

PROGETTO ABITARE SOSTENIBILE

Linee guida
per la progettazione

PROGETTO ABITARE SOSTENIBILE

Linee guida
per la progettazione

Lorena Bonino
Graziano Magnino
Fabrizio Prato
Dario Vineis

Progetto e cura
Rosella Seren Rosso
Redazione
Desarteco S.r.l.
Progetto grafico
Carlo Gaffoglio Design
Editing
Laura Remondino

Disegni e rielaborazioni grafiche
dei capitoli 2, 3, 6, 10 a cura di
Lorena Bonino
disegni dei capitoli 4, 5, 6 a cura di
Fabrizio Prato

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

Per eventuali e comunque non volute omissioni
e per gli aventi diritto tutelati dalla legge,
l'Associazione ETA dichiara la piena disponibilità

© Associazione Energia Territorio Ambiente, 2014
ISBN 978-88-905075-5-7

INDICE

SOSTENIBILITÀ	13
ARCHITETTURA BIOCLIMATICA	21
IL COMFORT INDOOR	37
IL BILANCIO ENERGETICO	63
MATERIALI, SISTEMI E COMPONENTI PER L'INVOLUCRO EFFICIENTE E SOSTENIBILE	79
NUOVE TECNOLOGIE, MATERIALI ANTICHI	113
ENERGIA	129
TIPOLOGIE DI IMPIANTI TECNOLOGICI	137
RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA DEGLI EDIFICI ESISTENTI	149
LE COPERTURE VERDI	161
La modellazione software	170
Bibliografia	172

Green, una scommessa vincente

Secondo il rapporto GreenItaly 2013 redatto da Unioncamere e Fondazione Symbola, sono 328mila le aziende italiane (il 22%) che dal 2008 ad oggi hanno investito in tecnologie green per ridurre l'impatto ambientale e risparmiare energia. E proprio da queste aziende arriverà nel 2014 il 38% di tutte le assunzioni programmate nell'industria e nei servizi. Sul podio delle province per valore assoluto delle assunzioni non stagionali di green jobs c'è anche Torino, in terza posizione dopo Milano e Roma. La green economy, secondo Symbola e Unioncamere, è un nuovo paradigma produttivo che esprime, nel nostro Paese, la parte propulsiva dell'economia. Dall'inizio della crisi, nonostante la necessità di stringere i cordoni della borsa, più di un'impresa su cinque ha scommesso sulla green economy, che è stata, quindi, percepita come una risposta alla crisi stessa, e non ha deluso le aspettative. Secondo i dati del rapporto, chi investe green è più forte all'estero, esprime più innovazione e in definitiva produce più reddito.

Questi numeri incoraggianti sono in netta controtendenza rispetto a quelli del settore costruzioni, che anche a livello locale mostra gli effetti particolarmente pesanti della crisi attuale: in provincia di Torino, a causa delle dinamiche del mercato immobiliare e delle opere pubbliche, le imprese che operano nella realizzazione di edifici residenziali e non (il 24,2% del totale) accusano una flessione del 3% nel 2013, dell'1,3% quelle impegnate nell'impiantistica (il 22,3%) e dell'1,2% quelle dei lavori di finitura e di completamento degli edifici (il 27,1%).

Se la green economy può fornire delle risposte per fronteggiare questi cali e per ripartire, dobbiamo lavorare perché il territorio sia preparato a cogliere tutte le opportunità possibili, sviluppan-

do le conoscenze in questo settore, a tutti i livelli, compreso quello dell'istruzione tecnica e professionale, per favorire un miglior dialogo tra scuola e mondo del lavoro.

Con la positiva esperienza della Robotica, la Camera di commercio di Torino ha fatto da "apripista" e costituito un modello da replicare su altri settori, sempre coinvolgendo una rete ampia di soggetti: istituti scolastici, associazioni professionali e di categoria, enti locali e aziende. Tutti animati dal desiderio di formare sul territorio nuove figure professionali, che trovino sbocchi nel mercato del lavoro e che facciano ripartire con le loro competenze settori in sofferenza.

Si tratta di un investimento a lungo termine, ma indispensabile: crediamo infatti nella necessità e nella possibilità di far percorrere alla scuola tecnica nuove strade, forti sì della nostra tradizione manifatturiera e industriale, ma pronti a innovare, grazie ad una filiera formativa che vede la collaborazione tra pubblico e privato e che permette al mondo della produzione industriale, alle istituzioni e alla scuola di lavorare insieme. Tutto questo comporta anche notevoli sforzi: introdurre nuove materie nella scuola richiede anche agli insegnanti la capacità di provarsi su terreni e materie nuove, non previste nei curricula classici.

Da questa necessità nasce la pubblicazione del presente manuale che mi auguro diventi sempre più strumento di lavoro quotidiano, per docenti e studenti, ma anche per professionisti che non si stancano di aggiornarsi e di crescere. A tutti va il mio ringraziamento per l'impegno e per la volontà di lavorare insieme per il futuro dei nostri ragazzi, della scuola e dell'economia di questo territorio.

Alessandro Barberis

Presidente della Camera di Commercio di Torino

Condividere una visione nuova

Il progetto formativo “Abitare sostenibile” è nato grazie all’interazione costruttiva tra il mondo produttivo, il mondo delle professioni, gli enti locali e il mondo scolastico. Vuole rispondere in modo efficace sia ai bisogni di formazione degli studenti sia alle esigenze del settore costruttivo, e soprattutto alle domande che il futuro ci pone, presentando una soluzione concreta: l’edilizia sostenibile.

Con questo progetto è stato definito un modello innovativo di formazione e collaborazione sul tema: innovativo perché c’è bisogno di una preparazione professionale sempre più mirata, di più lavoro e soprattutto di lavoro meglio qualificato. Occorre arricchire le attività tradizionali con l’apporto di nuove professioni e competenze trasversali: solo così si potrà attuare un cambiamento reale creando una cultura capace di riesaminare i nostri valori e ripensare il modo di vivere e la quotidianità.

Il settore delle costruzioni svolge un ruolo importante nell’economia europea: genera quasi il 10% del PIL e rappresenta 20 milioni di posti di lavoro, soprattutto in micro e piccole imprese. Al contempo è uno dei settori più duramente colpiti dalla crisi economica e finanziaria: nell’UE-27 si è registrato, tra il gennaio 2008 e il novembre 2011, un calo del 16% nell’esecuzione di opere edili e infrastrutturali.

Nel 2011 in Italia, secondo i dati ISTAT, l’edilizia ha dato lavoro al 28,8% degli occupati operanti nell’industria e all’8,2% del totale dei lavoratori nell’intero sistema economico nazionale. Il trend occupazionale però evidenzia un periodo di grande difficoltà del comparto, pari a circa -20% rispetto al periodo pre-crisi.

Inoltre, nonostante il Bel Paese possieda un vasto patrimonio immobiliare che riflette il suo passato di civiltà urbana e, contemporaneamente, rispecchia le diverse tradizioni rurali delle regioni, solo una minima parte è annualmente interessata da importanti interventi di riqualificazione energetica (i quali avvengono principalmente proprio in occasione di più ampie ristrutturazioni programmate). Altro dato negativo: l’edilizia non è ancora abbastanza rispettosa dell’ambiente e della nostra salute. I cambiamenti climatici, l’inquinamento, la scarsità di risorse e la tipologia di energie impiegate nel settore disegnano uno scenario buio: è doveroso un urgente cambio di rotta culturale, sociale e produttivo.

La crisi ambientale va quindi vista, interpretata e affrontata parallelamente a quella economica: intervenire sull’efficienza energetica degli edifici e in generale sulla sostenibilità del processo produttivo, utilizzare nuove tecnologie e competenze al

fine di minimizzare l’impatto ambientale può rappresentare un importante passo per l’ecosistema e insieme una leva poderosa per un “rinnovamento accelerato” che rimetta l’Italia al passo con l’Europa, attivando nuovi posti di lavoro e producendo effetti stabilizzanti.

Gli edifici a energia quasi zero (NZEB – Nearly Zero Energy Building) sono destinati a rappresentare una sfida cruciale, che può far crescere e innovare l’edilizia invertendo la tendenza negativa degli ultimi anni.

Occorre quindi un cambiamento profondo nel modo di costruire, creando un mercato in cui l’Abitare sostenibile diventi l’attore principale: i miglioramenti delle attività e delle opere di costruzione contribuiranno a rendere più competitivo e produttivo il settore e apriranno nuove opportunità di impresa, in particolare per le PMI, in quanto le azioni da intraprendere, potendo essere influenzate dalle condizioni locali, richiederanno soluzioni ad hoc.

Con entusiasmo e passione, che siamo certi saranno condivise dai giovani destinatari del progetto, tutti i partner si sono impegnati per offrire alle nuove generazioni un’opportunità preziosa: quella di diventare, attraverso una nuova forma didattica, protagonisti di un’evoluzione non solo professionalmente promettente, ma soprattutto importante per la collettività e l’ambiente. In una parola, imparare a costruire il futuro.

Gli attori

La scuola

La scuola dell’autonomia interagisce da protagonista con le autonomie locali, con i settori economici e produttivi e le associazioni per promuovere il rilancio della cultura e la valorizzazione dell’ambiente e del patrimonio architettonico: sostenere l’innovazione delle competenze significa salvaguardare l’ambiente e la qualità della vita.

È possibile migliorare il piano dell’offerta formativa progettando scenari futuri in cui si integrino le risorse umane delle giovani generazioni e le proposte del mondo economico e sociale, del sistema produttivo e delle amministrazioni locali. Le Istituzioni scolastiche vogliono essere all’avanguardia nella formazione, pronte nel rispondere alle mutevoli esigenze del mercato che richiede sempre più tecnici in possesso di competenze tali da metterli in grado di sviluppare l’esperienza pratica in collegamento con il territorio, le associazioni di categoria e le imprese.

Gli ordini professionali

Gli ordini professionali hanno piena consapevolezza che è necessario fornire ai professionisti il massimo supporto, con una pluralità di strumenti, affinché siano loro stessi a essere più propositivi nel campo delle tecniche costruttive mirate al risparmio energetico, al raggiungimento di reali condizioni di comfort ambientale nelle abitazioni, nei luoghi di lavoro e di svago.

Le imprese e le associazioni d’impresa

Sul territorio, insieme alle Istituzioni, sono chiamate a costituire la rete anche le imprese del settore, al fine di far conoscere l’offerta economica esistente sul mercato e valorizzarla. Il prodotto di questo impegno congiunto, frutto della somma di esperienze e conoscenze rispettive, ha un peso culturale e concreto al tempo stesso, e dalla rete tra i soggetti potrà nascere un “Fo-

rum dell’informazione”: un’occasione per mettere a disposizione, e ricevere, indicazioni utili per comprendere le complesse dinamiche dei singoli mercati e creare di conseguenza valore aggiunto in termini di produttività.

Il territorio

L’obiettivo è comune per tutti coloro che si impegnano nello studio, nella salvaguardia e nell’evoluzione dei tratti che connotano un territorio: contribuire a una professionalità sempre più in grado di evolvere con gli obiettivi nuovi che il mondo abbraccia, che tenda al miglioramento della qualità della vita delle persone senza aggravare l’equilibrio dell’ecosistema.

Sul sistema territorio si potrà così dare vita a ulteriori progetti di potenziamento strutturale, con più spazi, più tecnologia, maggiori aree a disposizione: non sarà solo una vetrina di prodotti ma sempre più una palestra di idee e di informazione.

Daniele Vaccarino

Presidente Nazionale CNA

Gli obiettivi dell’iniziativa

Il progetto *Abitare sostenibile* nasce dall’iniziativa – condivisa e appoggiata da enti e associazioni imprenditoriali – di un gruppo di docenti e professionisti che con questa pubblicazione vogliono informare e, soprattutto, formare gli studenti sui temi dell’edilizia ecosostenibile, sulla sua evoluzione attuale e sugli scenari prossimi futuri che questa può contribuire a generare.

L’obiettivo portante del progetto è proprio questo: innovare l’offerta didattica di settore divulgando la cultura della sostenibilità nella progettazione architettonica. Accrescere le competenze dei singoli in questo campo contribuisce infatti non solo a un miglioramento professionale e tecnico, ma anche a stimolare una riflessione sui nostri valori e sul nostro modo di vivere la quotidianità.

È necessario un approccio nuovo – culturale e sociale, non solo tecnico – che consenta a scuola, aziende, studenti, futuri lavoratori e professionisti del settore di avere risorse e competenze specifiche e integrate in modo da offrire risposte adeguate ai tempi in cui viviamo. Soprattutto gli studenti che si accingono a lavorare nell’edilizia sono chiamati oggi a essere consapevoli degli importanti cambiamenti del settore e del mercato: partiranno avvantaggiati se avranno competenze trasversali specifiche, con un’ottica già “ecosostenibile” improntata al benessere dell’individuo, degli spazi e dell’ambiente.

Riqualificazione energetica e riduzione dell’inquinamento, risparmio dei consumi e delle risorse naturali, modifica delle abitudini quotidiane, qualità abitativa, tecniche di costruzione e ristrutturazione, rispetto e miglioramento dell’ecosistema: questa è infatti la ricetta per l’edilizia “che ha un futuro”. *Abitare sostenibile* nasce proprio per costruire, attraverso la messa in comune di risorse e competenze in un intervento formativo, un primo ponte di collegamento al “nuovo mondo” dell’edilizia verde, ricco di opportunità.

