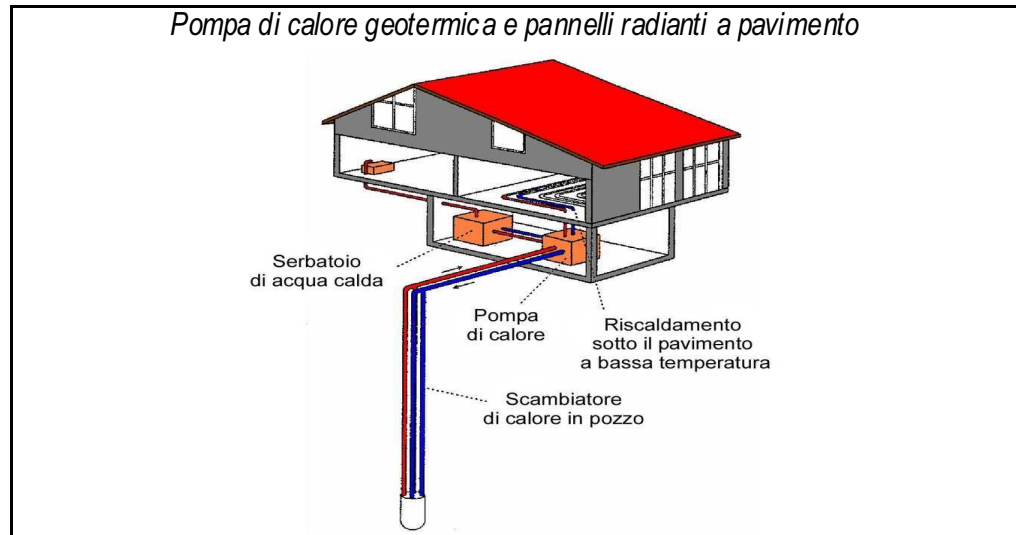
Costo di Costruzione ipotizzato con pompa di calore ad aria: 784 €/mq

Costo fotovoltaico per azzerare il consumo invernale: 240.000 €.

Costo fotovoltaico per azzerare il consumo estivo degli uffici: 60.000 €.

Edificio di Classe B.4 - Variante 1

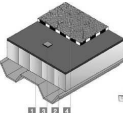
Sostituendo la pompa di calore ad aria con una geotermica, è possibile sopperire ai consumi elettrici invernale con circa 320 mq di pannelli fotovoltaici e a quelli estivi con circa altri 75 mq.

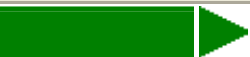


Costo di Costruzione ipotizzato con pompa di calore geotermica: 816 €/mq

Costo fotovoltaico per azzerare il consumo invernale: 192.000 €.

Costo fotovoltaico per azzerare il consumo estivo degli uffici: 45.000 €.

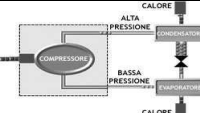
Edificio classe A.1																																			
	Orientamento: Nord-Sud	<table><tr><th colspan="7">Superfici ripartite per orientamento (m²)</th></tr><tr><td>S>100</td><td>SE=0</td><td>E=0</td><td>NE=0</td><td>N=200</td><td>NO=0</td><td>O=0</td></tr><tr><th colspan="7">Oscuramento</th></tr><tr><td>X</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>						Superfici ripartite per orientamento (m²)							S>100	SE=0	E=0	NE=0	N=200	NO=0	O=0	Oscuramento							X						
Superfici ripartite per orientamento (m²)																																			
S>100	SE=0	E=0	NE=0	N=200	NO=0	O=0																													
Oscuramento																																			
X																																			
	Copertura: in lamiera grecata molto isolata	U = 0.50 W/mq K																																	
	Infissi: vetro camera selettivo con aria e telaio in PVC	U = 1.70 W/mq K																																	
	Partizioni esterne verticali: parete in cls isolato	U = 0.57 W/mq K																																	
	Solaio a terra Soletta coibentata	U = 0.55 W/mq K																																	
	Impianti climatizzazione invernale: <i>Generatore di calore:</i> caldaia a condensazione e impianto solare termico	<i>Terminali scaldanti:</i> pannelli radianti pavimento <i>Sistema di regolazione:</i> termoregolazione di zona																																	
	Impianto climatizzazione estiva: free cooling	<i>Accorgimenti passivi</i>																																	

Classe di consumo indicativa		PE _H	EP _{tot}
A 	EP _{tot} < 8	6,4	6,6
B  Limite Progetto Pilota EP _{tot} =15,92	8 < EP _{tot} < 16		
C 	16 < EP _{tot} < 30		
D 	30 < EP _{tot} < 44		
E 	44 < EP _{tot} < 60		
F 	60 < EP _{tot} < 80		
G 	EP _{tot} > 80		

Si è presa in considerazione la configurazione dell'involucro dell'edificio precedente, utilizzando però per la climatizzazione una caldaia a condensazione (con prestazioni equivalenti ad una pompa di calore in termini energetici), abbinata ad un impianto solare termico in supporto al riscaldamento (30.000 kWh/anno). Rispetto alla soluzione dell'Edificio Classe

B.4 - Variante 1, dove l'impianto solare fotovoltaico era accoppiato ad una pompa di calore, l'inserimento del solare termico per riscaldamento migliora il fabbisogno di energia primaria invernale molto lentamente; anche un raddoppio dell'impianto solare termico integrato all'impianto di riscaldamento non sposta il fabbisogno termico in modo sensibile dalla classe relativa di riferimento. Comunque, l'inserimento dell'impianto solare termico a supporto dell'impianto di riscaldamento a condensazione per una potenza di circa 30.000 kWh/anno ovvero circa 40 mq di pannelli, determina un miglioramento complessivo delle prestazioni energetiche dell'edificio.

Costo di Costruzione ipotizzato: 816 €/mq

Edificio classe A.2																																		
	Orientamento: Nord-Sud	<table><tr><th colspan="7">Superfici ripartite per orientamento (m²)</th></tr><tr><td>S=100</td><td>SE=0</td><td>E=0</td><td>NE=0</td><td>N=200</td><td>NO=0</td><td>O=0</td></tr><tr><th colspan="7">Oscuramento</th></tr><tr><td>X</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>					Superfici ripartite per orientamento (m²)							S=100	SE=0	E=0	NE=0	N=200	NO=0	O=0	Oscuramento							X						
Superfici ripartite per orientamento (m²)																																		
S=100	SE=0	E=0	NE=0	N=200	NO=0	O=0																												
Oscuramento																																		
X																																		
	Copertura: in legno isolata e ventilata	U = 0.30 W/mq K																																
	Infissi: vetro camera selettivo con aria e telaio in PVC	U = 1.70 W/mq K																																
	Partizioni esterne verticali: parete in cls cellulare autoclavato	U = 0.35 W/mq K																																
	Solaio a terra Soletta coibentata	U = 0.55 W/mq K																																
	Impianti climatizzazione invernale: <i>Generatore di calore:</i> pompa di calore ad aria	<i>Terminali scaldanti:</i> pannelli radianti pavimento <i>Sistema di regolazione:</i> termoregolazione di zona																																
	Impianto climatizzazione estiva: free cooling	<i>Accorgimenti passivi</i>																																

Classe di consumo indicativa		PE _H	EP _{tot}
A 	EP _{tot} < 8	5,7	5,8
B  Limite Progetto Pilota EP _{tot} =15,92	8 < EP _{tot} < 16		
C 	16 < EP _{tot} < 30		
D 	30 < EP _{tot} < 44		
E 	44 < EP _{tot} < 60		
F 	60 < EP _{tot} < 80		
G 	EP _{tot} > 80		

Si è estremizzato il lavoro sull'involucro, usando materiali sempre più efficienti come isolanti, diminuendo quindi drasticamente i valori di conducibilità termica. Rispetto all'edificio precedente, pur estremizzando le caratteristiche dei materiali isolanti, il fabbisogno di energia diminuisce in modo poco sensibile a fronte di un marcato aumento dei costi di costruzione.

Costo di Costruzione ipotizzato: 848 €/mq.

Edificio di Classe A.2 - Variante 1

Inserendo una pompa di calore ad aria (confrontabile in termini di efficienza con una caldaia a condensazione), è possibile sopprimere ai consumi invernali inserendo 300 mq di pannelli fotovoltaici sul coperto.

Per azzerare anche i consumi determinati dal condizionamento estivo degli uffici, che sono minori rispetto ai casi precedenti poiché sono state ottimizzate le caratteristiche di coibentazione dell'edificio, è sufficiente inserire altri 80 mq di pannelli fotovoltaici.

Classe di consumo indicativa			PE _H	EP _{tot}
A		EP _{tot} < 8	5,7	0
B	Limite Progetto Pilota  EP _{tot} =15,92	8 < EP _{tot} < 16		
C		16 < EP _{tot} < 30		
D		30 < EP _{tot} < 44		
E		44 < EP _{tot} < 60		
F		60 < EP _{tot} < 80		
G		EP _{tot} > 80		

Costo di Costruzione ipotizzato con pompa di calore ad aria: 848 €/mq

Costo fotovoltaico per azzerare il consumo invernale: 180.000 €

Costo fotovoltaico per azzerare il consumo estivo degli uffici: 48.000 €.

Edificio di Classe A.2 - Variante 2

Nello stessa tipologia di edificio, inserendo di una *pompa di calore geotermica* al posto di quella ad aria otteniamo un azzeramento dei consumi elettrici per la parte invernale con circa 240 mq di pannelli fotovoltaici e per la parte estiva con circa 50 mq.

Costo di Costruzione ipotizzato con pompa di calore geotermica: 880 €/mq

Costo fotovoltaico per azzerare il consumo invernale: 144.000 €

Costo fotovoltaico per azzerare il consumo estivo degli uffici: 30.000 €

Edificio di Classe A.2 - Variante 3

Considerando sempre la configurazione dell'involucro dell'edificio di Classe A ma utilizzando per la climatizzazione una caldaia a condensazione (con prestazioni equivalenti ad una pompa di calore in termini energetici), abbinata ad un impianto solare termico in supporto al riscaldamento (30.000 kWh/anno ovvero circa 40 mq di pannelli), si ottiene un miglioramento complessivo delle prestazioni energetiche dell'edificio.

Classe di consumo indicativa		PE _H	EP _{tot}
A		EP _{tot} < 8	4,3 4,5
B	Limite Progetto Pilota  EP _{tot} =15,92	8 < EP _{tot} < 16	
C		16 < EP _{tot} < 30	
D		30 < EP _{tot} < 44	
E		44 < EP _{tot} < 60	
F		60 < EP _{tot} < 80	
G		EP _{tot} > 80	

Dove l'impianto solare fotovoltaico era accoppiato ad una pompa di calore, l'inserimento del solare termico per riscaldamento migliora il fabbisogno di energia primaria invernale molto lentamente; anche un raddoppio dell'impianto solare termico integrato all'impianto di riscaldamento non sposta il fabbisogno energetico in modo sensibile dalla classe relativa di riferimento.

Comunque, l'inserimento dell'impianto solare termico a supporto dell'impianto di riscaldamento a condensazione per una potenza di circa 30.000 kWh/anno ovvero circa 40 mq di pannelli, determina un miglioramento complessivo delle prestazioni energetiche dell'edificio.

Costo di Costruzione ipotizzato: 880 €/mq.

2.5. Analisi costi/benefici

Le simulazioni effettuate nell'area di calcolo evidenziano che a prestazioni energetiche migliori corrispondono costi di realizzazione maggiori. All'aumentare delle prestazioni energetiche dell'edificio diminuisce però in maniera proporzionale il fabbisogno energetico e di conseguenza anche la spesa in bolletta ovvero i costi di esercizio. Risulta quindi importante soffermarsi a valutare la convenienza economica per l'imprenditore di ogni singola scelta costruttiva.

Nelle tabelle delle pagine successive sono riportati per ogni ipotesi analizzata nelle schede precedenti i costi di costruzione, i costi di esercizio annuali (bolletta energetica per il fabbisogno primario) e si sono calcolati i tempi di ritorno degli investimenti, prendendo come riferimento il costo tipo di un edificio esistente caratterizzato da un involucro e sistema di riscaldamento di tipo economico, riferibile allo standard di mercato. Il valore del pay-back, calcolato sulla differenza di costo generato dagli investimenti energetici, varia da un minimo di 6,3 anni ad un massimo di 25,1.