Lo scenario in cui viviamo

Le problematiche legate alla globalizzazione, all’inquinamento, ai cambiamenti climatici, a un’evoluzione sociale e tecnologica velocissime impongono trasformazioni radicali. La scarsità di risorse e l’urbanizzazione aggressiva con cui quotidianamente ci confrontiamo richiedono un’urgente rivisitazione dei comportamenti sociali, produttivi e insediativi che caratterizzano l’atti-

Abitare Sostenibile

vità umana, affinché non si ecceda la capacità portante dell’ambiente, ovvero quella soglia di sopportazione oltre la quale il processo di degrado ambientale e di inquinamento risulterebbe irreversibile. I temi della sostenibilità ambientale e dell’efficienza energetica rappresentano oggi una delle sfide più importanti della nostra società.

L’edilizia in Europa è responsabile da sola di oltre il 40% del consumo di energia primaria, per lo più non rinnovabile. A destare preoccupazione non è solo l’aspetto energetico connesso all’utilizzo degli edifici, ma è piuttosto l’intero modo di intendere il processo edilizio a risultare inefficiente: pianificazione, costruzione, uso e dismissione degli edifici.

La casa costituisce per tutti un bene di primaria importanza e, oltre a un valore reale e simbolico, può rappresentare uno strumento di diffusione di una cultura, quindi un potentissimo mezzo di educazione della popolazione rispetto a tematiche di sviluppo sostenibile.

Questo passaggio richiede uno sforzo congiunto di tutto il sistema Paese, ma soprattutto presuppone un profondo cambiamento verso nuovi sistemi di produzione e di consumo, basati su una gestione sostenibile delle risorse e una drastica riduzione delle emissioni e dei conseguenti impatti, che deve essere accompagnato da un altrettanto profondo cambiamento culturale e di stili di vita.

Ad avvalorare l’importanza dell’edilizia sostenibile è anche un altro punto di vista: la Green Economy è stata riconosciuta alla Conferenza Rio + 20 delle Nazioni Unite (giugno 2012) come la possibile soluzione alle molteplici crisi in atto, prime fra tutte quelle economica e climatica. L’edilizia sostenibile è uno dei settori fondamentali per il futuro, certo, e non solo per l’ambiente: è una chiave per rilanciare la competitività delle imprese e l’occupazione, e quindi per superare l’attuale crisi economica.

I contenuti del cambiamento

Abitare sostenibile vuole essere una guida per un’edilizia attenta all’ambiente e al futuro. Insegnare una progettazione eco-efficiente per ottimizzare il legame tra miglior sfruttamento delle risorse e minor impatto ambientale significa cambiare il sistema attuale e renderlo al contempo più “umano” e più “naturale”, con obiettivi benefici economici e sociali.

Il Protocollo

Le tematiche trattate sono diverse e molto complesse: dai principi della sostenibilità ambientale al comfort indoor, dalle tecnologie ecocompatibili all’involucro sostenibile, dallo studio del sistema impianto al risanamento e alla ristrutturazione energetica.

Questa pubblicazione si presenta quindi con una concezione nuova, per i contenuti che tratta e per l’ottica che lo caratterizza: guarda agli obiettivi e all’innovazione del campo architettonico in modo “prestazionale”. Il “come” costruire rapportato ai risultati da ottenere in campo edilizio ma anche ecologico e sociale: gli edifici devono essere pensati, progettati e costruiti per conseguire precisi e certificati obiettivi quantitativi e qualitativi, razionalizzando l’uso dell’energia. Spetterà all’intelligenza e all’immaginazione del progettista raggiungere nel modo più efficace questi obiettivi attraverso un mix di soluzioni progettuali, impiantistiche e tecnologiche, prevedendo al tempo stesso le corrette modalità di cantierizzazione nonché di manutenzione e gestione dell’edificio costruito.

Si parlerà dei principali criteri per una corretta progettazione ecocompatibile, che riguardano una serie di analisi dei sistemi in termini di flussi input-output di energia e materiali con riduzione della tossicità e nocività delle risorse, utilizzo di risorse rinnovabili e locali, ottimizzazione della vita dei prodotti. Elementi chiave sono la selezione dei materiali e le tecnologie di impiego, che rappresentano un momento basilare per migliorare la qualità abitativa e il benessere nelle strutture architettoniche. Insieme, certamente, al miglioramento del design e allo sviluppo della creatività nella progettazione.

Abitare sostenibile vuole essere uno strumento di formazione e di pensiero: siamo noi esseri umani i responsabili della nostra vita individuale e sociale, delle nostre case e del nostro pianeta; per realizzare uno sviluppo sostenibile è necessario uno sforzo collettivo, un’apertura culturale, una partecipazione attiva e dinamica da parte di tutti, e di un gruppo più di altri: quello dei progettisti e dei tecnici, chi già lavora nell’edilizia e chi sta per entrare nel mondo del lavoro. Il futuro deve essere sostenibile e accogliente come le nostre case.

Maria Vittoria Bossolasco
*Dirigente Istituto Istruzione Superiore
“Erasmus da Rotterdam” - Nichelino*

Gaspere Enrico
Presidente Associazione Energia Territorio Ambiente

Rosella Seren Rosso
Autore del progetto

Protocollo di Intesa per lo sviluppo dell’Istruzione Tecnica e Professionale nel campo dell’Abitare Sostenibile per la promozione di attività di formazione e di qualificazione dell’aggiornamento di docenti e professionisti, dell’offerta formativa e della didattica, di promozione e divulgazione della cultura della sostenibilità in campo edilizio, di incremento delle competenze territoriali indirizzate alle tematiche della progettazione sostenibile, delle tecniche costruttive e dei materiali utilizzati.

Enti firmatari

- Ufficio Scolastico Regionale per il Piemonte
- Provincia di Torino
- Camera di commercio industria, artigianato e agricoltura di Torino
- Ance Piemonte, Associazione Regionale Costruttori Edili del Piemonte e della Valle d’Aosta
- Consiglio Nazionale Geometri e Geometri Laureati
- Unione Industriale della Provincia di Torino
- Collegio Geometri e Geometri Laureati di Torino e Provincia
- Confederazione Nazionale dell’artigianato e della Piccola e Media Impresa - Associazione Provinciale di Torino

Il logo del Protocollo trae spunto dal significato intrinseco dei due vocaboli che compongono il titolo del progetto. Il termine “abitare” significa “aver consuetudine di un luogo” e richiama il concetto di casa, collettività, rappresentando una delle relazioni fondamentali che gli uomini intrattengono tra di essi e con l’ambiente. Ogni cittadino “ha” la città di cui è abitante, ogni abitante del pianeta “ha” il mondo. Ma ne siamo consapevoli? Ne siamo responsabili? Preesistente all’abitare è la natura, l’ambiente naturale. L’abitare si palesa con il costruire, generalmente in equilibrio precario con il concetto di distruzione del territorio.



- Istituto Istruzione Superiore “Erasmus da Rotterdam” - Nichelino Capofila della rete di Istituti: I.I.S. “ Sella-Aalto” di Torino, I.T.G. “G. Guarini” di Torino, I.T.C.G. “G. Galilei” di Avigliana, I.I.S. “E. Vittorini” di Grugliasco, I.I.S. “E. Fermi” di Ciriè, I.I.S. “J. C. Maxwell” di Nichelino, I.I.S. “M. Buniva” di Pinerolo
- Comune di Nichelino
- Associazione Energia Territorio Ambiente
- Confcooperative Torino
- Associazione Centro Scienza
- Environment Park
- Parco Scientifico e Tecnologico in Valle Scrivia
- Fondazione ClimAbita
- Legacoop

Presidente del Comitato di indirizzo

Daniele Vaccarino

Segretario del Comitato di indirizzo

Patrizia Paparozzi

Responsabile tecnico scientifico del Comitato di indirizzo

Rosella Seren Rosso

Possiamo abitare, costruire, senza privare le generazioni future del mondo naturale, siamo in grado di essere “sostenibili”? Il concetto di naturalità è rivelato dall’immagine della foglia, soggetto privilegiato da fotografi e pittori, quale organo vivo, che varia il suo stato sensibile durante le varie stagioni. La natura con forme sintetiche ed astratte, viene assunta a simbolo. Cezanne, in una lettera scrisse “...bisogna trattare la natura attraverso il cilindro, la sfera, il cono, il tutto messo in prospettiva, in modo che ogni parte di un oggetto, di un piano, sia diretto verso un punto centrale”. L’aspetto cromatico proposto richiama la natura e il paesaggio.



SOSTENIBILITÀ

“Io sono me più il mio ambiente
e se non preservò quest’ultimo non preservò me stesso”

José Ortega Y Gasset, filosofo spagnolo



► | 1.1 | Premessa

La storia dell'umanità, attraverso i millenni, è sempre stata caratterizzata da uno stretto rapporto con l'ambiente. Tutte le civiltà che si sono succedute l'una dopo l'altra – in ogni parte del globo e in ogni epoca – per potersi evolvere hanno avuto in comune la necessità di convivere con la natura e con i suoi elementi: un equilibrio che ha rappresentato la garanzia di sopravvivenza per la specie umana.

L'uomo ha sempre dovuto confrontarsi con l'ambiente e vivere in accordo con la natura e i suoi cicli per un'infinità di ragioni: programmare le attività agricole, approvvigionarsi dei materiali necessari, decidere le campagne di guerra, e così via. Tutto questo per millenni, con poche mutazioni, fino a un momento ben preciso, il 1859, quando a Titusville, un minuscolo villaggio nel nord della Pennsylvania nei pressi della frontiera canadese, Edwin Drake compie la prima trivellazione petrolifera. Quasi negli stessi anni (1853) due italiani, il sacerdote e fisico Eugenio Barsanti e l'ingegner Felice Matteucci, inventano il motore a scoppio. Di lì a pochi anni l'uomo avrebbe avuto nelle sue mani il primo strumento in grado di sfruttare il petrolio, e di dare il via all'estrazione su vasta scala.

Dalla metà dell'Ottocento in poi l'umanità e il petrolio, con i suoi derivati, si trovano uniti in un vincolo irrinunciabile, e l'evoluzione della società si modella secondo un nuovo rapporto fra uomo e ambiente: un rapporto non più fondato sulla dipendenza diretta e sulla capacità del primo di convivere con il secondo sulla base di semplici leggi naturali, ma caratterizzato da una relazione indiretta. In altre parole, l'energia necessaria alla produzione di un bene non risulta più immediatamente percepibile nel rapporto fra i bisogni dell'uomo e i beni in grado di soddisfarli.

Le risorse fossili, prodotte nei millenni attraverso il lento lavoro della natura – processi di sedimentazioni geologiche, decomposizioni organiche, reazioni chimiche – dalla metà dell'Ottocento in poi costituiscono la nostra principale risorsa energetica: l'umanità è in movimento grazie a questo enorme serbatoio di energia dal quale attingiamo costantemente.

Prima che le riserve fossili si esauriscano sarà indispensabile, per la sopravvivenza stessa della nostra civiltà, trovare strategie alternative di sviluppo. Il tema è molto complesso, soprattutto perché con l'attuale modello produttivo e sociale basato sull'impiego generalizzato del petrolio si determina l'ormai noto problema di surriscaldamento del globo, dovuto all'emissione in atmosfera dei gas climalteranti con la conseguente mutazione del clima a livello globale.

Il futuro dell'umanità nei prossimi decenni dipende dalle scelte che oggi possiamo compiere e dalle iniziative che vogliamo responsabilmente intraprendere. Ricordiamo che il settore edilizio nei paesi industrializzati rappresenta un'enorme fonte di diffusione delle emissioni di CO₂ e degli altri gas in atmosfera, e che la loro drastica riduzione è ormai ineluttabile.

La comunità mondiale dovrà orientare le proprie scelte nell'ottica di uno sviluppo che, soddisfacendo i bisogni delle attuali generazioni, non negherà la stessa possibilità per quelle future, evitando dunque l'eccessivo sfruttamento delle risorse naturali rinnovabili. Al tempo stesso occorrerà ridurre, o meglio ancora eliminare, l'utilizzo delle risorse non rinnovabili, avendo cura di non innalzare il livello di inquinamento oltre la soglia di assimilabilità dell'ambiente, posto che questa soglia sia quantificabile senza danni alle persone e alla naturalità stessa. A conferma di quanto citato sin qui ricordiamo che il Rapporto Stern sul cambiamento climatico, commissionato dal governo britannico, ha chiaramente indicato che, anche dal punto di vista economico, i benefici di azioni dirette e sollecite in tal senso superano i costi di tutte le mancate azioni. Purtroppo però, recentemente lo stesso autore ha già affermato che lo studio ha sottostimato i rischi del global warming e che la minaccia posta all'economia dall'aumento delle temperature risulta concreta, anche perché la politica pubblica si muove lentamente.