Nei primi casi analizzati, non è corretto parlare di extracosto, poiché si tratta di adempimenti di legge che dovranno essere recepiti secondo quanto previsto dall'Atto di indirizzo regionale. Nell'area di calcolo ci si è spinti oltre a tali adempimenti, fino ad arrivare al capannone a "bolletta zero" ovvero a condizioni in cui il fabbisogno di energia primaria è assolto da fonti energetiche rinnovabili autoprodotte (a costo zero dopo l'investimento iniziale). Per rendere più "soportabile" l'investimento iniziale, è possibile accedere a specifici incentivi, come il "conto energia" per la produzione di energia elettrica da pannelli fotovoltaici. Beneficiando di queste tariffe incentivanti, infatti, l'investimento si ripaga completamente in un periodo medio di 10 anni, mentre il contributo rimane in vigore per 20 anni (e l'impianto ha una durata di vita di circa 30 anni). L'incentivo del conto energia non è però stato inserito nel bilancio economico, per procedere ad una stima di carattere prudenziale.

Inoltre, nella prima tabella si è proceduto a calcolare il solo consumo per la climatizzazione invernale così come richiesto dagli adempimenti normativi, mentre nella seconda tabella, in coerenza con le esigenze individuate per il capannone tipo - ovvero 400 mq ad uso ufficio su 1800 mq complessivi - si è proceduto a calcolare anche il consumo per la climatizzazione estiva degli uffici.

Per valutare compiutamente il costo-opportunità per una impresa di affrontare questi extra-costi iniziali, occorrerebbe conoscere la tipologia di impresa, gli altri costi fissi ad essa associati, la tipologia del bene prodotto e il mercato in cui opera. Ad esempio, se l'impresa opera in mercati poco concorrenziali o se

una sua connotazione eco-compatibile gioca un ruolo importante per la vendita del prodotto, questi maggiori costi fissi iniziali potrebbero non incidere o incidere in maniera poco significativa sulla scelta.

Il miglioramento delle prestazioni energetiche deve però essere visto secondo un'ottica più ampia: la riduzione dei costi energetici, il miglioramento delle condizioni di confort all'interno dei luoghi di lavoro, unitamente alla migliore efficienza e gestione dei servizi e delle forniture, soprattutto per le piccole e medie imprese, potrebbe costituire un vantaggio in termini di competitività per le imprese stesse.

Calcolo del rapporto costo/benefici – consumi per la climatizzazione invernale

Classe Edificio tipo	Fabbisogno energetico totale (kWh/mc anno)	Costo di costruzione (€)	Delta Costo di costruzione con Edificio di riferimento D (€)	Costo annuale Riscaldamento invernale (€)	Delta Costo Annuale Riscaldamento invernale con l'Edificio di Riferimento D (€)	Simple Pay Back rispetto all'Edificio di Riferimento D (anni)
D	32,9	850.000		31.584		
D.1	30,9	850.000		29.664		
B.1	14,9	958.000	108.000	14.304	17.280	6,3
B.2	13,8	1.073.200	223.200	13.248	18.336	12,2
B.3	11,8	1.274.800	424.800	11.328	20.256	21,0
B.4	8,6	1.361.200	511.200	8.256	23.328	21,9
B.4.1	0	1.361.200	511.200	-	31.584	16,2
B.4.2	0	1.418.800	568.800	-	31.584	18,0
A.1	6,6	1.418.800	568.800	6.336	25.248	22,5
A.2	5,8	1.476.400	626.400	5.568	26.016	24,1
A.2.1	0	1.476.400	626.400	-	31.584	19,8
A.2.2	0	1.534.000	684.000	-	31.584	21,7
A.3	4,5	1.534.000	684.000	4.320	27.264	25,1

	Edifici a norma 1°Luglio 2008
	Edificio di riferimento

Calcolo del rapporto costo/benefici – consumi per la climatizzazione sia invernale sia estiva

Classe Edificio tipo	Consumo energetico totale (kWh/mc anno)	Costo costruzione (€)	Delta Costo costruzione con Edificio di riferimento D (€)	Costo annuale Riscaldamento invernale (€)	Delta Costo Annuale Riscaldamento invernale con l'Edificio di Riferimento D (€)	Simple Pay Back rispetto all'Edificio di Riferimento D (anni)	Situazione di comfort della zona artigianale
D	32,9	900.000		33.504			effetto serra
D.1	30,9	900.000		31.584			
B.1	14,9	1.008.000	108.000	16.224	17.280	6,3	(- 6/8°C) rispetto alla temperatura esterna senza costi aggiuntivi
B.2	13,8	1.123.200	223.200	14.976	17.280	12,9	
B.3	11,8	1.324.800	424.800	12.936	18.528	22,9	
B.4	8,6	1.411.200	511.200	9.744	20.568	24,9	
B.4.1	0	1.411.200	511.200	1.488	23.760	21,5	
B.4.2	0	1.468.800	568.800	1.488	32.016	17,8	
A.1	6,6	1.468.800	568.800	7.824	32.016	17,8	
A.2	5,8	1.526.400	626.400	6.864	25.680	24,4	
A.2.1	0	1.526.400	626.400	1.296	26.640	23,5	
A.2.2	0	1.584.000	684.000	1.296	32.208	21,2	
A.6	4,5	1.584.000	684.000	5.616	32.208	21,2	

	Edifici a norma 1°Luglio 2008
	Edificio di riferimento

APPENDICE

Gli insediamenti produttivi in Provincia di Bologna

Nella fase iniziale di ricerca, al fine di definire il contesto di riferimento in cui ci si trova ad operare, è stata compiuta una ricerca sullo sviluppo degli insediamenti produttivi della nostra Provincia. In particolare, si sono analizzati alcuni insediamenti che sono stati realizzati nei decenni scorsi con la direzione della Cna. Tale ricerca non ha la pretesa di essere esaustiva di quanto realizzato all'epoca, ma vuole ricostruire i caratteri salienti ed evidenziare gli aspetti innovativi e di interesse.

Si richiamano inoltre sinteticamente gli indirizzi sulla pianificazione degli insediamenti industriali delineati dal nuovo Piano di Coordinamento Territoriale (Ptcp) della Provincia di Bologna e si riporta una breve presentazione delle Aree Produttive Ecologicamente Attrezzate (Apea).

La pianificazione territoriale degli insediamenti produttivi

Già a partire dalla fine degli anni '70, il problema di equilibrio tra l'assetto del territorio in materia di pianificazione urbanistica degli insediamenti produttivi era al centro del dibattito delle diverse forze sociali e politiche (*Equilibrio del territorio e recupero edilizio: insediamenti e presenza delle aziende artigiane*; Convegno, Palazzo degli Affari – Bologna, 17 marzo 1979).

I primi insediamenti realizzati nel comprensorio bolognese furono localizzati in maniera baricentrica rispetto al capoluogo. Lo stesso Piano Regolatore Generale (P.R.G.) agli inizi degli anni '60 prevedeva numerose zone artigianali e produttive di piccole e medie estensioni, sparse nel tessuto urbano: la C.N.A.-A.P.B. organizzò i primi suoi due insediamenti nei pressi dell'Arcoveggio e del quartiere Santa Viola, aree che attualmente sono un'estensione del centro città. Per questi insediamenti non esistevano politiche o strumenti di controllo del prezzo delle aree e pertanto negli anni successivi iniziò il decentramento delle aree produttive dal Capoluogo verso i Comuni dell'*hinterland*.



Fig. 24 - Area industriale del Bargellino, Calderara di Reno (BO) – foto satellitare tratta da Google Earth.

Bologna con la variante generale al P.R.G. del 1969 tentò di eliminare molte piccole zone artigianali in prossimità del centro storico per trasferire tali attività nella Zona Roveri, mentre numerosi Comuni dell'intorno inserirono nei propri piani numerose aree di espansione industriale, nel tentativo di attrarre imprese sul loro territorio (come ad esempio le zone artigianali del Bargellino e dell'Angelelli, rispettivamente a Calderara di Reno e Castel Maggiore).

A partire dagli anni '70 si realizzarono nuove zone artigianali nei Comuni del comprensorio, soprattutto per consentire ampliamenti e ristrutturazioni aziendali (Castenaso, San Lazzaro, Anzola, Pianoro, Sasso Marconi, Casalecchio di Reno, Ozzano, Zola Predosa), nel tentativo di limitare l'afflusso di aziende del capoluogo, dove si stava completando la zona Roveri. Sempre dell'epoca è il primo esempio di ristrutturazione di un "contenitore industriale": l'officina ex Morara nel quartiere Santa Viola.

Le aziende artigiane trovarono un sostanziale quadro di convenienza economica per la loro ristrutturazione e l'insediamento nelle nuove aree industriali che nascevano intorno a Bologna. Tale sviluppo non è stato però seguito e raccordato allo sviluppo dei servizi, della residenza, dei trasporti. Abitare nelle vicinanze delle aree industriali dell'epoca significava spesso non poter usufruire dei servizi sociali ed essere distanti dai servizi offerti dalla città. Il decentramento produttivo ha portato ad una progressiva terziarizzazione del capoluogo e alla congestione del traffico estesa ai Comuni limitrofi, ad esclusione delle aree montane, che hanno registrato un ritardo nella pianificazione di questo settore. Lo stesso arch. Pier Luigi Cervellati, assessore all'urbanistica del Comune di Bologna, già all'epoca sottolineava che *"il tempo e le esperienze compiute hanno mostrato i limiti e anche gli errori di questa impostazione. I fatti si sono dimostrati più complessi rispetto a quelli allora ipotizzati e il decentramento produttivo si è dimostrato antieconomico da un lato, antisociale dall'altro e infine si è dimostrato anche elemento negativo per organizzare in modo qualificato l'ambiente comprensoriale"*.

Progettazione urbanistica e architettonica degli insediamenti industriali

Spostando l'attenzione dal punto di vista della pianificazione territoriale a quello urbanistico e architettonico, si rileva che gli insediamenti erano realizzati senza prevedere i cosiddetti *standard urbanistici* (aree per parcheggi, verde, servizi), in linea con le norme tecniche dell'epoca, costruendo anche densità edilizie piuttosto elevate. Era data possibilità di insediare anche la funzione residenziale, a condizione che la prevalenza del volume del fabbricato fosse destinata al processo produttivo, con una scarsissima integrazione fra residenza e luoghi di lavoro. Si avvertiva però già

allora la necessità di abbandonare progressivamente la destinazione abitativa all'interno degli insediamenti industriali, prevedendo eventualmente la possibilità di realizzare aree residenziali nelle immediate vicinanze di quelle produttive. Questi insediamenti furono comunque organizzati in maniera organica e furono dotati di tutti gli impianti tecnologici e le opere di urbanizzazione. Da un punto di vista architettonico furono adottate le più svariate tipologie edilizie con i più diversi tipi di maglia strutturale, di tamponamento (pannelli prefabbricati, muratura, ecc.) e di copertura (piana, shed, doppia pendenza, volta, ecc.).

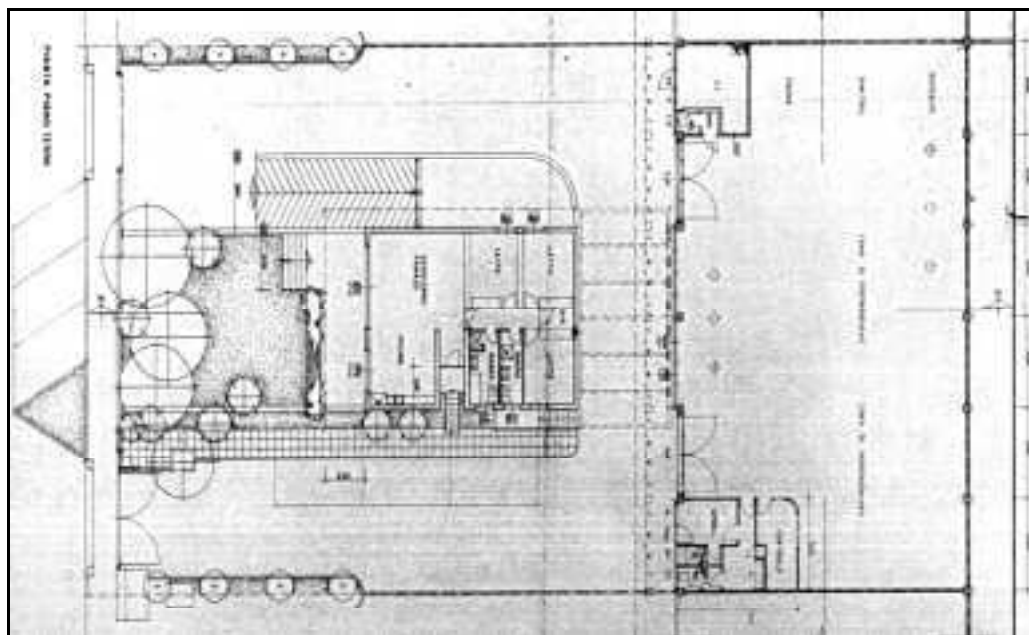


Fig. 24 - Progetto tipo di capannone e palazzina dell'insediamento per aziende artigiane Roveri Bologna, tratto dalla pubblicazione della Confederazione Nazionale dell'Artigianato Associazione provinciale di Bologna del 24 maggio 1980, in occasione dell'inaugurazione del nuovo insediamento.