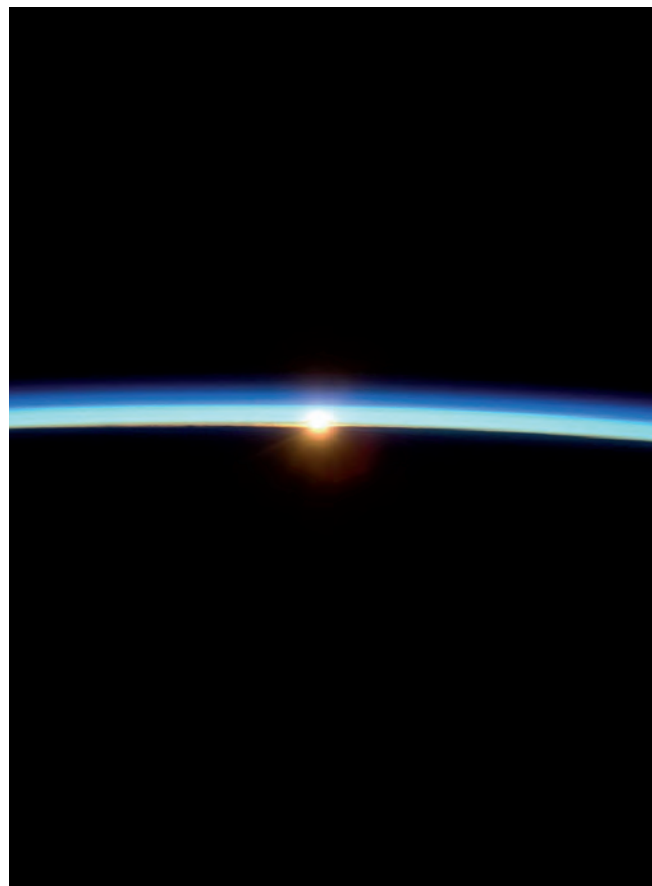


Immagine dell'alba vista dalla Stazione Spaziale Internazionale: il Sole sta sorgendo e illumina la sottile strato di atmosfera che avvolge il pianeta. Fonte: sito NASA

► | 1.2 | Concetto di sostenibilità

Nell'affrontare l'argomento della "sostenibilità" è bene chiedersi cosa significhi questo termine. Intanto sostenibile per chi e da chi? E per sostenere che cosa?

Per rispondere a queste domande è necessario considerare il rapporto che esiste fra l'uomo, le altre specie viventi e l'ambiente in cui vivono e, soprattutto, quali caratteristiche debba avere l'ambiente per permettere la continuazione della vita.

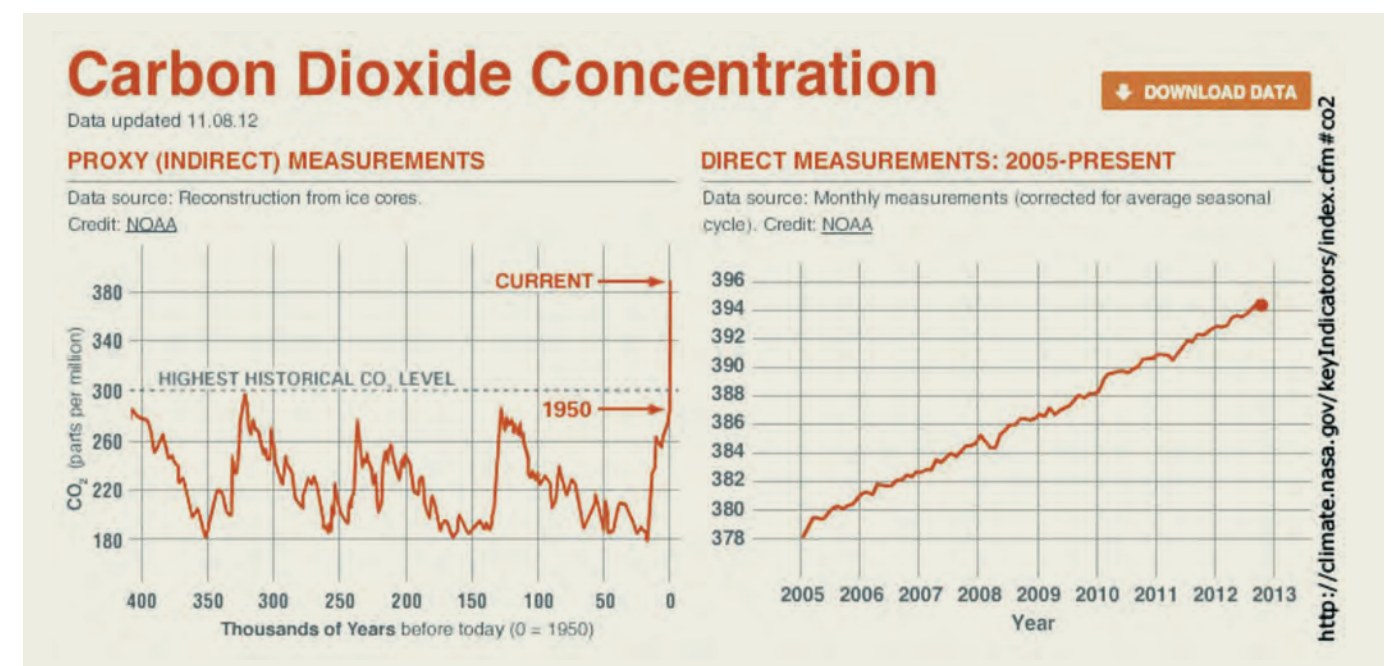
Sia la specie umana che le altre specie viventi, così come le conosciamo oggi, sono il risultato di una lunghissima evoluzione finalizzata al lento adattamento dei nostri organismi e delle nostre funzioni vitali all'ambiente e al clima che ci ospitano. Anche l'ambiente è frutto di un'evoluzione, questa assai più lunga nel tempo: la Terra alle origini era tutt'altro che ospitale ma, grazie alla gigantesca quantità di energia che il sole riversa costantemente sul pianeta da più di 4 miliardi di anni, si è stabilizzata con le caratteristiche odierne da circa 2 milioni di anni a questa parte. Questo equilibrio raggiunto dall'ambiente terrestre, pur con cicli climatici estremi e con le grandi differenze registrabili a livello locale – basti pensare alla differenza di clima che esiste tra i poli e l'equatore, a cui siamo stati in grado di adattarci – ha permesso alla vita di colonizzare praticamente tutto il pianeta e, per quanto riguarda la nostra specie, di prosperare e moltiplicarsi negli ultimi due milioni di anni circa fino alla ragguardevole cifra di oltre sette miliardi di individui, tanto da diventare la specie animale dominante.

Per il benessere e la sopravvivenza della nostra e delle altre specie viventi è quindi naturale auspicare che tali favorevoli condizioni non cambino e che l'ambiente mantenga questo equilibrio per, diciamo, altri milioni di anni.

Purtroppo tale equilibrio è molto delicato perché l'atmosfera terrestre, cioè l'ambiente in cui viviamo, è un sistema chiuso limitato, non illimitato come potrebbe sembrare, e per di più estremamente sottile in confronto alle dimensioni del pianeta, paragonabile allo strato di rugiada che può avvolgere un pompelmo al mattino.

Gli studi scientifici sull'argomento dimostrano che l'ambiente in cui viviamo sta inequivocabilmente cambiando, e in maniera completamente diversa dai cicli climatici riscontrabili nei dati degli ultimi 450.000 anni.

In particolare l'andamento del grafico della temperatura dell'atmosfera terrestre, solitamente altalenante in cicli climatici di circa 15.000 anni, dall'epoca della rivoluzione industriale in poi risulta mediamente sempre in salita e ben al di sopra dei massimi dei millenni precedenti, con un'impressionante impennata negli ultimi cinquant'anni, causando il progressivo e costante ritiro dei ghiacciai delle montagne nei cinque continenti e il massiccio disgelo dei poli. Questi sintomi dimostrano che il pianeta ha, per così dire, la febbre e che questa febbre non fa prevedere nulla di buono per il nostro benessere futuro: sono prossime le prime migrazioni di popolazioni intere per cause climatiche.

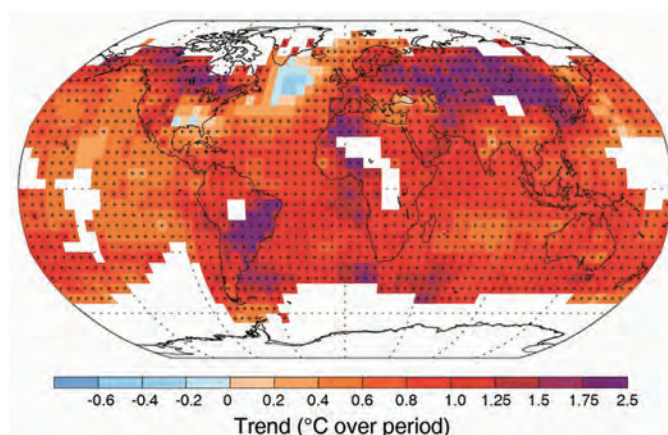


Monitoraggio della quantità di CO₂ in atmosfera negli ultimi 450.000 anni. Fonte: sito NASA

► 1.2 | Concetto di sostenibilità

Lo stravolgimento dell'equilibrio climatico-ambientale, in particolare l'innalzamento della temperatura media del pianeta, corrisponde con l'andamento del grafico delle immissioni in atmosfera delle quantità percentuali di alcuni gas presenti nell'aria, primo fra tutti l'anidride carbonica (CO₂), che hanno la capacità di scatenare quello che è detto "effetto serra". In questo lungo lasso di tempo nell'atmosfera la quantità di CO₂ non ha mai superato le 300 ppm (parti per milione), mentre dal 1950 in poi questo limite è stato abbondantemente superato e nelle misurazioni più recenti sfiora le 400 ppm.

L'effetto serra è un fenomeno fisico che, proprio come avviene per i vetri nelle serre di orticoltura, fa sì che la miscela di gas di cui è costituita l'atmosfera terrestre impedisca all'energia inviataci dal Sole sotto forma di radiazione di "rimbalzare" e sfuggire completamente nello spazio una volta colpita la superficie. In questa maniera viene trattenuta la quantità sufficiente di energia per mantenere la temperatura del pianeta mediamente costante e questo è uno dei fattori decisivi che hanno permesso lo sviluppo della vita sulla Terra. Ma se la miscela di gas dell'atmosfera diventa eccessivamente "coprente" rimane imprigionata troppa radiazione solare, si ha uno sbilancio energetico, il che genera un accumulo progressivo di energia termica e il conseguente aumento di temperatura.

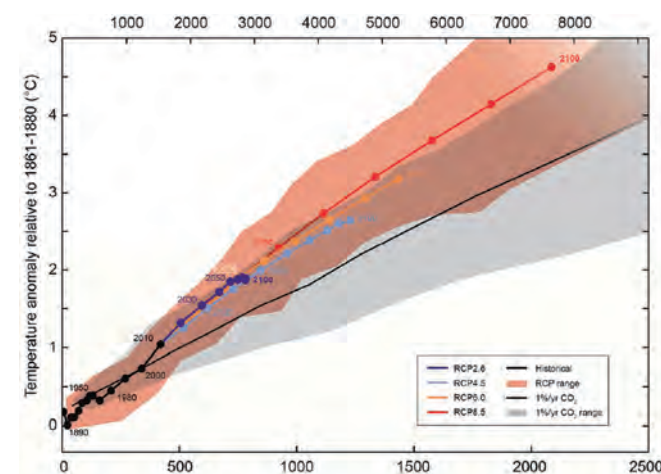


Cambiamento della temperatura media sulla superficie terrestre dal 1901 al 2012.
Fonte: 5° rapporto IPCC di ottobre 2013

L'unica maniera per ristabilire la temperatura corretta per il benessere dell'uomo, e delle altre specie viventi, è quindi quella di ripristinare la giusta miscela di gas di cui è stata composta l'atmosfera negli ultimi 2 milioni di anni, riducendo la quantità in essa presente dei gas cosiddetti climalteranti, primo fra tutti la CO₂.

Per capire cosa è necessario fare per ridurre la concentrazione di CO₂ in atmosfera è necessario prima scoprire perché essa sta aumentando senza più seguire i cicli altalenanti del passato.

Gli studi scientifici internazionali, in particolare il recentissimo 5° rapporto dell'IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), concludono che la responsabilità del fenomeno è inequivocabilmente imputabile all'attività umana, sempre più frenetica ed energivora, degli ultimi due secoli. Se ai grafici dell'andamento della temperatura e dell'andamento della percentuale di anidride carbonica nell'atmosfera accostiamo la cronologia degli eventi della storia umana, ci accorgiamo che l'inizio della salita coincide pressappoco con la prima rivoluzione industriale, la quale fu resa possibile dal contemporaneo inizio dello sfruttamento estensivo dei giacimenti di carbone fossile dalla cui combustione si ottiene una grandissima quantità di energia.



Rapporto fra anomalie di temperatura ed emissioni di CO₂ di origine umana dal 1870 al 2010 (linea nera) con alcune possibili proiezioni future in base a diversi scenari (linee colorate). Fonte: 5° rapporto IPCC, ottobre 2013.

Dopo una breve discesa all'inizio del 20° secolo, in corrispondenza della prima grande crisi economica e del primo conflitto mondiale, il grafico riprende a salire in maniera anche più ripida con l'accrescersi dell'uso estensivo del petrolio, quale nuova incredibile fonte di energia che va ad aggiungersi, in forma ancora più concentrata, al carbone; dopo un breve avvallamento in corrispondenza del secondo conflitto mondiale i grafici hanno ripreso la salita senza più cambiare rotta, parallelamente alla crescita economica e industriale post bellica e al consumo energetico in continuo aumento che immette in atmosfera sempre maggiori quantità di CO₂. A peggiorare l'effetto deleterio delle eccessive immissioni in atmosfera si somma purtroppo la riduzione della capacità naturale di assorbimento di CO₂ tipica delle vastissime foreste della fascia tropicale – America del Sud, Africa Centrale, Borneo – che sono soggette a una crescente e incontrollata deforestazione, per l'utilizzo del legname e per far spazio a nuove infrastrutture e a colture intensive.

Il rapporto tra l'uomo e l'ambiente che lo ospita si è incrinato: stiamo toccando i tasti del termostato della Terra senza aver letto le istruzioni d'uso e ora la situazione è fuori controllo, e nel futuro prossimo non sarà più sostenibile per noi.

Ed ecco la risposta alla prima domanda: sostenibile per noi.

Stiamo attingendo in maniera non sostenibile dal capitale energetico naturale che si è accumulato in milioni di anni grazie alla rinnovabilità determinata dal sole. I cicli biologici, climatici e idrologici sono alimentati infatti dal sole ma con tempi lunghi di rigenerazione, ben più lunghi della velocità con cui ora attingiamo alle risorse frutto di questi cicli rigenerativi. Concetto magistralmente illustrato dallo studio di Mathis Wackernagel e William Rees, teorizzatori dell'"Impronta ecologica" dell'uomo: nell'immagine in alto viene rappresentato a sinistra il grande rubinetto che l'umanità tiene aperto e sta "svuotando" velocemente la sfera terra del capitale accumulato nei milioni di anni passati (uso insostenibile delle risorse), nell'alternativa a destra viene raccolta solo l'acqua che tracima. Un uso sostenibile è quindi un prelievo di risorse non superiore alla capacità di rigenerazione della natura.

Dagli anni '90 in poi – la conferenza di Rio de Janeiro è del 1992 – le nazioni mondiali si sono riunite a più riprese per affrontare insieme l'emergenza e trovare accordi di intervento per conseguire la riduzione della concentrazione della CO₂ in atmosfera. Purtroppo sino ad ora con scarsi risultati pratici: basti pensare ad esempio all'esito deludente del protocollo di Kyoto del dicembre 1997, sottoscritto da 160 nazioni e in vigore dal febbraio 2005, che fissava per ogni paese firmatario obiettivi specifici di riduzione di immissioni annue in atmosfera da conseguire entro il 2012, obiettivi scarsamente raggiunti; o alla conclusione con un nulla di fatto della nuova conferenza di Rio del 2012, a vent'anni dalla prima.

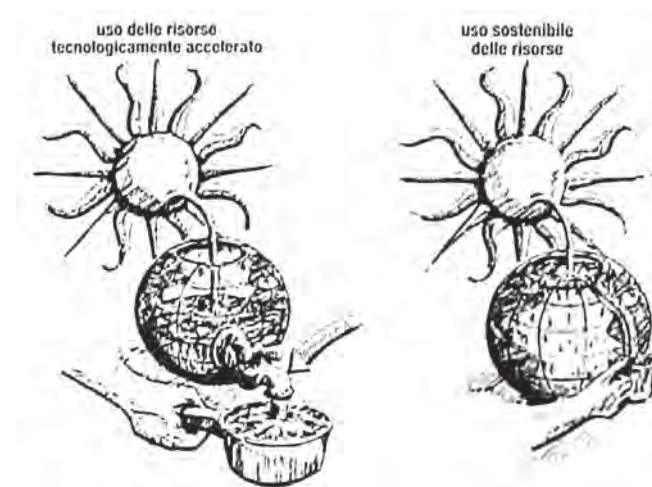


Immagine di Mathis Wackernagel e William Rees

Se a una prima impressione può sembrare che le attività umane che più consumano energia, e che di conseguenza hanno maggiore impatto ambientale, siano l'industria, l'agricoltura e il trasporto, in realtà è il settore edilizio a farla da padrone. Nell'Unione Europea, come si può leggere nella direttiva 2010/31/UE, il settore edilizio è da solo responsabile del 40% del consumo globale di energia, ed essendo in crescita malgrado l'attuale crisi economica, il consumo e le emissioni potrebbero aumentare. Negli altri continenti la percentuale è poco diversa, e questo fa concludere in via generale che riducendo i consumi energetici nel settore edilizio si riuscirebbe a ottenere una consistente riduzione di emissioni di CO₂ in atmosfera.

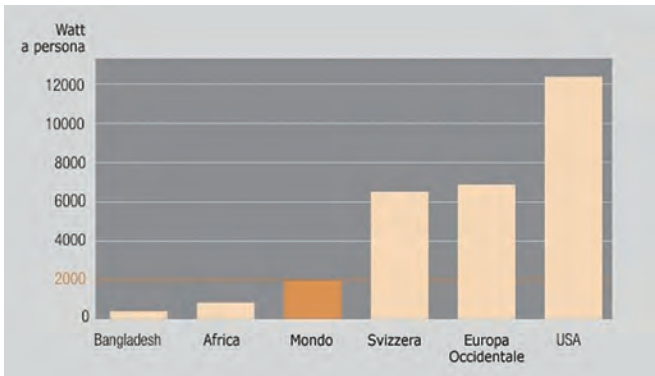
Per affrontare tale emergenza l'Unione Europea, dal canto suo, si è posta da tempo l'obiettivo severissimo di ridurre dell'80-95% le emissioni di gas a effetto serra entro il 2050, rispetto a quelle del 1990, con l'obiettivo intermedio entro il 2020 di migliorare del 20% l'efficienza energetica, ridurre del 20% le emissioni globali di gas a effetto serra e aumentare del 20% l'utilizzo di fonti (veramente) rinnovabili.

Gli strumenti normativi principali per il conseguimento di tali obiettivi sono la citata direttiva 2010/31/UE, detta EPBD (Energy Performance in Buildings Directive) e la più recente 2012/27/UE che ribadisce la priorità del miglioramento del 20% dell'efficienza energetica. Nell'EPBD viene introdotto il concetto di "Edifici a Energia Quasi Zero", e si prescrive che entro il 2020 tutti i nuovi edifici rispettino questo requisito. Per edifici a "energia quasi zero" si intendono edifici con "fabbisogno energetico molto basso o quasi nullo" e che tale fabbisogno sia "coperto in misura molto significativa con energia da fonti rinnovabili, compresa l'energia da fonti rinnovabili prodotta in loco o nelle vicinanze". Non ci sono dubbi sull'interpretazione da dare alla dicitura "edi-

► 1.2 | Concetto di sostenibilità

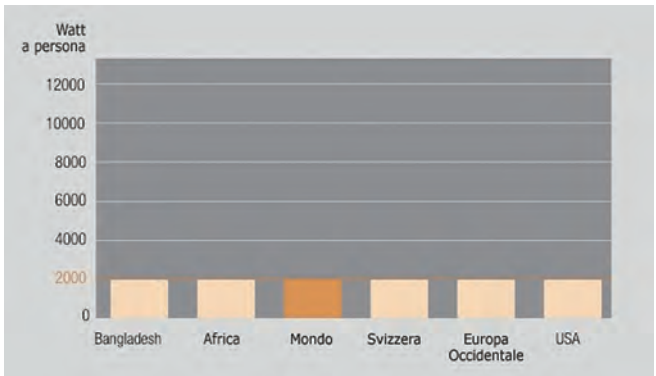
ficio a energia quasi zero”: quasi nullo deve essere il fabbisogno di energia termica utile dell’edificio e, per ottenere ciò, massima deve essere l’efficienza dell’involucro, secondo il principio che l’energia non sprecata è la prima fonte rinnovabile. Infatti la Direttiva EPBD parla di “fabbisogno energetico per il riscaldamento e rinfrescamento” che nella definizione data nel Regolamento Delegato UE n. 244/2012 della Commissione, è “la quantità di calore da fornire a uno spazio condizionato o da estrarre da tale spazio per mantenere le condizioni di temperatura desiderate”, cioè esattamente quello che nella normativa tecnica di riferimento nazionale, la specifica tecnica UNI/TS 11300-1:2008, è definito come “fabbisogno di energia termica (utile)” che rappresenta appunto l’efficienza energetica dell’involucro edilizio.

Al di fuori dell’Unione Europea ma sempre in Europa, e più precisamente in Svizzera, è stata votata a livello di Confederazione la messa in atto della cosiddetta “Società a 2000 Watt”.



Attuale utilizzo di energia nel mondo. Fonte: Società 2000 Watt

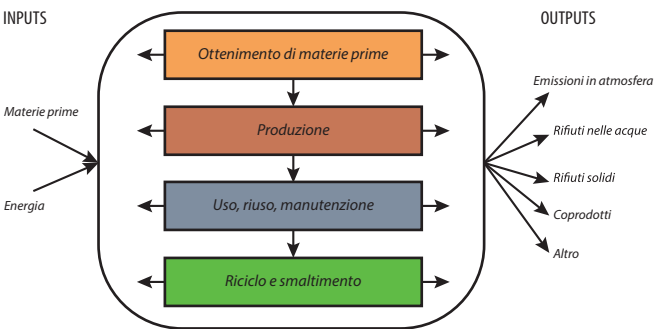
Progetto che si basa sui risultati di ricerche condotte dal Politecnico di Zurigo e Losanna che hanno constatato che l’utilizzo medio pro capite di energia in Svizzera e in Europa è di circa 6000 Watt, cioè ognuno di noi consuma costantemente 3 gocce di petrolio al secondo. Nel mondo ci sono poi paesi come gli Stati Uniti il cui consumo è addirittura di 12-16.000 Watt, cioè 6-8 gocce di petrolio al secondo e paesi molto poveri come il Bangladesh in cui il consumo è di soli 500 Watt, cioè una goccia di petrolio ogni 4 secondi! La Società a 2000 Watt sostiene che per evitare il tracollo energetico e sociale del pianeta si dovrebbe entro il 2050, o più realisticamente entro il 2100, limitare il consumo di tutti i paesi appunto a 2000 Watt pro capite corrispondente alla media mondiale dei consumi attuali. In altre parole si auspica una redistribuzione democratica dell’utilizzo di energia: i paesi spreconi devono ridurre da un terzo a un ottavo i loro consumi e i paesi poveri possono quadruplicare i loro.



Utilizzo di energia nel mondo della Società a 2000 Watt. Rielaborazione di immagine della Società a 2000 Watt

► 1.3 | Sostenibilità degli edifici

La quantificazione dell’effettivo costo in termini di risorse ambientali ed energetiche del settore edilizio deve tener conto, e fare un bilancio complessivo, dei consumi energetici e dei risvolti ambientali di ogni fase del lungo ciclo che caratterizza il processo di costruzione: dall’estrazione delle materie prime, alla loro lavorazione, al loro utilizzo per la creazione dei manufatti e dei componenti, al successivo trasporto in cantiere, al loro assemblaggio durante la costruzione degli edifici, al consumo energetico degli edifici stessi durante il periodo utile del loro uso (50-100 anni), alla loro demolizione o de-assemblaggio, al loro eventuale riuso o riciclo o definitivo smaltimento dei materiali di risulta a fine ciclo.



Fasi del ciclo di vita di un edificio

Ogni edificio ha un contenuto “esplicito” e un contenuto “intrinseco” di energia e di peso ambientale. Quello “esplicito” è quantificabile con i consumi energetici e le relative emissioni nocive facilmente misurabili durante il periodo di utilizzo, e dipende dall’efficienza con cui l’energia viene impiegata sotto varie forme per mantenere in funzione l’edificio stesso (energia termica e frigorifera per la climatizzazione, elettrica per l’illuminazione e l’azionamento di apparecchiature varie). Per quantificare il contenuto “intrinseco” è necessaria un’analisi molto complessa detta Life Cycle Assessment (LCA) che tiene conto di ogni singola fase del ciclo di vita dei materiali (produzione, trasporto, messa in opera, demolizione, riuso, riciclo, smaltimento) per stabilire attraverso diversi indici ambientali il contenuto specifico di risorse e il “peso” ecologico dei materiali e dei sistemi costruttivi, così come definito nella norma ISO 14040, che descrive i principi e il quadro di riferimento per la valutazione del ciclo di vita, la quale deve comunque considerare gli impatti nei confronti della salute umana, della qualità dell’ecosistema, dell’impoverimento delle risorse, nei caratteri economici e sociali.

In particolare la norma comprende la definizione dell’obiettivo e del campo di applicazione della LCA, la fase di inventario, di valutazione dell’impatto, di interpretazione del ciclo di vita stesso, la rendicontazione e la revisione critica della LCA, le sue limitazioni e le correlazioni tra le fasi diverse, nonché le condizioni per l’utilizzo delle scelte dei valori.

In conclusione, la sostenibilità ambientale degli edifici dipende sia dalla loro efficienza energetica – riduzione del contenuto “esplicito” di energia – sia da indici ambientali di basso peso ecologico dei materiali e dei sistemi costruttivi impiegati per la loro realizzazione – riduzione del contenuto “intrinseco” di energia.

Un passo fondamentale sarà definire la cosiddetta unità funzionale, U.F., definita dalla ISO 14040, cioè il prodotto, il servizio o la funzione su cui impostare l’analisi e il confronto con le possibili alternative (kg di prodotto, t di rifiuto trattato, Kwh di energia fornita, trasmittanza termica derivata dall’utilizzo, etc.), fornendo un riferimento per collegare i vari flussi in ingresso e uscita dello schema precedente.

Giunti alla fase di scelta dei materiali da costruzione da impiegare dovremo pertanto affidarci ad alcuni importanti parametri di valutazione:

- i materiali dovrebbero essere possibilmente reperibili in loco;
- dovremmo privilegiare i materiali naturali non nocivi, ossia che non siano stati resi inquinanti da trasformazioni chimiche strutturali;
- in ogni fase di utilizzo e trasformazione è importante che conservino costantemente la propria bio-ecologicità;
- devono comunque essere facilmente riciclabili e riutilizzabili.

Il processo che permette di valutare la sostenibilità ambientale, sociale ed economica di un edificio, sia dal punto di vista energetico che per ciò che attiene il consumo delle risorse ambientali collegate nel processo di realizzazione e di gestione del costruito, è la Certificazione Ambientale, una verifica delle performances di un edificio, o di parte di esso, effettuata da un ente indipendente. In Italia non è obbligatoria ma rappresenta un atto volontario.