Furono condotti alcuni approfondimenti relativamente alle tipologie edilizie, allo scopo di individuare un modello di capannone, ma senza grande successo, poiché tale esercizio non si conciliava – e non si concilia tuttora – con le esigenze di flessibilità del settore produttivo, estremamente eterogenee. Si ipotizzava in particolare una applicazione equilibrata della soluzione “capannoni a stecca” e “capannoni singoli”. Con la realizzazione di capannoni a stecca, semplice e doppia (quest'ultima applicata in maniera estesa nella zona Roveri), si otteneva una riduzione dei costi unitari di realizzazione dell'edificio, una riduzione dei costi di urbanizzazione, un migliore utilizzo della risorsa territorio e una riduzione dei costi di gestione e manutenzione dei capannoni. Da un punto di vista funzionale, la soluzione a stecca doppia non consente però alle aziende di avere un “retro” e neanche un doppio accesso come nel caso della stecca singola. Inoltre, la soluzione a

stecca prevede un'unica altezza dei capannoni che difficilmente si adatta a tutte le esigenze e le tipologie di aziende. La tipologia a capannone singolo (o unito a due a due) viene maggiormente incontro alle esigenze specifiche delle aziende, soprattutto di quelle di maggiori dimensioni. Può comunque adottare le soluzioni costruttive dei capannoni a schiera, ma non raggiunge i vantaggi in termini economici e urbanistici dei capannoni a schiera. La tipologia singola da un lato rende maggiormente riconoscibile l'azienda ma dall'altro determina l'estrema eterogeneità caratteristica di alcuni insediamenti industriali. A partire dagli anni '80 (Zona artigianale di Anzola dell'Emilia) però la diversificazione delle tipologie comincia ad avvenire per zone omogenee e non all'interno della stessa zona, con un migliore risultato da un punto di vista architettonico.

Sempre in riferimento alla Zona artigianale di Angola, si rilevava la ricerca delle seguenti caratteristiche costruttive:

- il massimo di illuminazione sul piano di lavoro;
- un ricambio d'aria adeguato alle attività svolte;
- la coibenza termica del coperto e dei tamponamenti (le altezze dei capannoni sono tali da consentire, col minimo consumo energetico, le migliori condizioni di lavoro);
- le maglie dimensionali delle strutture sono diversificate a seconda delle tipologie (10 x 15 e 10 x 20) e delle dimensioni delle aziende, per ottenere una riduzione dei costi di costruzione e di volta in volta una maggiore libertà nella predisposizione dei cicli di lavorazione, una maggiore aderenza alle successive suddivisioni interne, ecc. Le altezze dei pilastri sono tali da permettere l'installazione del carroponte.

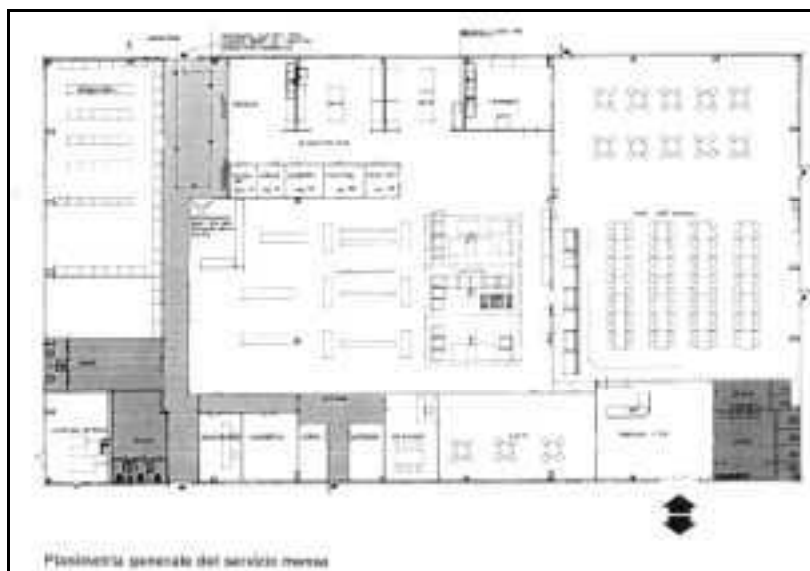
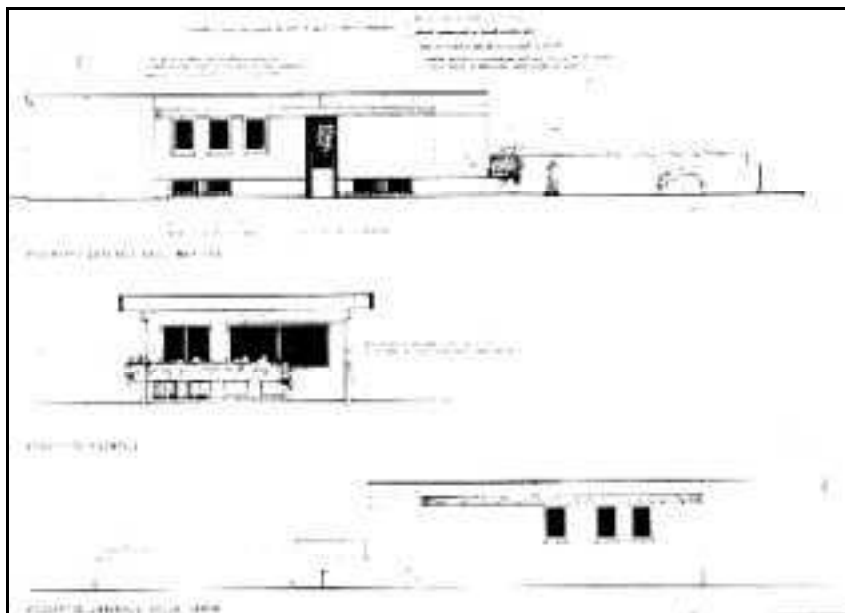


Fig. 25 - *Planimetria generale del servizio mensa* - tratta dalla pubblicazione della Confederazione Nazionale dell'Artigianato Associazione provinciale di Bologna in occasione dell'inaugurazione della zona artigianale "2 giugno" e mensa interaziendale del 17 maggio 1980.

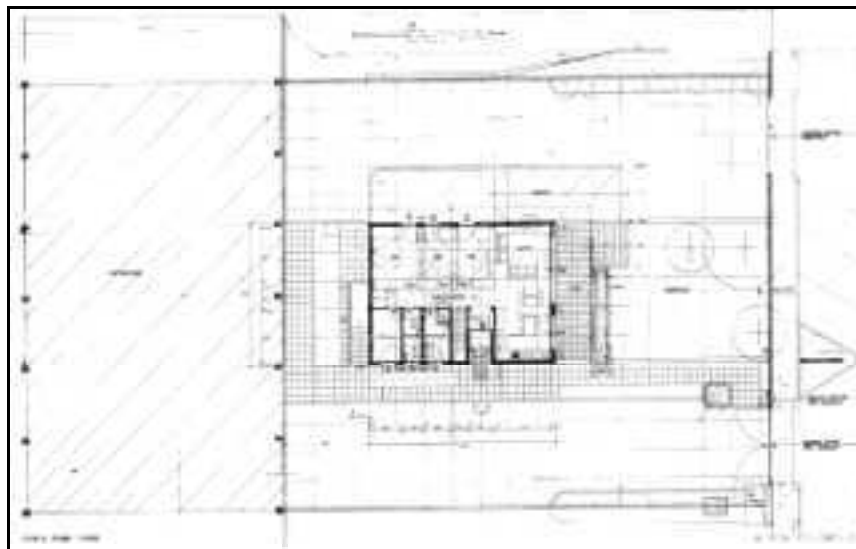
In questo stesso progetto si evidenzia la realizzazione di un servizio mensa, particolarmente innovativo per l'epoca: "un'azienda al servizio della ristorazione collettiva che opera nel pieno rispetto della tradizione gastronomica bolognese con l'ausilio di modernissime attrezzature nell'ambito di una convenzione con il Comune ... le strutture, le attrezzature e la produzione sono sotto il costante controllo igienico delle autorità sanitarie ... linea pranzi pronti; linea pranzi a servire; linea self-service"¹⁹.

Per concludere questa sintesi sugli sviluppi urbanistici degli insediamenti industriali della Provincia di Bologna, è opportuno soffermarsi sull'origine del più importante e moderno insediamento produttivo per l'epoca del Capoluogo: la Zona Roveri. L'assetto del *lay-out* urbanistico risponde alla necessità di individuare una precisa gerarchia della viabilità, meccanizzata e pedonale, e il raccordo con la rete ferroviaria. Altra caratteristica dell'insediamento è la previsione di fasce continue di verde interposte fra i diversi comparti, tali da interrompere la continuità dell'insediamento e distribuire i servizi in maniera diffusa e accessibile. All'interno delle fasce verdi è prevista la conservazione delle case coloniche esistenti, che rappresentano un'importante testimonianza del paesaggio agrario preesistente, e il loro riutilizzo per servizi. Particolare attenzione è posta all'arredo urbano, sia come elemento unitario che di qualificazione dell'intero insediamento: sono definiti i vari tipi di pavimentazioni, le recinzioni, il sistema della segnaletica generale e dei singoli stabilimenti, le cabine elettriche e l'illuminazione pubblica.



¹⁹ dalla pubblicazione della Confederazione Nazionale dell'Artigianato Associazione provinciale di Bologna in occasione dell'inaugurazione della zona artigianale "2 giugno" e mensa interaziendale del 17 maggio 1980.

Fig. 26 e 27 - *Progetto tipo di palazzina dell'insediamento per aziende artigiane "Roveri" Bologna* - tratto dalla pubblicazione della Confederazione Nazionale dell'Artigianato Associazione provinciale di Bologna del 24 maggio 1980, in occasione dell'inaugurazione del nuovo insediamento.



Da questa analisi emergono alcuni importanti progressi compiuti in questi decenni nel settore dell'edilizia produttiva, tuttavia alcune questioni restano tuttora non risolte del tutto. Le recenti normative sulle prestazioni energetiche degli edifici determineranno sicuramente a breve cambiamenti considerevoli nella progettazione e costruzione dei capannoni (per un approfondimento si rimanda al paragrafo 2.1 del presente documento).

Le politiche del nuovo Ptcp per la sostenibilità degli insediamenti produttivi

Il nuovo Piano territoriale di Coordinamento Provinciale (Ptcp), approvato nel marzo 2004, inserisce organicamente il tema della sostenibilità degli insediamenti industriali nella pianificazione dell'assetto del territorio, in coerenza da quanto previsto della legge regionale 20/2000.

L'insediamento e lo sviluppo delle aree produttive continuano a rappresentare un'importante matrice dell'assetto territoriale della conurbazione bolognese e, conseguentemente, una delle fonti delle principali criticità funzionali ed ambientali che la caratterizzano. Si tratta di un'offerta molto ampia, ma dispersa e frammentata in un numero eccessivo di localizzazioni (sono oltre 200 gli insediamenti artigianali/industriali superiori ai 2-4 ha, disseminati prevalentemente nell'area di pianura) e spesso non qualificata sotto il profilo dell'accessibilità, della dotazione di infrastrutture in generale, e ambientale (qualità dell'aria e quantità, qualità e pericolosità dell'acqua).

Il processo di dispersione insediativa e la forte congestione che caratterizzano l'area metropolitana bolognese, hanno imposto una scelta preliminare nella

riorganizzazione e previsione delle aree specializzate per la produzione. Il Ptcp ha escluso la possibilità di prevedere nuove aree produttive che intacchino ulteriori parti del territorio agricolo non compromesso, e ha razionalizzato le possibilità di trasformazione degli ambiti esistenti. In particolare le possibilità di espansione sono concentrate nei 14 ambiti produttivi di rilievo sovracomunale che presentano minori fragilità ambientali e sono meglio serviti dal sistema viabilistico di livello regionale, in particolare dal previsto Passante Autostradale Nord. Per i restanti ambiti produttivi sovracomunali si prefigura un percorso di riqualificazione interno e nel rapporto con il territorio circostante, in modo da assicurarne la sostenibilità a livello locale. Gli interventi inoltre devono essere definiti attraverso la sottoscrizione di Accordi Territoriali da parte di tutte le Amministrazioni locali appartenenti all'Associazione di Comuni²⁰ di riferimento, e la costituzione di *fondi di compensazione*²¹. In particolare si indica la qualificazione degli ambiti industriali quali Aree Produttive Ecologicamente Attrezzate (Apea)²².