Possiamo citare numerosi Enti Certificatori Ambientali riconosciuti che promuovono diversi protocolli e programmi di valutazione:

- Protocollo Itaca
- CasaClima Nature, il Protocollo ambientale dell’Agenzia CasaClima
- Protocollo ecolife ClimAbita: sigillo per edifici prefabbricati in legno
- SB100 e SB10 dell’ANAB (Associazione Nazionale Architetti Bioecologici)
- INBAR Certificazione Energetico-Ambientale (Istituto Nazionale di BioARchitettura)
- LEED Leadership in Energy and Environmental Design - LEED Italia
- Passivhaus
- BREEAM Building Research Establishment Environmental Assessment Method
- DGNB in Germania
- Minergie, standard di costruzione per l’edilizia sostenibile nato in Svizzera
- Norma UNI 11277:2008 “Sostenibilità in edilizia - Esigenze e requisiti di eco-compatibilità dei progetti di edifici residenziali e assimilabili, uffici e assimilabili, di nuova edificazione e ristrutturazione”.



ARCHITETTURA BIOCLIMATICA

Il protocollo di Kyoto, sottoscritto nel 1997, ha posto quale obiettivo futuro il raggiungimento del “piano 20-20-20”: si deve puntare, cioè, alla riduzione entro il 2020 del 20% delle emissioni di gas climalteranti, a un aumento del 20% della quota di energia prodotta da fonti di energia rinnovabili, nonché a un miglioramento del 20% dell’efficienza energetica.



► 2.1 | Analisi climatiche

Per conseguire un rilevante abbattimento degli impatti delle costruzioni sull'ambiente occorre effettuare una progettazione integrata, a basso consumo e basso impatto energetico.

Occorre, in sintesi, utilizzare gli elementi naturali che definiscono il carattere specifico del sito al fine di progettare una costruzione che minimizzi gli apporti artificiali, sfruttando appieno ciò che la natura fornisce gratuitamente.

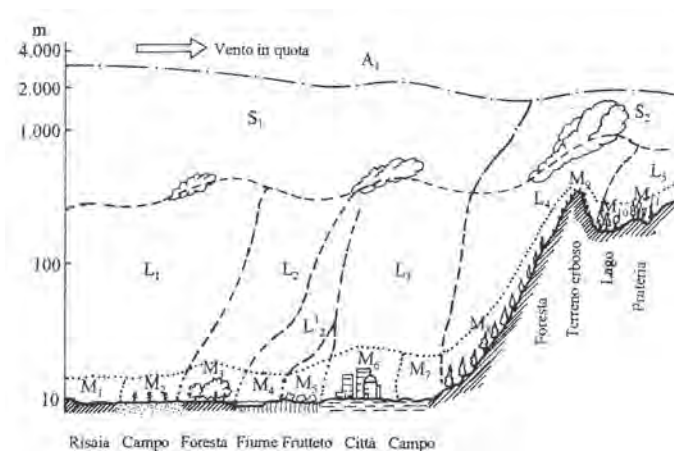
La prima analisi da eseguire è pertanto l'osservazione del clima, definito attraverso fattori meteorologici e geografico-morfologici, per ottenere il benessere negli ambienti edificati con strategie progettuali "passive".

2.1.1 Fattori meteorologici

I fattori meteorologici che caratterizzano il clima di una regione sono essenzialmente la temperatura dell'aria, le precipitazioni, la pressione atmosferica, l'umidità relativa, lo stato del cielo, il regime dei venti e la radiazione solare.

Prima di passare all'analisi dei singoli elementi ricordiamo che diversi autori hanno definito differenti sottosistemi climatici, in funzione dell'estensione spaziale, sia in senso orizzontale che in senso verticale. Abbiamo quindi:

- **Macroclima:** analizza e descrive la circolazione generale dell'atmosfera alla scala continentale e oceanica, per un'ampiezza verticale di circa 12 km;
- **Mesoclima:** analizza e descrive le caratteristiche climatiche a livello subcontinentale, per un'estensione orizzontale dell'ordine di 1000-2000 km e verticale dell'ordine di 3-4 km;



Classificazione del clima in funzione della scala di influenza, secondo Yoshino.

A: macroclima, S: mesoclima, L: topoclima, M: microclima.

Fonte: M. Grosso, *Il raffrescamento passivo degli edifici*.

- **Topoclima:** analizza e descrive le caratteristiche climatiche a scala locale, per un'estensione orizzontale dell'ordine delle decine di chilometri e verticale di 1 km;

- **Microclima:** descrive il clima tipico dell'area di interesse nella progettazione edilizia, quindi estensioni orizzontali di qualche centinaio di metri, e verticali corrispondenti all'altezza media delle piante, in zone extra-urbane, e degli edifici, in zone urbane.

Temperatura dell'aria

Per temperatura dell'aria, in un dato momento e in un dato punto, si intende lo stato termico dell'atmosfera. Il riscaldamento dello strato dell'aria avviene per conduzione e convezione da parte della superficie terrestre. Per studiare l'andamento delle temperature in periodi superiori al giornaliero si rilevano i seguenti valori caratteristici: temperatura media massima, temperatura media minima, temperatura media, temperatura estrema massima, temperatura estrema minima.

A parità di condizioni meteorologiche e topografiche, nelle zone urbanizzate la temperatura dell'aria cambia rispetto alle zone limitrofe non urbanizzate. In aree urbane ed in periodi invernali la temperatura è mediamente superiore di circa 2°C rispetto alla campagna circostante, mentre in estate la differenza può essere più marcata. Questo effetto, noto come "isola di calore", è causato dalla presenza di fonti di calore e dalla capacità di assorbimento e accumulo del calore da parte dei materiali che normalmente si impiegano nelle costruzioni. Nelle zone urbanizzate, inoltre, le differenze di temperatura tra giorno e notte sono minori rispetto alle aree periferiche e naturali, poiché i fabbricati riemettono il calore accumulato nell'arco della giornata.

Precipitazioni

Per precipitazione si definisce ogni forma di acqua atmosferica che raggiunga la superficie terrestre, sia allo stato liquido (la pioggia e la rugiada) che solido (la neve, la grandine, la brina). Di queste si misura la quantità - calcolando lo spessore dello strato di acqua che si formerebbe su un terreno perfettamente piano, senza assorbimento ed evaporazione; viene espressa in millimetri di altezza, corrispondente a un litro d'acqua sulla superficie di 1 mq - e la frequenza - calcolata in numeri di giorni durante i quali si verifica la precipitazione.

Umidità relativa

Viene definita dalla quantità di vapore acqueo contenuto nell'atmosfera. Per umidità atmosferica assoluta si intende la quantità di vapore acqueo contenuto in un metro cubo d'aria in un dato istante. Per umidità atmosferica relativa si intende il rapporto tra la quantità di vapore acqueo contenuto nell'atmosfera e la quantità massima che potrebbe esservi contenuta alla stessa temperatura, in condizione di saturazione. L'umidità relativa, che si esprime

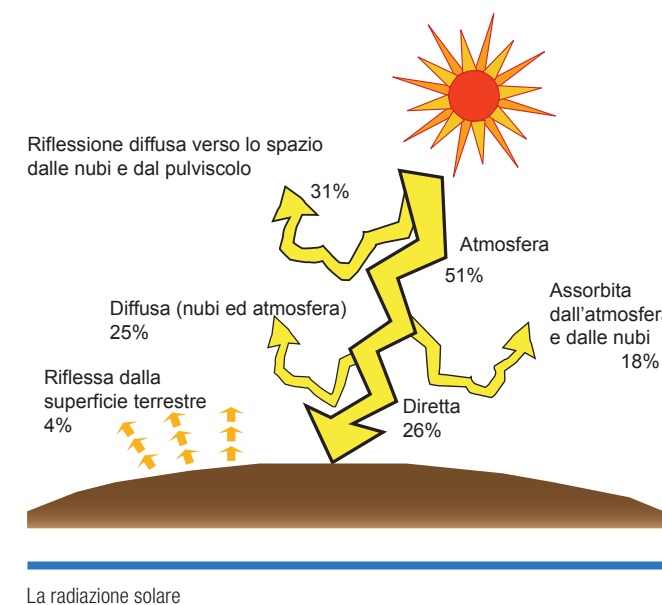
in percentuale, riveste particolare importanza nel condizionamento estivo degli ambienti. Nel periodo estivo, infatti, l'elevato contenuto di umidità dell'aria esterna crea problemi di comfort alle persone. L'umidità relativa e la temperatura dell'aria sono i due parametri più importanti che incidono sul benessere delle persone.

Stato del cielo

Si definisce stato del cielo, in un dato momento e in un determinato punto di rilevazione, la quantità di cielo coperto da nubi. Con un cielo sereno si avranno forti escursioni termiche poiché è permesso il continuo trasferimento di una grande quantità di radiazione solare incidente. Per i motivi opposti, un cielo coperto produce scarsa escursione. In inverno, infatti, una giornata nuvolosa è spesso più calda di una giornata serena in quanto viene limitato il re-irraggiamento attraverso l'atmosfera e quindi la sottrazione di calore dal terreno.

Regime dei venti

Il vento è un movimento d'aria causato dalla presenza di una differenza di pressione nell'atmosfera: tanto è maggiore la differenza di pressione tanto più veloce è lo spostamento delle masse d'aria. Le differenze di pressione possono essere provocate dall'ineguale riscaldamento della superficie terrestre dovuto alla radiazione solare.



La radiazione solare

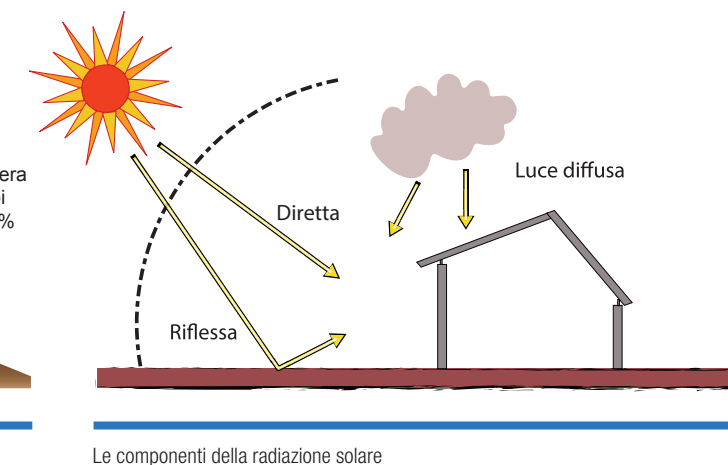
Radiazione solare

La radiazione solare è definita come il flusso di energia emesso dal sole. Attraversando i differenti strati dell'atmosfera terrestre una parte di essa viene riflessa verso lo spazio, una parte viene diffusa in tutte le direzioni, una parte viene assorbita e una parte (denominata radiazione solare diretta) raggiunge la superficie terrestre. La radiazione solare totale che raggiunge la superficie terrestre è data dalla somma della radiazione solare diretta e di quella diffusa. La radiazione totale diretta che giunge al suolo, in parte viene riflessa (effetto albedo) e in parte viene assorbita. La parte assorbita si trasforma in calore e fa aumentare la temperatura dell'aria, del suolo e degli oggetti circostanti.

La quantità di radiazione solare totale corrisponde all'energia termica che giunge dal sole sopra l'unità di superficie orizzontale in un determinato periodo di tempo. Si misura in kWh/mq×giorno o in MJ/mq×giorno.

Pressione atmosferica

È la pressione esercitata da una colonna d'aria al di sopra del punto di misura. Il valore varia in funzione della temperatura e della quantità di vapore acqueo contenuto nell'atmosfera e diminuisce con l'aumentare dell'altitudine, rispetto al livello del mare, del punto in cui viene misurata.



Le componenti della radiazione solare

► | 2.1 | Analisi climatiche

2.1.2 Fattori geografici

Passando all’analisi delle condizioni locali che influenzano la progettazione edilizia ricordiamo quali sono i principali elementi da considerare: avremo i *fattori geografico-morfologici* quali la composizione geologica; l’altitudine; la presenza e posizione di rilievi, in grado di ombreggiare e modificare il regime dei venti; la clivometria dei terreni, capace di influenzare la quantità di energia solare incidente al suolo e le ombre relative tra gli oggetti; l’orientamento dei pendii; la natura del suolo; la presenza del verde, che può influenzare eventuali ombreggiature; la ventilazione; l’inquinamento acustico e la salubrità dell’aria, nonché la presenza di acqua, che può mitigare la temperatura e l’umidità relativa del sito. Particolare attenzione dovrà essere riservata all’analisi dei *caratteri antropici*: come detto in precedenza, l’edificato può alterare significativamente il clima dell’area di interesse attraverso i cosiddetti fenomeni dell’isola di calore. Vediamo alcuni di questi elementi.

Il suolo

La natura del suolo determina importanti ricadute per la temperatura dell’aria, in funzione dello scambio termico che si realizza. Come facilmente si può notare dall’osservazione di tutti i giorni i terreni aridi (sabbiosi o ghiaiosi e quindi privi di acqua di ritenzione dovuta a fenomeni di adesione e di capillarità) determinano temperature più elevate e con minore umidità, mentre i terreni umidi (argillosi o acquitrinosi) si accompagnano a temperature più basse ma con elevata umidità relativa. Un terreno spoglio è responsabile di notevoli escursioni termiche giornaliere, poiché risulta assente uno strato vegetale che trattienga parte del calore ricevuto, mentre un terreno erboso, in estate, ha la capacità di assorbire la radiazione solare attivando processi di evaporazione che abbassano la temperatura dell’aria. Ricordiamo ancora che ogni tipo di suolo o vegetazione ha caratteristici valori di albedo. Per effetto

Tipo di superficie	Albedo
neve	0,75
superfici con mattoni chiari o intonaci chiari	0,60
superfici in mattoni o intonaci scuri	0,27
boschi in autunno	0,26
cemento consumato	0,22
superfici in pietra	0,20
terreni di varia natura, argilla	0,14
superfici con bitume e pietrisco	0,13
asfalto consumato	0,10
specchio d’acqua, boschi di conifere in inverno	0,07

albedo si intende la quota di radiazione solare diretta e diffusa che viene riflessa dal terreno e dagli oggetti circostanti, e che ha importanti connotazioni nel dimensionamento degli impianti solari.