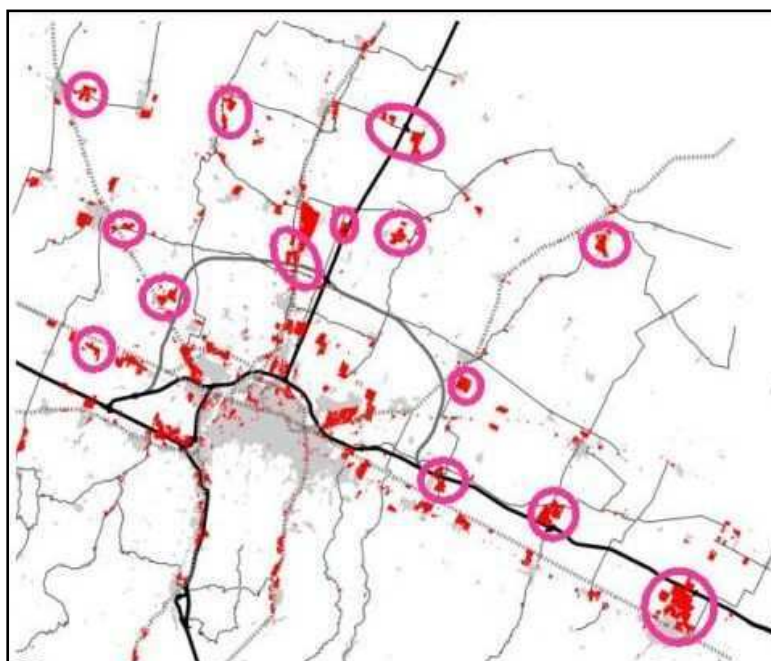


Fig. 26 - gli ambiti produttivi di rilievo sovracomunale individuati dal Ptcp.

²⁰ Escluso il capoluogo, i 59 Comuni della Provincia di Bologna sono aggregati in associazioni, che hanno sviluppato politiche comuni in diverse materie.

²¹ Il Ptcp persegue la condivisione a livello di area vasta dei costi e dei benefici economici che derivano dall'assetto territoriale previsto, a tal scopo si prevede la costituzione di fondi perequativi in cui più Amministrazioni mettono in comune e gestiscono insieme le risorse locali provenienti dallo sviluppo produttivo.

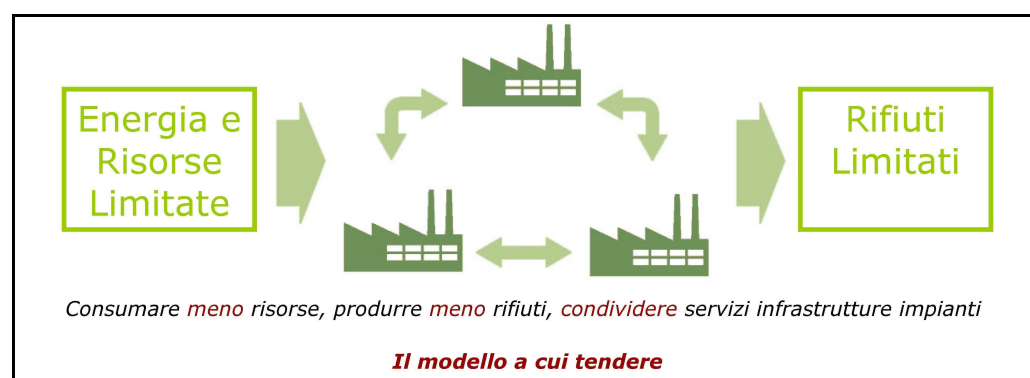
²² Il comma 8 dell'art. 9.1 del Ptcp stabilisce che per ciascuno degli ambiti produttivi di rilievo sovracomunale con caratterizzazione prevalentemente produttiva manifatturiera deve essere previsto il raggiungimento delle condizioni e delle prestazioni di aree ecologicamente attrezzate. Le medesime condizioni e prestazioni vanno perseguite, in termini di indirizzo, anche per gli ambiti produttivi di rilievo sovracomunale con caratterizzazione mista.

Le Aree Produttive Ecologicamente Attrezzate (Apea): uno strumento di valorizzazione ecologico - ambientale del territorio

Le imprese generano necessariamente impatti sull'ambiente: consumano energia, acqua, materie prime, modificano il paesaggio, generano traffico, rifiuti, rumore, emissioni in acqua e in atmosfera. Gestire al meglio questi impatti è una necessità ecologica, economica e sociale. La qualifica di Apea è uno strumento di valorizzazione ecologico-ambientale del territorio e al tempo stesso un'opzione strategica per la crescita di competitività del sistema produttivo. Le Apea, rappresentano per le imprese un'opportunità d'insediamento di eccellenza in quanto offrono economie di scala, infrastrutture e servizi comuni, una gestione ambientale condivisa e partecipata, una riduzione dei costi per l'approvvigionamento idrico ed energetico.

Gli obiettivi strategici che la Provincia di Bologna ha posto alla base della realizzazione di Aree Produttive Ecologicamente Attrezzate sono gli stessi individuati dall'Unep²³:

- la garanzia della salubrità per gli operatori e per gli utenti,
- la riduzione delle emissioni fisiche dei processi,
- l'incremento dell'efficienza attraverso l'innovazione tecnologica.



In estrema sintesi è possibile affermare che il fine delle Apea è la chiusura dei cicli produttivi nelle diverse componenti ambientali, ovvero l'utilizzo di un limitato input di risorse e materiali vergini, e la produzione di un limitato quantitativo di rifiuti che abbandona il sistema e, soprattutto, uno schema di comportamento collaborativo tra le varie componenti dell'ecosistema industriale. Si tratta evidentemente di un obiettivo a cui tendere, con la consapevolezza che non può essere raggiunto in modo completo perché ogni attività genera inevitabilmente impiego di risorse e dispersione. Significa, ad esempio, promuovere il recupero e riutilizzo dell'energia termica generata dai

²³ L'Unep (Programma per l'Ambiente delle Nazioni Unite) ha realizzato e pubblicato nel 1998 un manuale sulla gestione ambientale delle aree industriali ("The Environmental Management of Industrial Estates"). La versione italiana è a cura di Enronment Park di Torino (dossier 4).

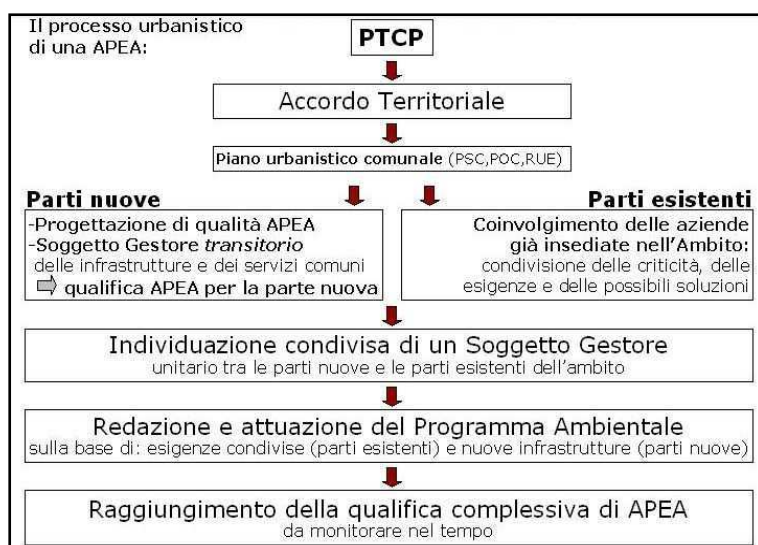
processi produttivi, favorire il recupero di materiali che potrebbero essere opportunamente riutilizzati in altri processi produttivi a livello aziendale o d'area (filiera di output), o anche utilizzare le migliori tecnologie disponibili, facilitare il trasferimento tecnologico e l'impiego dei risultati della ricerca avanzata, allo scopo di raggiungere elevate *performance* ambientali. L'aggettivo *ecologicamente attrezzato* deve quindi sostanziarsi in una gestione ambientale delle aree produttive integrata, sistematica e preventiva.

Attraverso la qualificazione Apea degli insediamenti industriali, si vogliono raggiungere obiettivi che mirano a minimizzare gli impatti sull'ambiente naturale, ma anche sugli operatori e i residenti, attraverso la garanzia della salubrità e la sicurezza dei luoghi di lavoro, e il rispetto di standard di benessere individuale e collettivo (per esempio una buona illuminazione naturale, buone condizioni di aerazione, controllo dei livelli di rumore presenti negli ambienti, ecc.). Inoltre le Apea si qualificano quali ambiti in cui sono presenti servizi di qualità per le imprese e gli addetti (quali, ad esempio, banca, posta, esercizi commerciali, servizio ristorazione, asilo nido, *mobility management* di Apea, servizi per la formazione, ecc.).

Uno dei primi risultati conseguiti nell'ambito del progetto condotto dalla Provincia di Bologna, è rappresentato dalla redazione di linee guida per la progettazione e gestione delle Apea, le quali forniscono una *check-list* funzionale ad orientare le decisioni in merito alla realizzazione di un insediamento industriale definibile *ecologicamente attrezzato*. Le linee guida sono utilizzabili nella progettazione dell'insediamento, dell'organismo edilizio, fino alla fase gestionale. Tuttavia è stata compiuto uno sforzo nel cercare di porre attenzione principalmente sull'intero ambito industriale e le sue relazioni con il contesto territoriale e ambientale, allo scopo di valorizzare il risultato complessivo d'area, al di là di

quello aziendale.

La qualifica Apea, infatti, persegue il raggiungimento di benefici collettivi superiori a quelli che si avrebbero dalla somma dei benefici individuali che ciascuna impresa otterrebbe dall'ottimizzazione delle proprie prestazioni.



Buone pratiche nel settore degli edifici ad uso produttivo

Il settore dell'edilizia produttiva, in termini di metri cubi realizzati, è di poco inferiore alle costruzioni residenziali. Nelle abitazioni si sta diffondendo materiali e tecniche di bio-architettura o bio-climatica, sia a fronte delle richieste dei fruitori sia grazie alle proposte dei produttori, migliorando le prestazioni energetiche e riducendo l'impatto ambientale. Il settore produttivo, invece, sta reagendo in maniera più lenta.

Sono stati analizzati alcuni progetti di edifici ad uso produttivo, scelti nel panorama europeo ed nazionale. La selezione ha privilegiato esempi replicabili, almeno in parte, nel nostro contesto. Non sono stati presi in considerazione invece progetti riconducibili a concorsi internazionali di architettura, ovvero casi in cui l'immagine dell'edificio è predominante rispetto alla sua funzionalità, e soprattutto dove i costi risultano al di fuori della portata delle pmi.

Gli esempi scelti sono due stabilimenti inglesi - la nuova sede di Ove Arup e la nuova sede del National Trust a Swindon, uno austriaco - stabilimento Drexel & Weiss - e due italiani - stabilimento Omes a Collegno e la nuova sede Rotho Blaas a Cortaccia. Questi si caratterizzano per un rapporto costi-benefici interessante, e presentano soluzioni tipologiche e impiantistiche che potrebbero fornire indicazioni interessanti per la progettazione di stabilimenti nel nostro territorio. I casi inglesi in particolare presentano manufatti caratterizzati da una flessibilità distributiva tale da renderli idonei alla locazione. L'esempio torinese, invece, testimonia come sia possibile raggiungere un'elevata qualità formale, funzionale e prestazionale senza determinare particolari extra costi, rispetto ad un progetto di edilizia produttiva tradizionale.

HEELIS, la nuova sede del National Trust

Committente: National Trust²⁴ / Kier Properties
 Progettisti: *Feilden Clegg Bradley Architects LLP*
 Localizzazione: *Swindon (Inghilterra)*
 Progetto: 2002 - Realizzazione: 2005
 Sito: *lotto irregolare di completamento*
 Superficie utile: 7.124 mq
 Costo: £14.500.000

Fonte: *Arketipo*, n. 5 luglio-agosto 2006
L'architettura naturale 28/2005
<http://www.feildenclegg.com/framepage.asp>

Impatto ambientale	Produce soltanto 15 kg di CO ₂ per ogni m ² all'anno, contro i 169 di un edificio tipico condizionato.
Soluzione della copertura	Gli shed sono orientati correttamente lungo l'asse eliocentrico indipendentemente dall'orientamento dell'involucro, così da garantire ottime prestazioni in termini di illuminazione naturale, e un supporto ideale per i pannelli fotovoltaici (è installato un campo di 1.300 mq in grado di coprire il 15% del fabbisogno elettrico)
Sistemi per la ventilazione naturale	Utilizzo dei camini di vento – combinazione e integrazione tra sistemi naturali e sistemi meccanici.

Si tratta di un edificio di nuova realizzazione in un lotto irregolare di completamento, all'interno di un insediamento di carattere industriale del XIX sec. in via di lenta riqualificazione. Il progetto del nuovo edificio uso uffici sposa il linguaggio formale degli edifici che caratterizzano l'area in cui si inserisce.

Non essendo possibile orientare l'edificio secondo l'asse termico preferenziale, si è risolto la copertura orientando gli shed indipendentemente dall'involucro. L'orientamento est – ovest degli shed consente di utilizzare la copertura sia per produrre energia elettrica mediante pannelli fotovoltaici sia di illuminare gli spazi interni da nord, evitando il surriscaldamento estivo e garantendo una luce ottimale alle funzioni lavorative (evitando fenomeni di abbagliamento, rifrazione, ecc.). Il progettista ha definito la copertura come “il moderatore climatico” dell'edificio (occorre però tenere in debita considerazione la differenza del contesto climatico tra l'Inghilterra e l'Italia, che determina un apporto solare passivo in termini di riscaldamento molto inferiore ma una maggiore esigenza in termini di ventilazione).

²⁴ corrispondente alla nostra Soprintendenza.

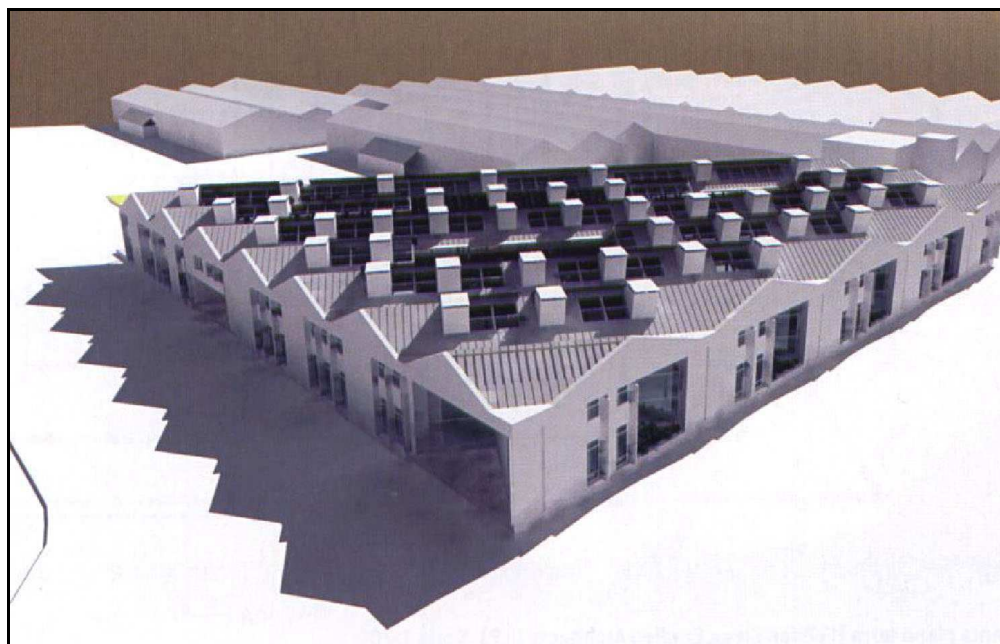


Fig. 28 - la nuova sede del National Trust a Swindon (Inghilterra) su progetto di Feilden Clegg Bradley Architects LLP, rivista *Arketipo*, n. 5 di luglio-agosto 2006 – vista generale del plastico e vista della copertura a shed.

L'edificio ha ricevuto la qualifica di “*excellent*” secondo il sistema Breeam (*Building Research Establishment Environmental Assessment Method*²⁵) di valutazione della sostenibilità complessiva, e produce soltanto 15 kg di CO₂ per ogni m² all'anno, contro i 169 di un edificio tipico condizionato.

Pur consapevoli che questa tipologia non sia esattamente rispondente alle esigenze delle imprese del nostro sistema produttivo locale, questo edificio verifica la possibilità di ottenere ottime *performance* energetiche con costi paragonabili a quelli di un edificio commerciale di tipo standard. Attraverso un approccio progettuale di tipo interdisciplinare è possibile rinunciare “all'edificio sigillato e climatizzato meccanicamente”: l'orientamento, gli apporti solari sia per il calore sia per l'illuminazione naturale e il vento devono interagire con l'edificio, attraverso il loro controllo e il loro impiego razionale.

Il controllo dell'illuminazione naturale

Uno degli obiettivi del progetto (su richiesta della committenza) era la riduzione dei consumi energetici per il funzionamento dell'edificio, pur a fronte di condizioni confortevoli per gli ambienti di lavoro (temperatura e illuminazione naturale).

²⁵ Per approfondimenti vedi www.breeam.org



Fig. 29 - la nuova sede del National Trust a Swindon (Inghilterra) su progetto di Feilden Clegg Bradley Architects LLP - rivista *Arketipo* n. 5 di luglio-agosto 2006 – il funzionamento della ventilazione, i lucernari rivolti a nord (n.8), l'effetto di espulsione dell'aria viziata (n. 9), le schermature tramite i pannelli fotovoltaici, gli sportelli opachi apribili per la ventilazione.

L'esperienza dei progettisti partiva dal concetto che elevati carichi termici e un buon isolamento sono quasi sempre sufficienti a mantenere temperature confortevoli; è nel periodo estivo che gli edifici tipicamente ad uso produttivo e commerciali non si comportano in maniera efficiente dal punto di vista energetico. Le ampie superfici vetrate garantiscono un guadagno solare passivo ma conducono a condizioni di surriscaldamento anche nelle stagioni intermedie. Anche i consumi di energia elettrica per l'illuminazione artificiale non sono trascurabili, pertanto il progetto ha dedicato particolare attenzione anche all'apporto di luce naturale. Per coniugare tutte queste esigenze, alcune volte antagoniste, il colmo delle falde è stato orientato lungo l'asse est-ovest: la copertura dell'edificio non solo regola gli scambi di energia (luce e calore) e di massa (ventilazione), ma diventa anche una superficie ottimale per la produzione di elettricità, che grazie a un campo fotovoltaico di 1.300 m² è in grado di coprire il 15% del fabbisogno elettrico dell'edificio (in termini economici il risparmio cresce con l'aumento del prezzo dell'energia fossile²⁶).

Flussi d'aria con effetto camino

Nel settore industriale, molto più che in quello residenziale, i consumi energetici per la ventilazione sono un fattore economico rilevante (nel nord Europa, sia a causa di differenti norme in materia sanitaria sia a causa delle differenti condizioni meteorologiche, l'energia impiegata per la ventilazione è uno dei principali fattori di consumo di energia primaria).

²⁶ La National Trust ha beneficiato di un finanziamento di £300.000 dal Dipartimento per il Commercio e l'Industria, nell'ambito di un programma dimostrativo sul fotovoltaico.

Fig. 30 - la nuova sede del National Trust a Swindon – Inghilterra - su progetto di Feilden Clegg Bradley Architects LLP, rivista Arketipo n. 5 di luglio-agosto 2006 – il funzionamento dei camini di vento.

La ventilazione è necessaria a garantire l'adeguato confort climatico e i requisiti igienici (ricambio d'aria) e può essere ottenuta tramite sistemi meccanici (ad esempio con un sistema di ventilazione meccanica controllata con recupero di calore "termodinamico") o tramite sistemi naturali (effetto camino) oppure con la combinazione/integrazione dei due sistemi, come è avvenuto nel progetto che è stato scelto a titolo illustrativo. Durante buona parte dell'anno, il confort climatico interno è garantito dallo scambio di aria naturale attraverso la differenza di pressione tra l'aria all'interno e all'esterno dell'edificio (effetto camino). L'aria viziata viene espulsa



attraverso sportelli (in lamiera coibentata) presenti in copertura, racchiusi da elementi di protezione dalle piogge, e che assicurano la corretta espulsione dell'aria indipendentemente dalla direzione del vento. Sono stati installati anche appositi ventilatori, per garantire un'aerazione efficace anche nelle giornate senza vento.

L'apertura delle finestre è regolata da un sistema di telegestione dell'edificio sulla base della temperatura interna e di quella esterna, garantendo comunque la possibilità di apertura manuale agli utenti. Durante la notte, il sistema di gestione provvede ad aprire le finestre in modo da raffrescare le solette e l'intradosso della copertura. In questo modo, le masse di accumulo sono in grado, durante la fase diurna, di assorbire carichi interni pur restando più fresche dell'aria per buona parte della giornata e contribuire così all'abbassamento della temperatura operante. I modelli di simulazione utilizzati hanno indicato che, con queste strategie combinate, è possibile raggiungere per via esclusivamente passiva (ad eccezione del ricorso saltuario ai ventilatori) gli obiettivi di confort estivo (secondo le indicazioni inglesi, ovvero una temperatura interna superiore a 25°C per non più del 5% e superiore a 28°C per non più dell'1% delle ore lavorative). Durante la stagione invernale, la ventilazione è di tipo meccanico: l'aria esterna viene prelevata dalla copertura, preriscaldata grazie a uno scambiatore che estrae calore dall'aria viziata (efficienza del 70%) e immessa negli ambienti attraverso l'intercapedine a pavimento, dove può essere ulteriormente riscaldata grazie a radiatori perimetrali ad incasso.

La nuova sede di Ove Arup

Committente: *Prologis (British Land per la fase 2)*

Progettisti: *Arup Associates*

Localizzazione: *Solihull, Birmingham (Inghilterra)*

Progetto 2001 - Realizzazione: *in 13 mesi*

Sito: *all'interno di un nuovo business park confinante con un'area protetta*

Superficie lorda: *6.056 mq*

Costo totale: *£ 7.200.000 (incluso allestimento interno)*

Fonte: *Arketipo, n. 2 aprile 2006*

<http://www.edilio.it/news/edilionews.asp?tab=Notizie&cod=12095>

Flessibilità funzionale	La flessibilità distributiva è tale da rendere l'edificio idoneo alla locazione. La struttura può essere completamente smontata e trasferita per riutilizzare le componenti principali.
Rapporto costi benefici	Il risultato formale è eccellente a fronte di un aumento dei costi contenuto.
Sistema automatico di gestione dell'edificio	Un sistema automatico di gestione dell'edificio (Bms) controlla sia il ricambio dell'aria sia le condizioni di illuminamento interno, mediando tra apporti naturali e artificiali.
Prestazioni energetiche	Consumo energetico per il riscaldamento e la produzione di acqua calda sanitaria circa 76 kWh/mq annui.

L'edificio è stato realizzato su terreno non di proprietà del committente ed è stato ceduto in affitto sulla base di un leasing ventennale. Il progetto è stato concordato con il promotore immobiliare, garantendo la flessibilità necessaria per affittare l'edificio ad un differente locatario.

Particolare attenzione è stata posta alla risoluzione delle problematiche energetiche, alle esigenze di confort, alla scelta dei materiali e alla contestualizzazione del manufatto, che è situato a ridosso di un'area naturale protetta. È stato privilegiato l'apporto di luce naturale e la ventilazione spontanea, consentendo di minimizzare la taglia degli impianti (non si è reso necessario un vano tecnico per la centrale termica e sono state pertanto limitate le operazioni di scavo e sbancamento).

Ventilazione naturale e sistema automatico di gestione

Il complesso è stato progettato per mantenere le condizioni di comfort termoigrometrico per via il più possibile naturale, limitando l'ausilio degli impianti meccanici. Il sistema edificio-impianti è stato ideato integrando tutti gli aspetti, a partire dal *lay-out* interno fino alla scelta dei materiali per il rivestimento esterno.



Fig. 31 - la nuova sede di Ove Arup, Solihull, Birmingham (Inghilterra), su progetto di Arup Associates (2001) - rivista Arketipo, n. 2 di aprile 2006 – veduta d'insieme.

La ventilazione naturale, è stata ottenuta attraverso la combinazione della ventilazione trasversale con l'effetto camino dovuto al movimento dell'aria calda. In condizioni normali di esercizio, il sistema automatico di gestione dell'edificio controlla il ricambio dell'aria e le condizioni di illuminamento interno. Ogni padiglione è suddiviso in una serie di zone dotate di termostati indipendenti. Se viene rilevata una temperatura troppo alta in una zona, il sistema automatico comanda l'apertura delle bocchette di ventilazione sopra le finestre, attivando in questo modo un flusso di ventilazione trasversale. Qualora questo non fosse sufficiente, il sistema di gestione provvede all'apertura dei lucernari posti in copertura, innescando un effetto camino che, grazie alle aperture nelle solette e lungo il perimetro degli edifici, aumenta la portata d'aria esterna sui due piani dell'edificio. In parallelo al sistema automatico, gli utenti hanno la possibilità di regolare l'immissione di aria naturale tramite l'apertura manuale delle finestre. L'intero sistema della copertura e delle aperture è stato messo a punto tramite simulazioni fluidodinamiche del movimento dell'aria (secondo modelli di Arup Associates).