I corpi d’acqua

Come brevemente accennato, in assenza di corpi d’acqua significativi si hanno temperature più alte e maggiori escursioni termiche giornaliere e annuali. Viceversa, quando è predominante la massa d’acqua rispetto al terreno, la temperatura è più bassa e le escursioni più contenute. Il fenomeno è provocato dalla diversa capacità termica, ossia dalla capacità di immagazzinare calore, che ha il suolo rispetto all’acqua. Nella stagione estiva le masse d’acqua abbassano la temperatura massima ma incrementano il valore di umidità relativa.

La vegetazione

Essa si comporta come un’ostruzione esterna che scherma la radiazione solare e limita gli scambi radiativi verso la volta celeste, trattenendo parte del calore accumulato. La presenza di aree verdi limita la quantità di radiazione riflessa e funge da regolazione delle temperature. Nel caso di grandi masse arboree si ha inoltre la formazione di brezze notturne e mattutine simili a quelle delle zone costiere.

2.1.3 Fasi termiche

Passando ad analizzare come l’ambiente circostante si relaziona con il costruito, primo passo verso una progettazione bioclimatica, dovremo considerare quali sono le influenze stagionali e le conseguenti variazioni climatiche che determinano particolari richieste termiche dell’edificio. Alle nostre latitudini si possono distinguere tre fasi termiche a cui corrispondono diversi requisiti dell’edificio:

- **Invernale:** occorre favorire l’irraggiamento solare sulle pareti e le finestre per riscaldare e illuminare gli ambienti interni, ricercando un elevato isolamento termico per conservare il calore accumulato.
- **Estivo:** bisogna proteggere l’edificio dall’irraggiamento solare con sistemi di ombreggiamento. Con una massa elevata delle murature si può attenuare e ritardare nel tempo il flusso di calore entrante nel fabbricato, eventualmente sfruttando la ventilazione naturale interna in grado di smaltire l’eccesso di calore accumulato.
- **Stagioni Intermedie:** richiedono la combinazione di soluzioni che siano in grado sia di raffrescare che di riscaldare.

► | 2.2 | La progettazione climaticamente bilanciata con strategie passive

Una progettazione bilanciata serve per realizzare edifici termicamente efficienti in grado di soddisfare i requisiti di comfort termico controllando il microclima interno, minimizzando l’uso di impianti meccanici e massimizzando l’efficienza degli scambi termici tra edificio e ambiente. Si parlerà di tecniche basate sull’uso passivo dell’energia solare per il riscaldamento, il raffrescamento, la ventilazione e l’illuminazione naturale dei vari ambienti interni. I nostri studi dovranno quindi partire da un’analisi del sito e del microclima in cui si opera, valutando quali sono gli effetti positivi e negativi che potranno manifestarsi sul futuro edificio, cercando di sviluppare le possibili tecniche passive, da integrare con adeguate soluzioni tecniche attive, da combinare all’interno di un adeguato progetto architettonico.

Localizzazione e orientamento

Nel caso di nuove abitazioni, quando è possibile scegliere il luogo di costruzione, dovremo valutare la topografia del luogo e la presenza di ostacoli al fine di sfruttare gli apporti solari per il riscaldamento invernale, l’illuminazione e la ventilazione naturale per il raffrescamento estivo. L’orientamento indica il punto cardinale verso il quale è rivolta

la facciata di un edificio; nel caso di edificio a sviluppo lineare, indica la posizione, rispetto ai punti cardinali, delle due facciate a sviluppo prevalente. Per definire l’orientamento solare corretto di un edificio fu introdotto, all’inizio del Novecento, l’asse elioteramico, proposto da Rey, Pidoux e Bardet. Esso rappresenta la direzione secondo cui si verificano, rispettivamente a NNE e a SSO, il minimo e il massimo valore dell’indice elioteramico. Alla nostra latitudine l’asse elioteramico è inclinato di 18° - 19° a Est del Nord.

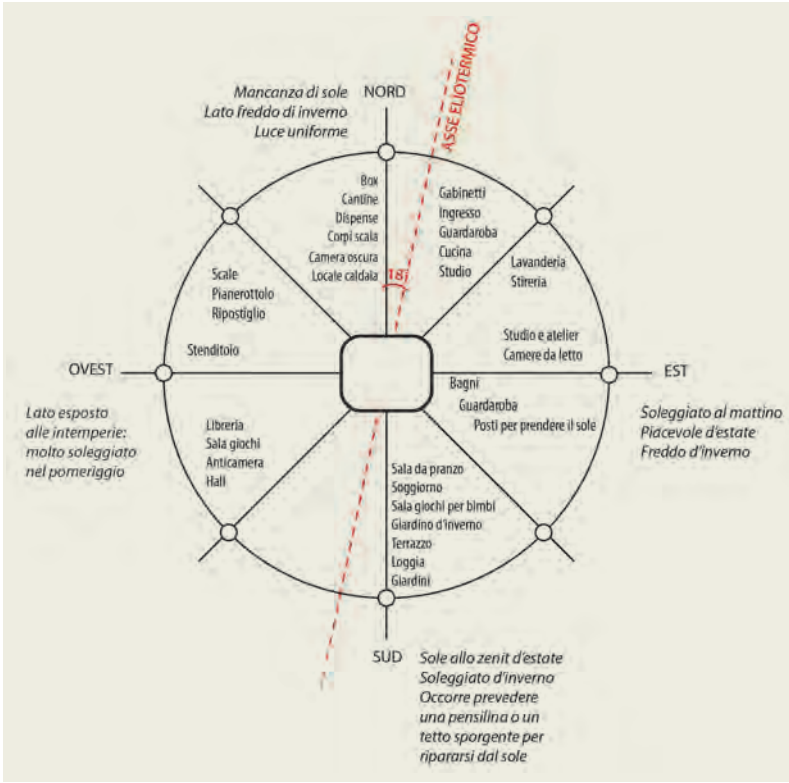
La progettazione bioclimatica impone però di analizzare le differenti caratteristiche tipologiche e distributive dei fabbricati con l’orientamento stesso. In presenza di fabbricati di forma allungata lungo l’asse Est-Ovest si avrà che durante il periodo invernale sarà massimo lo sfruttamento dei guadagni gratuiti (massima insolazione sul lato sud) mentre nel periodo estivo saranno i lati est ed ovest a subire il riscaldamento. Diversi studi ci dicono, inoltre, che nel periodo invernale il lato sud riceve mediamente circa il triplo della radiazione solare rispetto ai lati esposti ad est e ad ovest, senza differenze sostanziali al variare della latitudine.

Importante sarà considerare la necessità di calore solare durante le prime ore della giornata, invece non desiderato nel tardo pomeriggio. Particolare attenzione andrà riservata alle regioni già particolarmente surriscaldate.

Forma dell’edificio e rapporto superficie/volume

La forma del fabbricato risulta di fondamentale importanza nello scambio termico tra ambiente interno ed esterno: in caso di edifici con forme molto irregolari e quindi in presenza di elevate superfici disperdenti (pareti di separazione tra interno riscaldato ed esterno non riscaldato) saranno massime le dispersioni di calore.

Per valutare questo aspetto si introduce il cosiddetto rapporto di forma, che rappresenta un indice della compattezza dell’edificio. Esso è definito dal rapporto S/V in cui il termine S rappresenta la somma delle superfici disperdenti (superfici verso ambienti non dotati di impianto di riscaldamento) e V è il volume complessivamente riscaldato. Con bassi valori dell’indice S/V avremo una struttura compatta e pertanto saranno minori le dispersioni, e quindi le richieste di apporti energetici, a parità di volume riscaldato. A parità di volume riscaldato, se incrementiamo la superficie disperdente complessiva andremo a favorire le dispersioni termiche globali del fabbricato.



Suggerimenti per la collocazione degli ambienti e asse elioteramico

► | 2.2 | La progettazione climaticamente bilanciata con strategie passive

Le forme compatte permettono di ottimizzare la conservazione del calore mentre aggetti porticati o balconi e volumetrie irregolari favoriscono le dispersioni, rendendo necessario l'apporto di maggior energia per riequilibrare il tutto. Parimenti, abitazioni contigue riscaldate sono termicamente più vantaggiose rispetto a case indipendenti. Anche le abitazioni che si sviluppano su più livelli, a parità di superficie, presentano minori dispersioni rispetto a quelle su un unico livello. Questo non significa che non si possano costruire edifici architettonicamente articolati e allo stesso tempo efficienti: va però tenuto conto che in questi casi sarà necessario coibentare molto di più che per un volume compatto. L'effetto è particolarmente sensibile per piccoli edifici che raramente riescono ad avere un rapporto di forma inferiore a 0,7 m²/m³ e molto meno per i grandi edifici che facilmente hanno un rapporto di forma minore di 0,5-0,4 m²/m³. Ricordiamo che le forme libere favoriscono gli scambi termici e la ventilazione naturale nei climi caldo umidi. Inoltre, lo stesso volume:

- sistemato in verticale (torre) avrà un guadagno termico maggiore in inverno;
- sistemato in orizzontale (schiera) avrà un guadagno termico maggiore in estate.

In funzione della natura del terreno, ad esempio se questo è in pendenza, si può valutare l'interramento di una parte della costruzione. Infatti, un locale interrato isolato termicamente ha una temperatura mite in inverno e fresca durante l'estate, per cui si riduce il fabbisogno in termini di riscaldamento o climatizzazione.

Collocazione degli spazi interni

Di fondamentale importanza è anche la distribuzione degli ambienti interni: vanno considerati i percorsi orizzontali e verticali, cercando un compromesso tra lo sfruttamento degli apporti solari e la distribuzione delle singole unità abitative. Nei climi molto freddi occorre posizionare gli spazi serviti all'interno dell'edificio, mentre nei climi temperati è consigliabile l'esposizione a sud per gli ambienti più usati, che hanno il massimo fabbisogno di riscaldamento e di illuminazione, cercando di limitare la profondità del corpo di fabbrica per poter usufruire della luce naturale, al limite impiegando tecnologie per sfruttarla, piuttosto utilizzando le aree a nord per gli spazi serventi e disponendo ambienti di filtro tra le due zone. Per latitudini superiori a 35° N, e in particolare per la situazione italiana, possiamo avere una serie di collocazioni raccomandate per i differenti locali come riportato nella precedente figura.

Riscaldamento

Analizzando la fase del riscaldamento si andranno a minimizzare o ridurre le perdite o le dispersioni di calore attraverso l'involucro, rendendo massimi gli apporti o guadagni gratuiti.

Le perdite di calore verranno quindi ridotte con un adeguato isolamento termico della struttura, eliminando i ponti termici e agendo sulla compattezza dell'edificio. Per le perdite di calore per ventilazione, causate dal necessario ricambio di aria negli ambienti, potrà essere utilizzato, ad esempio, un sistema di ventilazione controllata con recupero del calore. Per incrementare i guadagni gratuiti occorrerà sfruttare i guadagni solari, ossia dovuti alla radiazione solare, e i guadagni interni, prodotti da dispositivi elettrici, apparecchi di illuminazione, nonché dalla presenza degli occupanti, in funzione della loro stessa attività. È importante costruire l'edificio con un materiale che durante il giorno riesca ad accumulare calore per poi rilasciarlo durante la notte. La capacità di una sostanza di accumulare energia termica è chiamata calore specifico, definito come la quantità di calore (misurato in kcal, J o Wh) che un kg di quella sostanza riesce a trattenere quando la sua temperatura viene elevata di 1°C, o al tempo stesso, la quantità di calore che occorre fornire affinché un kg di quella sostanza elevi la sua temperatura di 1°C.

Sistemi solari passivi

Sono essenzialmente basati sull'effetto serra, fenomeno per il quale la radiazione solare attraversa una superficie vetrata per essere poi trattenuta da un corpo opaco collocato posteriormente che, riscaldandosi, emette una differente radiazione (a differente lunghezza d'onda) la quale non è in grado di compiere il passaggio inverso e quindi riattraversare la suddetta superficie trasparente. Il fenomeno sfrutta una proprietà dei sistemi vetrati che permette il passaggio di tutta la radiazione solare visibile incidente sulla superficie e assorbe la maggior parte della radiazione termica intercettata. Sarà quindi necessario avere:

- una **parete vetrata** rivolta a sud per la captazione solare;
- una **massa termica** per l'assorbimento, l'accumulo e la distribuzione del calore.

La captazione dell'energia potrà avvenire per:

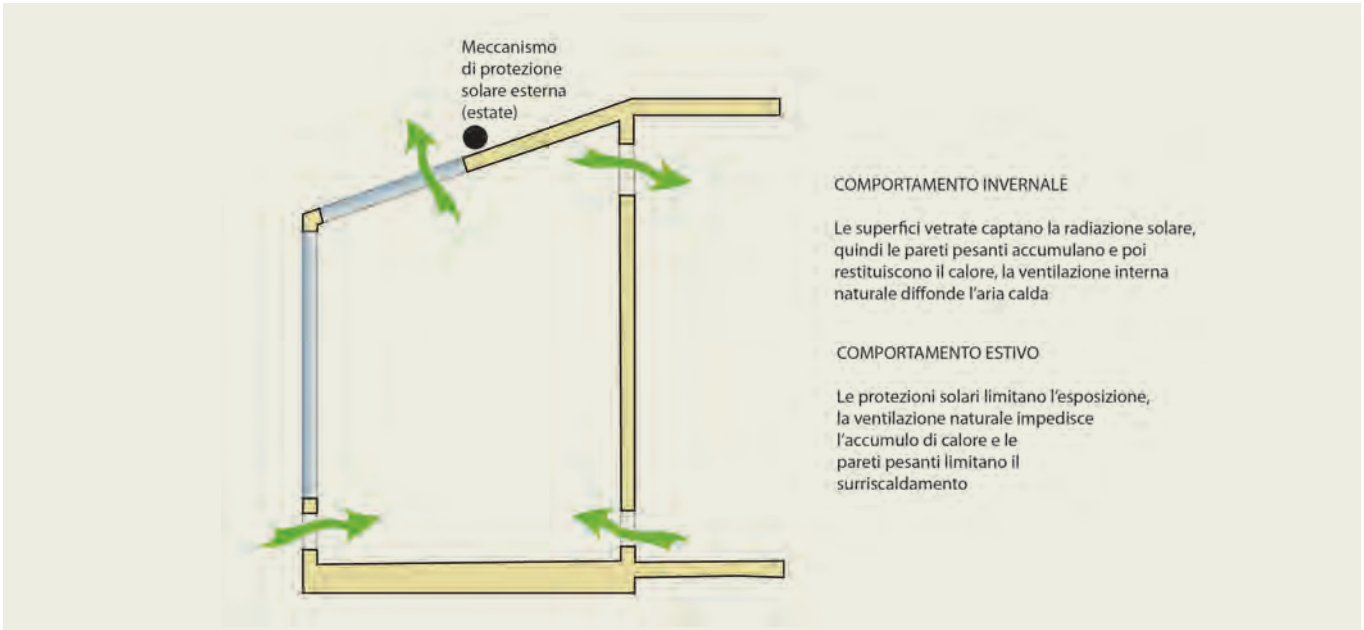
- **guadagno diretto**, quando la radiazione solare penetra direttamente all'interno dello spazio abitato e viene poi immagazzinata da masse termiche - pareti, soffitti e pavimenti - in grado di assorbire e accumulare calore. Tali sistemi permettono di captare anche minime quantità di energia solare - diretta o diffusa - che passano attraverso la vetratura.
- **guadagno indiretto**, quando la radiazione solare colpisce una massa termica collocata tra il sole e lo spazio abitato. L'energia solare viene assorbita direttamente dalla massa, convertita in energia termica, per poi essere trasmessa allo spazio abitato.
- **guadagno isolato**, nel caso in cui si abbia la separazione tra il gruppo costituito da accumulatore termico e captazione solare rispetto agli spazi abitati.

La serra solare addossata costituisce un esempio di combinazione di sistemi a guadagno diretto e indiretto. È costituita da uno spazio chiuso, separato dall'ambiente esterno mediante pareti vetrata e collegato alla costruzione. La copertura può essere vetrata oppure opaca, in funzione delle richieste termiche (e quindi della latitudine). Il sistema viene riscaldato direttamente dai raggi del sole, per cui funziona come un sistema a guadagno diretto, ma si ha un muro che si comporta come elemento termoaccumulatore, deputato ad assorbire la radiazione solare che riemette sotto forma di calore (e quindi a differente lunghezza d'onda) all'ambiente costruito. Nel periodo estivo diventa quasi obbligatorio prevedere adeguati sistemi schermanti e di aerazione al fine di ridurre fenomeni di surriscaldamento. A tal fine occorrerebbe prevedere vetrate apribili che permettano lo sfruttamento della ventilazione naturale della serra solare.

Fondamentale è anche la scelta dei materiali per le parti destinate all'accumulo del calore e alla cessione di questo nelle ore fredde: pavimentazione e pareti devono avere una buona inerzia termica.

Schermature solari

Le vetrate rivolte a sud, realizzate per massimizzare il guadagno solare durante l'inverno, d'estate porteranno ad un eccessivo riscaldamento degli ambienti. Si potranno allora utilizzare schermature fisse e mobili. Quelle fisse sono realizzate a mezzo di aggetti orizzontali collocati sopra la vetratura verticale. La lunghezza ottimale dell'aggetto dipende dall'altezza della finestra, dalla latitudine e dal clima: maggiore è l'altezza dell'apertura, maggiore deve essere la lunghezza dell'aggetto.



Esempio di serra solare

Sistemi solari	Controllo dell'abbagliamento	Controllo della luce	Protezione da radiazione solare	Isolamento termico	Protezione da fenomeni atmosferici
aggetti	-	-	-	-	+
frangisole verticali fissi	0	0	+	-	-
frangisole orizzontali fissi	+	0	+	-	-
frangisole mobili	+	0	+	-	0
tende	+	-	+	-	-
avvolgibili	+	-	+	+	-
persiane	+	-	+	+	-

Le prestazioni delle schermature solari

+ Prestazione buona 0 Prestazione sufficiente - Prestazione insufficiente

► 2.2 | La progettazione climaticamente bilanciata con strategie passive



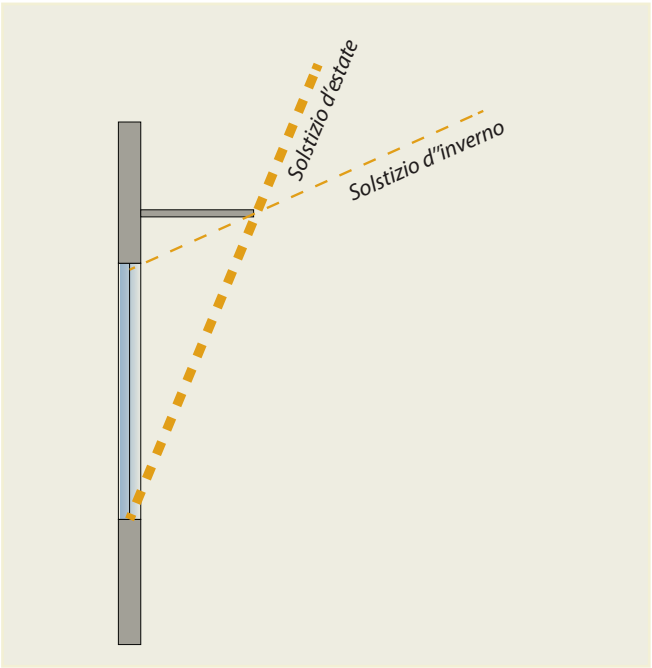
Esempio di protezione solare

Isolanti mobili interni

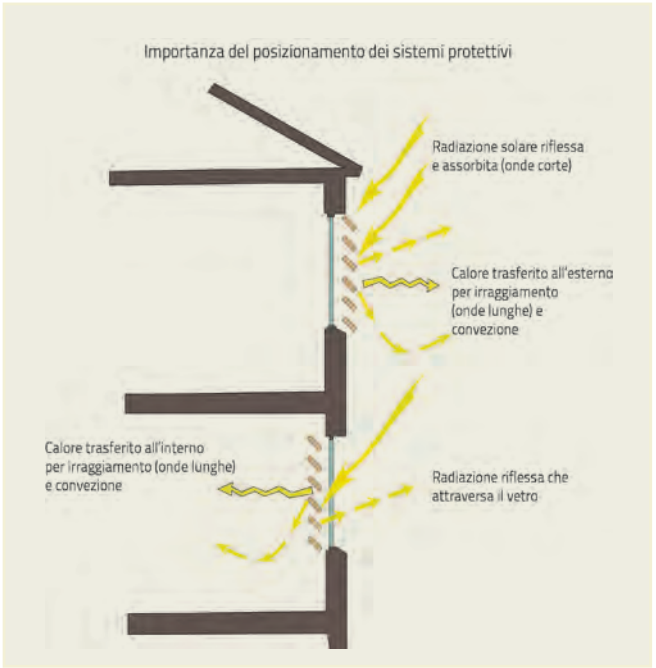
Alcuni esempi di comuni schermi mobili interni sono i tendaggi e gli scuretti isolanti. Con l'uso di tali sistemi occorre prestare attenzione per evitare fenomeni di condensa sui vetri: occorre, infatti, rimuovere l'isolamento durante il periodo di soleggiamento al fine di evitare che eventuali stress termici determinino la rottura del vetro stesso.

Isolanti mobili esterni

Tali sistemi devono essere progettati per resistere ai fenomeni atmosferici quali pioggia, vento, ghiaccio e raggi ultravioletti. Sono collocati sul lato esterno dei sistemi vetrati al fine di evitare il trasferimento di calore all'interno del locale, riducendo quindi i fenomeni di surriscaldamento, condensa e possibili stress termici dei vetri. Inoltre dovrebbero creare uno strato verticale di aria ferma, tramite un opportuno dimensionamento e adeguate sigillature dei battenti, al fine di avere un buon isolamento termico invernale.



Schema di funzionamento degli aggetti



Schema di schermature interne ed esterne

Massa termica

La massa termica è utile per limitare il surriscaldamento estivo, regolando i picchi di temperatura. L'accumulo termico rappresenta la capacità dei materiali di assorbire il calore, di accumularlo per un certo periodo di tempo e di restituirlo all'ambiente circostante quando questo si è raffreddato. La capacità di accumulo termico dipende da:

- calore specifico;
- conduttività termica;
- densità o massa volumica.

Il prodotto del calore specifico (unità di misura: $J/kg \times K$) per la massa volumica si definisce capacità termica.

Il funzionamento della massa termica consiste sinteticamente nel "caricarsi" e "scaricarsi" di energia con cadenza giornaliera. Vi è però un limite alla reale capacità di accumulo interno, derivante dalla profondità massima di penetrazione dell'energia termica negli elementi di accumulo (solai, pareti esterne, divisori, etc.): nel corso delle 24 ore tale profondità non supera, mediamente, gli 8-10 cm. Superando tali valori non si avranno reali benefici per ciò che riguarda la capacità di accumulo termico della struttura.

Inoltre, andando a sovradimensionare la massa termica essa richiederà un'eccessiva quantità di energia per riscaldarsi durante i periodi di insolazione, mantenendo pressoché costante la sua temperatura durante tutto il giorno.

Disponendo invece di una massa termica troppo ridotta, il possibile riscaldamento della stessa sarebbe troppo rapido, senza sfruttare tutto il periodo di insolazione, rilasciando altrettanto velocemente il calore accumulato, e quindi non nel periodo notturno di reale fabbisogno.

Sarà quindi necessario procedere al dimensionamento della massa termica in funzione della quantità di radiazione solare incidente: al variare della latitudine avremo la necessità di una differente quantità di massa, maggiore al diminuire della latitudine stessa.

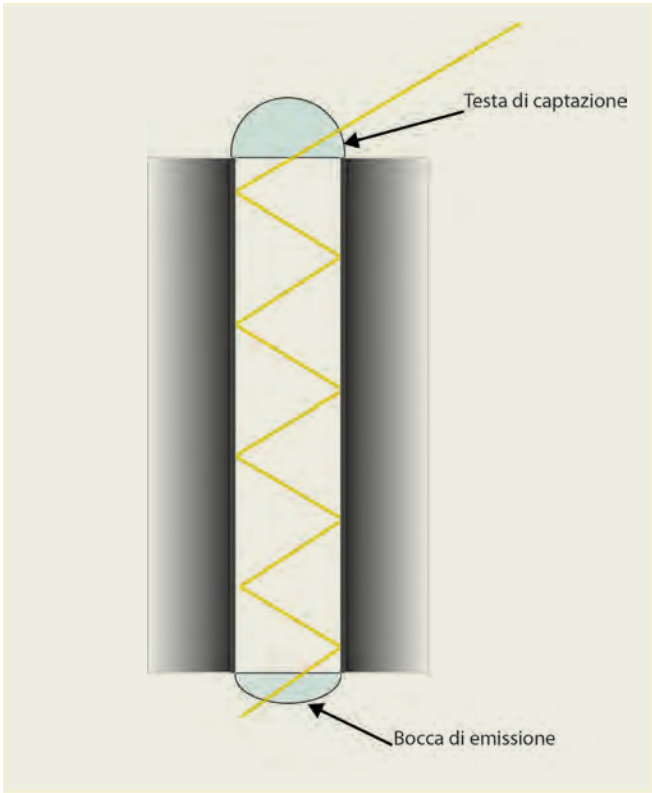
I materiali migliori sono quelli che associano elevati valori di calore specifico e peso specifico poiché sono in grado di aggregare molta energia in poco spazio.

Le murature massicce in laterizio e i solai in calcestruzzo hanno una capacità termica elevata, rilasciando il calore accumulato durante il giorno, con un certo tempo di ritardo (sfasamento) rispetto al periodo di massimo carico termico esterno (ore più calde della giornata), attenuando al contempo l'entità stessa dell'onda di calore entrante (attenuazione).

Strutture leggere, invece, presentano valori di sfasamento e di attenuazione troppo ridotti.

Illuminazione naturale

Dovendo limitare l'uso dell'illuminazione artificiale occorre procedere a una progettazione della luce naturale, operazione che può risultare complessa in zone fortemente urbanizzate per la presenza di edifici vicini o in caso di locali siti ai piani bassi. Le soluzioni possibili sono generalmente l'inserimento di atri e guide di luce. Per i piani alti si può procedere con l'illuminazio-



Esempio di condotto di luce

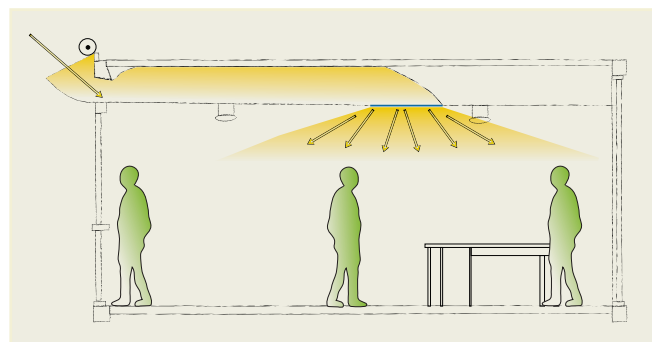
ne zenitale (dall'alto), eventualmente integrando le possibilità di illuminazione laterale.