In inverno, il clima interno è garantito grazie all'isolamento termico dell'involucro, ai carichi di calore interni e ad un sistema di radiatori perimetrali alimentati da acqua calda a bassa pressione e controllati da valvole termostatiche. In primavera e autunno, l'aria esterna viene immessa da bocchette poste in facciata, oppure preriscaldata tramite piccoli radiatori (per evitare correnti di aria fredda nei locali). Durante i primi anni di funzionamento e gestione dell'edificio, i consumi energetici per il riscaldamento e la produzione di acqua calda sanitaria si sono aggirati attorno ai 76 kWh/mq annui (che colloca il progetto nelle classe delle *good practise*). Durante il periodo estivo, il surriscaldamento degli ambienti è evitato grazie agli elementi del solaio in calcestruzzo che fungono da *serbatoio inerziale*: durante il giorno

assorbendo parte del calore in eccesso generato all'interno dell'edificio, durante la notte raffrescandosi grazie all'apertura delle bocchette di ventilazione comandata dal sistema automatico di gestione. Inoltre i carichi solari indesiderati sono tenuti sotto controllo da un sistema di schermature articolato a seconda dell'esposizione.

L'illuminazione

L'obiettivo progettuale per l'illuminazione degli ambienti di lavoro (ovviamente correlato anche agli aspetti energetici e al *lay-out*) era di raggiungere un fattore di luce diurna medio pari al 5%, con almeno la metà della superficie calpestabile compresa fra il 3 e il 7%. Ciò è stato possibile attraverso la realizzazione dei lucernari centrali e delle aperture nelle solette del primo piano, garantendo allo stesso tempo un elevato comfort e una diminuzione dei consumi di energia elettrica per l'illuminazione artificiale. La luce naturale è controllata dal sistema automatico di gestione che è in grado di mettere in relazione i dati sulla posizione istantanea del sole, sulla radiazione solare rilevata e sul livello di illuminamento esterno per decidere la posizione dei sistemi di schermatura (anche se gli utenti possono modificare a loro piacimento il livello di illuminamento). Il sistema di illuminazione artificiale è stato progettato in maniera complementare rispetto all'illuminazione naturale, stabilendo prima la quantità di luce complessiva da far arrivare sul piano di lavoro (350 lux): i corpi illuminanti sono collegati a un sistema che rileva i livelli di illuminamento interni ed esterni e a un sensore di presenza negli ambienti.

La riciclabilità della struttura

Uno degli obiettivi della progettazione è stato quello di lasciare la possibilità di smontare l'edificio al termine della sua vita utile, per poterne riutilizzare i principali componenti. Il risultato strutturale è una sequenza lineare di telai trasversali che supportano elementi prefabbricati di calcestruzzo disposti longitudinalmente. I componenti principali restano in vista per fornire la massa inerziale richiesta dalla progettazione energetica. Le connessioni fra gli elementi di acciaio sono bullonate,

inoltre gli elementi prefabbricati del solaio non hanno ricevuto alcun getto collaborante superiore, pertanto queste strategie, oltre a rendere più rapide le attività di cantiere, consentiranno un'eventuale de-costruzione del manufatto.

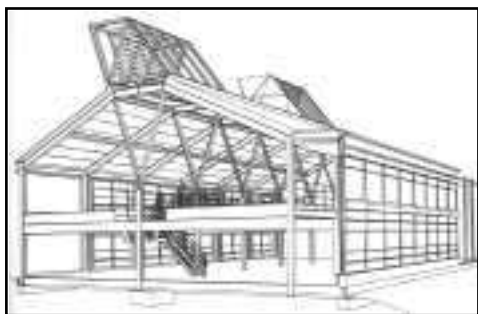


Fig. 32 Spaccato prospettico con il sistema strutturale in evidenza - da

Arketipo n. 2 di aprile 2006.

Stabilimento Drexel & Weiss

Committente: *Drexel & Weiss*

Progettista: *Gerhard Zweier*

Localizzazione: *Wolfurt (Austria)*

Progetto: *ottobre 2004*

Realizzazione: *marzo 2005 – luglio 2005*

Sito: *vecchio edificio da ristrutturare nel parco industriale di Wolfurt*

Superficie: *3.200 mq*

Costo complessivo: *1,3 mln di euro al netto delle imposte, comprensivi di arredamento, sistemazioni esterne e onorari*

Costo unitario: *406 euro/mq*

Fonte: *l'Architettura naturale n.35 giugno 2007*

Standard “casa passiva”	dimostra che lo standard “casa passiva” è un obiettivo tecnicamente ed economicamente fattibile anche nel recupero e ristrutturazione di edifici industriali
Involucro	I materiali sono riciclati o comunque riciclabili, è minima la presenza di sostanze potenzialmente tossiche.
Impianti	Per ogni locale, con esigenze e caratteristiche ed esigenze specifiche (in termini di temperature e ricambio d'aria) sono stati adottati sistemi <i>ad hoc</i> ; le spese di gestione annuale sono di circa 1.000 euro). È stato realizzato un pozzo canadese costituito da tubazioni collocate non nel suolo ma in un corridoio di servizio esistente; il limitato apporto di energia necessario è fornito da pompe di calore.

La nuova sede dell'azienda Drexel & Weiss dimostra che lo standard “casa passiva” è un obiettivo tecnicamente ed economicamente fattibile anche nel recupero e ristrutturazione di edifici industriali.

La Drexel & Weiss produce apparecchiature compatte ad elevate prestazioni per la ventilazione a doppio flusso e il riscaldamento, ovvero la produzione di acqua calda, per edifici certificati “passivhaus”. Il successo internazionale dell'azienda rendeva necessario il trasferimento in locali più ampi e la scelta cadde su vecchio edificio da ristrutturare, un tempo occupato da un'impresa tessile, all'interno del parco industriale di Wolfurt. Questa scelta presentava numerosi vantaggi: il recupero di un edificio dimesso da molti anni e la possibilità per la maggioranza del personale di raggiungere il posto di lavoro in bicicletta.

La collaborazione tra committenti e progettista ha portato a sviluppare in soli 10 mesi l'intero processo.

Fig. 32 Lo stabilimento Drexel & Weiss a Wolfurt (Austria), prima e dopo la ristrutturazione su progetto di Gerhard Zweier.



L'involucro

I materiali da costruzione e di finitura rispondono ai requisiti previsti dal programma austriaco Klimaaktivhaus²⁷: sono riciclati o comunque riciclabili, oltre a minimizzare la presenza di sostanze potenzialmente tossiche. Per i tamponamenti sono stati utilizzati elementi prefabbricati (pannelli in fibrocemento) con ossatura in legno e 26 cm di lana di roccia interposti tra i montanti, completati da altri 4 cm sulla faccia interna entro i vuoti predisposti per i cablaggi e le condutture. L'isolamento della copertura è stato portato da 14 a 34 cm, protetto da una guaina impermeabilizzante multistrato in pvc. Il problema principale nella realizzazione di un involucro rispondente alla passivhaus è stato posto dalla necessità di isolamento dei 1.800 mq del solaio a terra ($U=2,3 \text{ W/m}^2\text{K}$). Effettuando una simulazione dinamica si è individuata una soluzione economica e accettabile da un punto di vista delle prestazioni termiche: un isolamento con delle lastre in polistirene estruso XPS (8+12 cm) per un'altezza di 80 cm.

Illuminazione naturale

Al fine di migliorare la qualità dell'illuminazione naturale degli spazi interni, sulla facciata sud-est sono state realizzate delle grandi aperture (struttura in abete rosso, protetta da un rivestimento in alluminio, tripla vetratura). Sono inoltre state realizzate schermature esterne per limitare abbagliamento e surriscaldamento.

²⁷ www.klimaaktivhaus.at

Impianti

I lavori di ristrutturazione hanno permesso di ridurre i consumi energetici del 95%.

La temperatura dell'aria in ingresso è temperata dal passaggio in un impianto a pozzo canadese costituito da tubazioni collocate non nel suolo ma in un corridoio di servizio esistente sotto la hall di produzione. In estate, l'aria esterna a +32°C, dopo il passaggio nelle tubazioni arriva agli uffici ad una temperatura di 21°C. In inverno l'aria fresca proveniente dall'esterno (-15°C) viene pre-riscaldata dal passaggio nei tubi fino ad essere immessa negli ambienti a +6°C con un guadagno di 21°C ottenuto naturalmente, senza impiego di energia.

Fig. 33 *stabilimento Drexel & Weiss a Wolfurt (Austria) – le tubazioni dell'impianto a pozzo a canadese.*



Il limitato apporto di energia necessario è fornito da una pompa di calore alimentata dalla falda freatica e dalle piccole pompe dei singoli apparecchi. Per ogni locale, con esigenze e caratteristiche ed esigenze specifiche (in termini di temperature e ricambio d'aria) sono stati adottati sistemi ad hoc. Ad esempio il locale di stoccaggio, che non necessita di ventilazione meccanica, è riscaldato con dei radiatori; i servizi e gli uffici invece sono riscaldati dall'aria in ingresso, grazie ad un impianto di ventilazione a doppio flusso, combinato ad una piccola pompa di calore e a una riserva di acqua calda; il foyer e la sala per i seminari, utilizzati raramente, sono equipaggiati con un impianto normalmente utilizzato per la ventilazione delle aule scolastiche.

Tutti i sistemi per la ventilazione sono dotati di uno scambiatore di calore con un rendimento pari a circa l'85% con cui viene recuperato il calore dell'aria viziata prima della sua estrazione.

I consumi di acqua ed energia sono gestiti da un computer per la loro ottimizzazione. Le spese legate al consumo di energia per il riscaldamento, la ventilazione, l'acqua calda sanitaria e l'elettricità necessaria al funzionamento delle pompe di calore si aggirano attorno ai 1.000 euro all'anno; si evita inoltre così l'emissione di circa 165 t di CO₂ ogni anno.

Stabilimento Omes

Committente: *Omes srl*

Progettisti: *Testa & Veglia Architetti*

Localizzazione: *Collegno (Torino)*

Progetto 2001 – Realizzazione 2004

Sito: *2.220mq all'interno di un Piano per Insediamenti Produttivi di recente realizzazione*

Superficie: *1.860 mq*

Costo complessivo: *€ 935.000*

Costo unitario: *€ 503,00 per mq*

Fonte: <http://www.jtav.com/>

Qualità architettoniche	Struttura in acciaio completamente riciclabile, area comune di relax all'aperto, visuale sulle colline circostanti e l'arco alpino.
Rapporto costi benefici	Nessun extracosto rispetto ai parametri di edilizia produttiva tradizionale. Costi di gestione ridotti di circa il 50% rispetto al precedente stabilimento.
Sistemi per il risparmio energetico	Serramenti a taglio termico, isolante sotto al pavimento per ottimizzare l'efficienza dell'impianto di riscaldamento a termostrisce radianti. Pareti perimetrali in blocchi di calcestruzzo, con un rivestimento esterno in pannelli sandwich di lamiera ondulata e isolante che consente la ventilazione della parete.

Omes è un'azienda che produce mole e ghiera per dischi abrasivi. Quando l'azienda si è rivolta a Testa & Veglia per la costruzione di un nuovo stabilimento, aveva già fatto redigere in precedenza un progetto preliminare. Si trattava di un capannone prefabbricato in calcestruzzo del tipo tradizionalmente in uso in Italia: un parallelepipedo con soffitti alti 8 m nella zona di produzione e la zona uffici su due piani, disposta sul lato corto fronte strada. Con lo stesso budget, lo studio di progettazione è stato in grado di realizzare un manufatto superiore per comfort, estetica e *performance* energetiche.

Struttura in acciaio leggera e riciclabile

In controtendenza con le abitudini locali – creando nelle fasi iniziali una certa diffidenza da parte della committenza – è stata proposta una struttura in acciaio: leggera e riciclabile. In Italia la percentuale di edifici industriali a struttura metallica è inferiore al 20%, un dato stridente con l'orientamento generale degli altri paesi europei, Gran Bretagna in testa (95%). Il sistema costruttivo adottato è nella linea dei kit prefabbricati leggeri propri della

recente tradizione britannica che ha origine nei lavori giovanili di Team 4, Grimshaw e Hopkins, e, ancor prima, nella tradizione delle Case Study Houses californiane.

L'edificio finito, con le facciate in lamiera ondulata color argento e la struttura rossa, esprime inoltre l'immagine dell'azienda, che produce componenti in alluminio ed ha nel rosso il colore del logo. Si è data inoltre in generale preferenza a materiali ecologicamente compatibili, come nel caso dei rivestimenti in poliolefine (per l'impermeabilizzazione dei tetti) e linoleum (per le pavimentazioni), riciclabili o provenienti da processi di riciclo, come la struttura portante in acciaio.

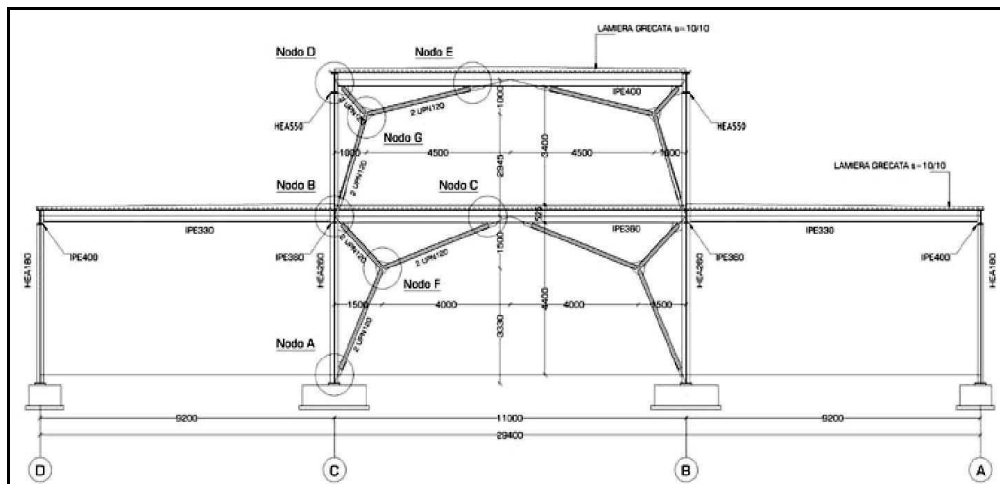


Fig. 33 e 34 - stabilimento Omes a Collegno (To), su progetto di Testa & Veglia Architetti – *prospetto e rivestimento in alluminio della parete perimetrale, e schema delle strutture in acciaio.*

Sfruttare al massimo la superficie edificabile

Della sua maggiore versatilità e ridotte sezioni trae giovamento l'impianto distributivo: tutto il piano terreno (la cui altezza è stata contenuta in 4,5 m) è sfruttato per la produzione. La zona uffici al primo piano può avvalersi di affacci vetrati su tre lati anziché su uno, consentendo di sfruttare appieno

l'illuminazione diurna, di catturare le brezze prevalenti per la ventilazione naturale e di godere della vista verso le colline e l'arco alpino. Dei due terrazzi, uno è praticabile ed offre un'area comune di relax all'aperto.

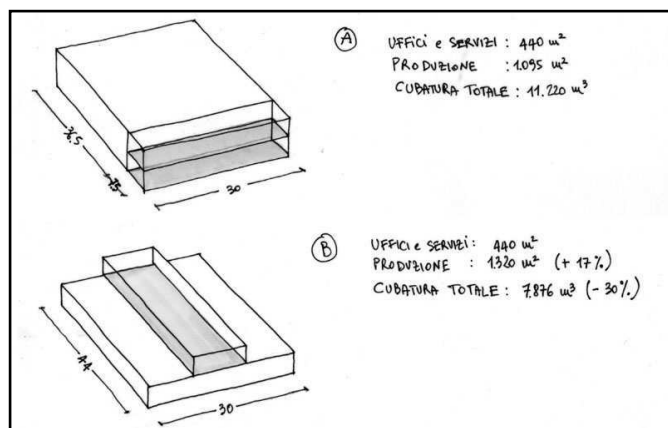


Fig. 35 - stabilimento Omes a Collegno (To), su progetto di Testa & Veglia Architetti - a parità di mq a disposizione per uffici e servizi, la soluzione B permette di liberare tutto il piano terra per la produzione, sfruttando al massimo la superficie edificabile sull'area.

Isolamento dell'involucro e impianti ad alta efficienza

Si è posta grande attenzione all'isolamento dell'involucro, con l'adozione esclusiva di serramenti a taglio termico e la coibentazione di tutto il perimetro, delle coperture piane (che adottano il sistema del tetto rovescio) e del pavimento della zona di produzione (in modo da ottimizzare l'efficienza dell'impianto a termostrisce radianti). Le pareti perimetrali sono in blocchi di calcestruzzo, con un rivestimento esterno in pannelli sandwich di lamiera ondulata e isolante. Un'intercapedine tra i blocchi e il rivestimento consente la ventilazione della parete. La struttura in acciaio, dipinta di rosso, è esposta solo all'interno dell'edificio, in modo da evitare ponti termici e ridurre al minimo la manutenzione. Gli impianti sono improntati all'alta efficienza e alla massima flessibilità di utilizzo. Tutti gli apparecchi illuminanti sono equipaggiati con reattore elettronico ad alta resa luminosa e basso consumo energetico. L'adozione di una caldaia a condensazione, associata all'involucro ad alto isolamento dell'edificio, garantisce elevato rendimento e minime emissioni inquinanti dell'impianto di riscaldamento.

Contenimento dei costi

L'obiettivo del contenimento dei costi è stato raggiunto attraverso l'uso efficiente dei materiali e grazie al frazionamento delle lavorazioni in vari subappalti, regolati da capitolati dettagliati, su cui la direzione lavori ha svolto un controllo diretto dal punto di vista economico e qualitativo. Lo stabilimento è entrato in funzione pochi giorni dopo la fine dei lavori. Una prima stima dei costi di gestione in riferimento ai metri cubi ha permesso di quantificare in circa il 50% il risparmio rispetto al vecchio stabilimento da cui la proprietà si

trasferiva. In collaborazione con Isbee Italia, sono in via di svolgimento ulteriori ricerche per valutare la performance energetico-ambientale dell'edificio e rapportarla allo standard corrente delle costruzioni industriali in Italia.

Fig. 36 - stabilimento Omes a Collegno (To), su progetto di Testa & Veglia Architetti – *interno dell'edificio, luoghi di produzione.*



Nuova sede Rotho Blaas

Committente: *Rotho Blaas srl*
 Progettista: *monovolume – Pedò, Pobitzer, Burgauner*
 Localizzazione: *Cortaccia (Bolzano)*
 Progetto: *2003–2004* - Realizzazione: *2004*
 Sito: *zona artigianale di Cortaccia*
 Superficie: *3.700 mq* Volume: *24.000 mc*
 Costo di costruzione: *3,5 mln di euro*
 Costo unitario: *946 euro/mq*

Fonte: *l'Architettura naturale n.35 giugno 2007*

Classe B	<i>Riduzione dei consumi energetici con valori paragonabili a quelli di un edificio residenziale in classe B (consumi inferiori a 50 kWh/mq anno)</i>
Struttura e involucro	Pilastri in acciaio, travi in legno lamellare, curtain wall con tripli vetri
Impianti	Climatizzazione differenziata fra magazzino e uffici. Sistema di telegestione e controllo automatizzato.

La nuova sede della Rotho Blaas, azienda che produce sistemi di fissaggio per strutture in legno nonché importatrice di macchine per carpenteria, è stata realizzata in funzione della riduzione dei consumi energetici con valori paragonabili a quelli di un edificio residenziale in classe B, cioè con consumi inferiori a 50 kWh/mq anno, pur non essendoci alcun obbligo in tal senso.

La progettazione è stata assegnata sulla base di un concorso ad invito, individuando la soluzione che meglio rispondeva alle proprie esigenze fra le proposte presentate.

Monovolume

Il nuovo edificio si presenta come un volume unico, lungo circa 55 m, largo 33 e alto 13 m, articolato in due piani: il piano terra è quasi interamente dedicato alla movimentazione e al deposito delle merci, con un'area coperta per il carico e scarico accessibile attraverso una rampa; la zona uffici al primo piano occupa circa 700 mq, uno spazio all'aperto la separa longitudinalmente da un'ulteriore superficie a magazzino di 900 mq.

La trasparenza è l'elemento dominante: le ampie vetrate comunicano l'attività dell'azienda definendo l'immagine al pubblico; forniscono inoltre un considerevole contributo all'illuminazione naturale degli ambienti, integrata in maniera controllata da quella artificiale attraverso lampade al neon e alogene

per un opportuno bilanciamento della temperatura colore e una qualità della luce più vicina possibile a quella naturale.

La vetrata è ombreggiata dalla considerevole sporgenza del tetto (5 m) e dai rilievi ad ovest. I pannelli del curtain wall sono in vetro a 3 strati ($K=0,7$) di dimensioni notevoli (3,7x1,6 m) e un peso di 600 kg.

Fig. 36 - nuova sede della Rotho Blaas – la vetrata ombreggiata dalla tettoia di 5 m.



La facciata a est è costruita con pannelli di legno multistrato con coibentazione in fibra di legno multistrato e rivestimento esterno in listelli di larice con uno strato di ventilazione. La struttura consente anche un suo possibile smontaggio e spostamento: è in fatti su questo lato che potrebbe svilupparsi un eventuale futuro ampliamento dell'azienda.

La visibilità dall'autostrada del Brennero è stata sfruttata a fini comunicativi inserendo delle aperture vetrate che disegnano il logo aziendale.

La parete nord è rivestita in alluminio per proteggere gli strati sottostanti dalle perturbazioni e lo stesso rivestimento è adottato per la copertura, sottolineando il gioco compositivo di una superficie che avvolge l'involucro piegandosi ad angolo retto.

Fig. 37 - nuova sede della Rotho Blaas – la parete a nord.



Struttura

Il solaio degli uffici è costruito con travi lamellari doppie di sezione 1000x220 mm e una luce di 11 m. L'area del magazzino, invece, dovendo sopportare carichi maggiori (fino a 1100 kg/mq) e consentire il movimento dei muletti, ha un solaio realizzato in travi lamellari di 1200x11000 mm, con una sezione di 100 mm, coperti con pannelli OSB da 25 mm di spessore. Gli elementi portanti verticali sono colonne d'accio e cemento alte 12 m, con sezione di 300x300 mm. Ciascuna colonna poggia su fondazioni costituite da micropali che arrivano fino a 13 m di profondità.

Impianti

La climatizzazione è completamente automatizzata e differenziata fra magazzino e uffici.

Gli uffici sono riscaldati con un sistema radiante a pavimento che d'estate è utilizzato anche per il raffrescamento. È inoltre presente un sistema di ventilazione controllata con recupero di calore.

Nel magazzino è impiegato solo il pavimento radiante, suddiviso in zone a temperatura differenziata a seconda della presenza e stazionamento del



personale. Il calore è generato da una batteria di cinque caldaie a compensazione che entrano in funzione in sequenza in relazione alla domanda, soluzione maggiormente efficiente rispetto all'installazione di un'unica caldaia di dimensioni maggiori,

Fig. 38 - nuova sede della Rotho Blaas – *il magazzino*.

Un impianto centralizzato consente di controllare l'illuminazione e lo stato di chiusura/apertura delle porte facilitando la gestione e il controllo dell'edificio; il magazzino è privo di interruttori: sensori di movimento provvedono all'accensione delle luci riducendo gli sprechi.

C.Edi.so. Centro Edilizia Sostenibile

Committente: *Sofinvest srl di Aldo Zaccarelli*

Progettisti: *Olver Zaccanti – Officina – Servizi Tecnici*

Localizzazione: Comune di Mirandola (Mo)

Progetto settembre 2007

Sito: zona artigianale di completamento

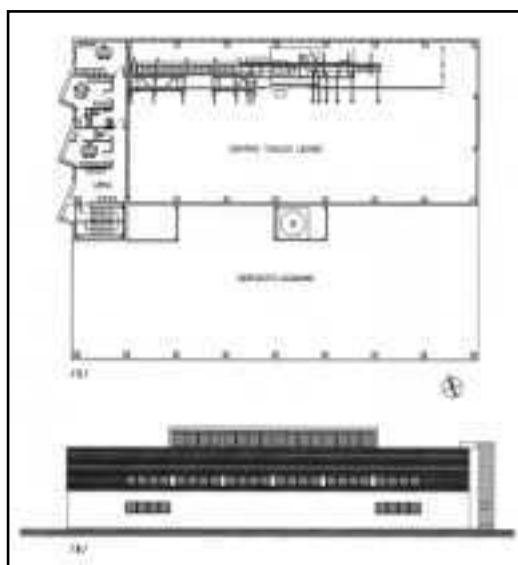
Fonte: *l'Architettura naturale n.35 giugno 2007*

Autonomia energetica	Installazione di pannelli fotovoltaici, realizzazione di un impianto di trigenerazione alimentato a biogas e di un piccolo impianto eolico. Gli insediati parteciperanno alle spese di gestione del sistema energetico (T.E.S. Total Energy Service) in base agli effettivi specifici usi e consumi, misurati con appositi contatori.
Illuminazione naturale	Shed orientati a nord con moduli fotovoltaici integrati sulla falda a sud. Nella zona uffici e servizi, concentrate a est e ovest, realizzazione di bow-window ruotati di 30° con affaccio diretto a sud.
Struttura e materiali	Utilizzo di materiali e coibentazioni in canapa prodotta localmente

Il C.Edi.so., Centro Edilizia Sostenibile, si propone di promuovere la diffusione dell'edilizia sostenibile, pertanto la sua realizzazione dovrà esserne un esempio. Il primo fabbricato, in corso di realizzazione, è il "centro taglio lavorazione del legno".

Copertura e rapporto con il sole

Nelle coperture saranno inseriti elementi a shed per garantire l'illuminazione e ventilazione naturale anche delle parti più interne dei laboratori; le finestre orientate a nord evitano fenomeni di abbagliamento, mentre sulla falda a sud saranno installati moduli fotovoltaici. Al fine di consentire una maggiore penetrazione e distribuzione della luce naturale nella zona uffici e servizi, concentrate a est e ovest dei laboratori, sulle facciate è prevista la realizzazione di bow-window ruotati di 30° rispetto alla parete, che permetteranno di aprire finestre con affaccio diretto a sud, con penetrazione di luce naturale diretta (che non colpirà le aree di lavoro) e calore nella zona uffici. Inoltre i bow-window si elevano oltre la copertura, per avere un'ulteriore apertura rivolta ad est.



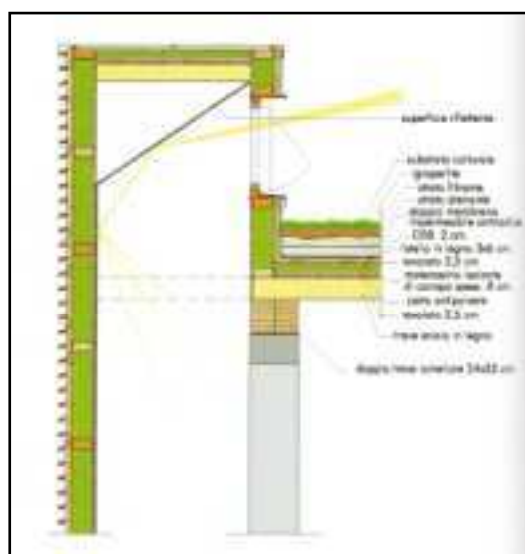
Struttura e materiali

Gli edifici saranno costruiti prevalentemente in legno, con strutture reticolari per la copertura, e pannelli di tamponamento con struttura intelaiata. Le coibentazioni saranno effettuate con pannelli e materassini isolanti di canapa, prodotti localmente. Le coperture inclinate saranno in lamiera grecata (a parte le zone destinate ai moduli FV), mentre su quelle piane sarà realizzato un tetto verde.

Fig. 37 e 38 - C.Edi.so, centro taglio lavorazione del legno a Mirandola (Mo), su progetto di Olver Zaccanti – Officina, pianta, prospetto e dettaglio.

Energia

L'autonomia energetica da fonti rinnovabili è uno degli obiettivi del centro; pertanto sarà realizzato un impianto di trigenerazione alimentato da biogas prodotto con l'impiego di biomasse vegetali, deiezioni animali e materiali di recupero derivanti dalle opere di manutenzione del verde pubblico. Tale impianto sarà realizzato con il coinvolgimento di alcune aziende agricole limitrofe. Attraverso una rete di teleriscaldamento, sarà fornito calore agli edifici e alle serre dell'azienda florovivaistica; analogamente sarà realizzato anche il raffrescamento estivo.



L'energia elettrica prodotta (2,8 MW) sarà distribuita ed utilizzata nelle varie attività del centro. Saranno inoltre installati pannelli fotovoltaici su alcuni edifici e realizzato un piccob impianto eolico. Gli insediati parteciperanno alle spese di gestione del sistema energetico (T.E.S. Total Energy Service) inbase agli effettivi specifici usi e consumi, misurati con appositi contatori. Un sistema che consentirà di visualizzare in ogni istante i singoli consumi, costi e risparmi, CO₂ non emessa, ect..

Definizioni

Edificio: costruzione abitata considerata nella sua globalità, includendo il suo involucro e i sistemi impiantistici di riscaldamento, ventilazione e condizionamento dell'aria.

Edificio esistente: edificio costruito, per il quale siano noti o possano essere misurati i dati reali necessari alla valutazione dell'energia utilizzata in accordo con questa norma.

Prestazione energetica: esprime la quantità di energia effettivamente consumata o che si prevede possa essere necessaria per soddisfare i vari bisogni connessi a un uso standard dell'edificio.

Classe energetica: semplice e comprensibile, è definita da una scala di valori (da "A" a "G"), usata per rappresentare l'efficienza energetica di un edificio.

Indicatore di prestazione globale: esprime la prestazione di un intero edificio includendo i sistemi di riscaldamento, ventilazione e condizionamento.

Zona termica: parte dello spazio riscaldato con una prefissata temperatura di progetto, nella quale si assume che la temperatura abbia variazioni nello spazio trascurabili.

Temperatura dell'aria prevista: è pari a 18°C per gli edifici industriali e viene definita in funzione dell'utilizzo prevalente per le altre destinazioni d'uso.

Trasmittanza Termica (U): rappresenta il flusso di calore che passa attraverso un mq di parete per ogni grado di differenza fra due superfici. È espresso in W/mq x°C.

Fabbisogno energetico specifico dell'involucro (PE_H): definisce le caratteristiche dell'involucro, tiene conto delle dispersioni di calore, ma anche degli eventuali apporti gratuiti dovuti alla radiazione solare (pareti opache e trasparenti) e gli apporti interni. È espresso in kWh/mq anno.

Fabbisogno specifico globale di energia primaria (PE_G): somma del fabbisogno di energia primaria per riscaldamento e di quello per la produzione di acqua calda al quale vengono eventualmente detratti i contributi energetici dovuti alle fonti rinnovabili. È espresso in kWh/mq anno.

Fabbisogno di energia primaria (PE_R): specifico per la climatizzazione estiva delle zone uffici. È espresso in kWh/mq anno.

Bibliografia

Qualità edilizia, energetica ed ambientale degli edifici industriali – linee guida e casi studio – aprile 2007 a cura di Environment Park, Osservatorio Bioedilizia – Dossier n. 16

Progettazione Tecniche & Materiali, Efficienza energetica delle facciate, Silvia Brunoro, Maggioli editore, ottobre 2006

Progettazione Tecniche & Materiali, Tecniche costruttive per l'efficienza energetica e la sostenibilità, Silvia Brunoro, Maggioli editore, ottobre 2006

L'importanza critica dell'isolamento degli edifici (insulation manufacturers association); www.eurima.

Prestazioni energetiche degli edifici, climatizzazione per usi igienico-sanitari, Raccomandazioni CTI termotecnico italiano – Energia Ambiente).

Mario Palazzetti e Maurizio Pallante, L'uso razionale dell'energia, Bollati Boringhieri, Torino, 1997.

Rodolfo Lewansky, Governare l'ambiente - attori e processi della politica ambientale: interessi in gioco, sfide, nuove strategie, Il Mulino, Bologna, 1997.

Commissione delle Comunità Europee, Piano d'azione per migliorare l'efficienza energetica nella Comunità Europea, Bruxelles, aprile 2000.

M. Lucentini, E. Scatalani e F.P. Vivoli, La casa e l'energia, Criteri e norme per una corretta progettazione energetica degli edifici, ISES Italia, Roma, dicembre 1998.

Giuliano Dall'O', Mario Gamberane e Gianni Silvestrini, a cura di, Manuale della certificazione energetica degli edifici, Edizioni Ambiente, febbraio 2008.

Gabriele Bollini, Luca Corsari, Valeria Stacchini, Insediamenti industriali e sostenibilità. Linee guida per la realizzazione di Aree Produttive Ecologicamente Attrezzate, Alinea editrice, marzo 2007

Arketipo, n. 2 aprile 2006

Arketipo, n. 5 luglio-agosto 2006

L'Architettura naturale n.35 giugno 2007.

L'architettura naturale n.28 2005

L'Architettura naturale n.23 giugno 2004.

Normativa di riferimento

Direttiva 2001/77/CE sulla promozione delle fonti energetiche rinnovabili

Direttiva 2002/91/CE sull'uso razionale dell'energia negli edifici

Direttiva 2004/8/CE sulla cogenerazione

Direttiva 2005/32/CE relativa all'istituzione di un quadro per l'elaborazione di specifiche per la progettazione ecocompatibile dei prodotti che consumano energia

Direttiva 2006/32/CE sull'efficienza degli usi finali dell'energia e i servizi energetici

Decreto legislativo 16 marzo 1999, n. 79 Attuazione della direttiva 96/92/CE recante norme comuni per il mercato interno dell'energia elettrica

D.P.R. 21/12/99 n.551, Regolamento recante modifiche al decreto del Presidente della repubblica 26/08/93 n.412, in materia di progettazione, installazione, esercizio e manutenzione degli impianti termici degli edifici, ai fini del contenimento dei consumi di energia.

Decreto legislativo 23 maggio 2000, n. 164 Attuazione della direttiva n. 98/30/CE recante norme comuni per il mercato interno del gas naturale, a norma dell'articolo 41 della legge 17 maggio 1999, n. 144

Decreti 22 aprile 2001, Efficienza e risparmio energetico negli usi finali, Ministro dell'Industria, del Commercio e dell'Artigianato di concerto con il Ministro dell'Ambiente.

Decreti ministeriali 20 luglio 2004 norme in materia di efficienza e risparmio energetico, Ministro dell'Industria, del Commercio e dell'Artigianato di concerto con il Ministro dell'Ambiente.

Legge Regionale 23 dicembre 2004, n. 26 Disciplina della programmazione energetica territoriale ed altre disposizioni in materia di energia

Legge 9 aprile 2002, n. 55 Misure urgenti per garantire la sicurezza del sistema elettrico nazionale

Delibera CIPE n. 123 del 19.12.2002 Piano Nazionale per la riduzione delle emissioni di gas responsabili dell'effetto serra. 2003-2010, Ministero dell'Ambiente Ministero della Finanza

DEC/RAS/854/05 Disposizioni di attuazione della decisione della commissione europea C(2004) 130 del 29 gennaio 2004 che sostituisce le linee guida per il monitoraggio e la comunicazione delle emissioni di gas a effetto serra ai sensi della direttiva 2003/87/CE del parlamento europeo e del consiglio, Ministero dell'Ambiente Ministero delle Attività e della Tutela del Territorio Produttive

Decreto Ministeriale 27 Luglio 2005 Norma concernente il regolamento d'attuazione della legge 9 gennaio 1991, n. 10 (articolo 4, commi 1 e 2), recante: «Norme per l'attuazione del Piano energetico nazionale in materia di uso razionale dell'energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia»

Decreto Legislativo 19 agosto 2005, n. 192 Attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico degli edifici.

Decreto Legislativo 29 dicembre 2006, n. 311, integrazioni al decreto legislativo 19 agosto n.192, 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia”.

Del. Dell’Assemblea Legislativa n.156 del 4 marzo 2008, Atto di indirizzo e coordinamento sui requisiti di rendimento energetico e sulle procedure di certificazione energetica degli edifici della Regione Emilia Romagna, approvato con.

Del. Delibera Del. Dell’Assemblea Legislativa n. 118 del 13 giugno 2007, “Atto di indirizzo e di coordinamento tecnico in merito realizzazione in Emilia-Romagna di aree ecologicamente attrezzate”.

Delibera n. 74/08 dell'Autorità per l'energia elettrica e il gas (Aeeg) Testo integrato delle modalità e delle condizioni tecnico-economiche per lo scambio sul posto (TISP)

Decreto Legislativo 30 maggio 2008, n. 115 Attuazione della direttiva 2006/32/CE relativa all'efficienza degli usi finali dell'energia e i servizi energetici e abrogazione della direttiva 93/76/CEE.

Siti di interesse alla redazione del manuale

<http://www.ledile.com>

<http://www.edilportale.com>

<http://www.ceis-industriale.it/> (sistemi costruttivi e cls autoclavato)

<http://www.edilio.it/> (per i tetti verdi)

<http://www.arpnet.it/casp/promozio/promo.htm> (per i tetti verdi)

http://www.aiami.com/green/projects/Ford_Rouge_Ctr/rouge_intro.htm

<http://www.thehenryford.com/rouge/regeneration.asp>

<http://www.comune.firenze.it/comune/regolamenti/edilizio/>

<http://www.edilportale.com/>

<http://www.cti2000.it/>

<http://www.ilportaledelsole.it/>

<http://www.assovetro.it> (vetri)

<http://www.itercoop.com/>

<http://www.voltimum.it/>

<http://www.certificatoreenergetico.com/certificazione-energetica-edificio-industriale.asp>

<http://www.ediliziaerisparmioenergetico.it/>

http://www.labitalia.system.it/articoli/economia/stabilimento_bergamo.html

<http://www.strutture.info/index.html>