Ai sistemi esterni, quali i frangisole, si possono abbinare sistemi di produzione di energia rinnovabile con idonei sistemi fotovoltaici. In presenza di ambienti a uso discontinuo, spesso privi di aperture, o con distribuzioni planimetriche complesse (locali posti a elevata distanza dall'esterno) si possono utilizzare sistemi di trasporto della luce naturale al fine di recuperare le normali condizioni di comfort.

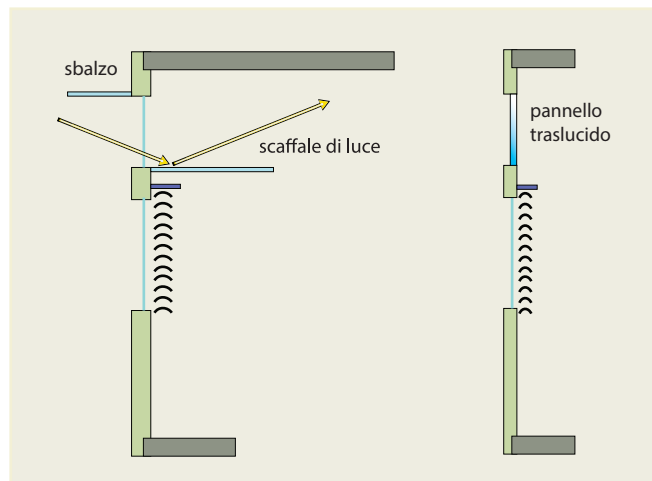
Utilizzando tali sistemi di trasporto della luce naturale avremo benefici anche dal punto di vista di risparmio energetico, andando a ridurre i consumi elettrici per una minore necessità di corpi illuminanti, con una conseguente riduzione degli apporti di calore nel periodo estivo, causa dell'utilizzo dei sistemi di condizionamento.

► 2.2 | La progettazione climaticamente bilanciata con strategie passive

Il condotto di luce permette, infine, di utilizzare locali interrati o parzialmente interrati.



Esempio di *anidolic ceiling*



Altri sistemi per il trasporto della luce

I sistemi per la captazione e il trasporto della luce naturale possono essere divisi in due categorie: sistemi mobili (o attivi) e sistemi fissi.

I sistemi mobili comprendono sistemi attivi, tecnologicamente molto complessi, per la captazione e la concentrazione dei raggi solari e hanno la caratteristica di essere sempre orientati nella direzione del sole. Non sono adatti ad applicazioni di tipo standard, avendo alti costi di costruzione, gestione e manutenzione mentre possono essere impiegati per interventi su larga scala o scientifico-dimostrativi.

I sistemi fissi, meno costosi dei precedenti, sono caratterizzati da un captatore, studiato per facilitare l'ingresso della luce solare, sia della componente diretta che di quella diffusa, a seconda dei differenti modelli impiegati. Importante risulta anche il materiale utilizzato sia come rivestimento del suddetto captatore

che del condotto vero e proprio. Il sistema dovrà quindi permettere adeguati livelli di luce naturale durante le varie stagioni, ottenuti ottimizzando la geometria del captatore.

Ricordiamo ancora i *light pipes*, ossia i condotti per il trasporto della luce, rivestiti di materiale TIR (Total Internal Reflection - riflessione interna totale). Essi sono costituiti da differenti superfici specchianti, automatizzate per seguire il percorso del sole, le quali permettono di redirigere la luce solare nei condotti stessi. Il sistema può anche essere collegato a sorgenti di luce artificiale per mantenere l'illuminazione anche in caso di maltempo e nelle ore notturne.

Ventilazione

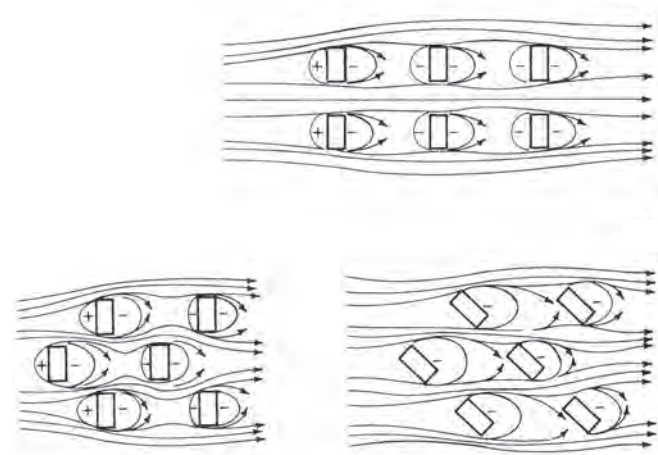
Mediante la ventilazione si può sostituire, parzialmente o totalmente, l'aria "viziata" di uno spazio con aria pulita, garantendo la qualità dell'aria nell'ambiente.

La ventilazione naturale viene ottenuta senza l'utilizzo di ventilatori, ma attraverso il vento e l'effetto camino.

In presenza di elevato carico termico interno (nel periodo estivo o per ambienti come uffici e locali commerciali) la ventilazione favorisce il raffrescamento, sempre se attuata in condizioni di temperatura dell'aria non superiori ai limiti della zona di comfort, in genere prevista attorno a 26 °C.

Direzione del vento e disposizione delle abitazioni

Come descritto da diversi autori, gli edifici disposti perpendicolarmente alla direzione del vento ricevono sul lato esposto il pieno impatto dell'aria. Se invece essi sono disposti a 45°, la velocità del vento si riduce del 50%. Le file di edifici posti



Esempi di andamento dei flussi d'aria. Fonte: M. Grosso, *Il raffrescamento passivo degli edifici*.

tra di loro a una distanza pari a sette volte le rispettive altezze assicurano un soddisfacente effetto di ventilazione per ciascun edificio. Una disposizione a unità alternate sfrutta, invece, l'andamento rimbalzante del vento.

Le forze che producono una ventilazione naturale all'interno degli edifici si possono classificare in:

- movimenti d'aria prodotti da differenze di pressione;
- ricambi d'aria causati da una differenza di temperatura.

Ventilazione per differenze di pressione

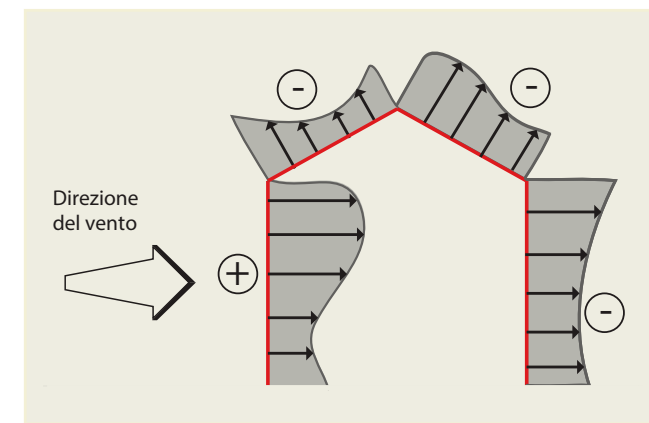
Il fenomeno dipende fortemente dalla geometria dell'edificio mentre è indipendente dalla velocità dell'aria.

Avendo un edificio investito da una corrente d'aria si creeranno un lato sopravento e un lato sottovento, come indicato dalla figura sottostante.

La differenza di pressione andrà a originare una corrente d'aria che, in presenza di opportune aperture nell'edificio, interesserà i locali interni.

Si avrà cura di disporre l'apertura di ingresso sul lato sopravento (a maggiore pressione) e quella di uscita sul lato sottovento (a minore pressione).

A parità di corrente circolante, dimensionando opportunamente l'area di ingresso, si avrà un incremento o un decremento della velocità di circolazione dell'aria. Nel caso del raffrescamento estivo sarà essenziale ottenere una sufficiente velocità piuttosto che incrementare i ricambi d'aria.



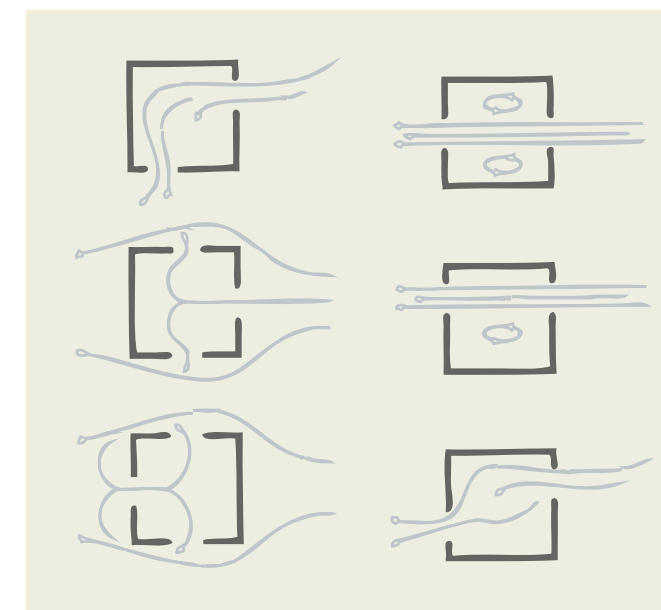
Pressioni indotte dalla ventilazione

Ventilazione a lato singolo

In questo caso la ventilazione viene instaurata grazie alla presenza di aperture poste su un solo lato della costruzione ma la portata di aria circolante risulta ridotta, soprattutto in presenza di un'unica finestrazione.

Ventilazione passante orizzontale

Il fenomeno si origina in presenza di aperture poste su pareti opposte o adiacenti, alla stessa altezza dal piano del pavimento. La portata d'aria ottenuta dipende dall'area netta di apertura, dall'angolo di incidenza del vento sul piano dell'apertura e dalla differenza di pressione tra le due aperture.



Esempi di ventilazione naturale con andamento dei flussi d'aria

Ventilazione per differenza di temperatura (effetto camino)

Il principio, alla base dell'uso di soffitti alti per climi caldi, sfrutta la differente densità della colonna d'aria dovuta a diverse temperature interne ed esterne.

Una massa d'aria calda presente all'interno di un locale tenderà a portarsi verso l'alto, poiché meno densa, permettendo l'ingresso, tramite un'apertura posta a poca altezza dal pavimento, di aria più fredda (e più densa) proveniente dall'esterno.

Collocando un'opportuna apertura nella parte alta dei locali potremo originare un flusso di aria in uscita, sino a che le condizioni iniziali di diversità di temperatura vengono mantenute.

Per calcolare il cosiddetto tiraggio naturale bisogna avere a disposizione i valori di densità dell'aria all'interno dell'edificio, cal-

► 2.2 | La progettazione climaticamente bilanciata con strategie passive

colabile come la densità dell'aria a 0 °C moltiplicato per un coefficiente dipendente dalla temperatura, espresso in gradi centigradi. Si definisce poi la pressione statica ricercata, espressa in Pascal, tramite la formula:

$$P = H \times g \times (d_{\text{esterno}} - d_{\text{edificio}})$$

dove

H = altezza espressa in m del "camino"

g = accelerazione di gravità pari a 9,81 m/s²

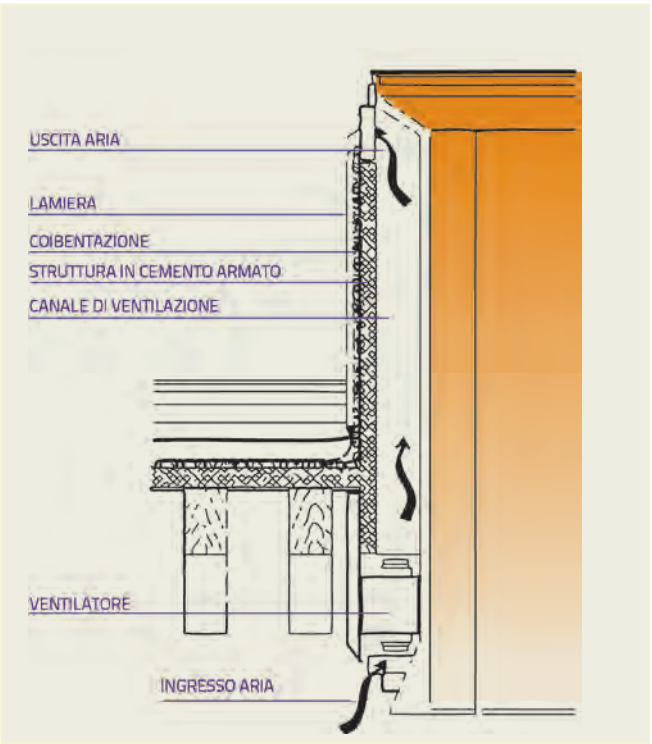
d_{esterno} = densità dell'aria alla temperatura esterna

La densità dell'aria esterna dipende anche dalle condizioni climatiche oltre che dalla temperatura, senza contare poi le perdite dovute ad attriti e dispersioni termiche lungo il condotto, che possono modificare la pressione di tiraggio lungo il percorso. Il cosiddetto "camino solare" sfrutta l'effetto della convezione naturale sommato all'effetto camino ed è utile sia per il rinfrescamento estivo che per il riscaldamento invernale. Avendo cura di collocare a sud una parete vetrata priva di ostacoli e dotata di un'apertura alla base, potremo realizzare un si-

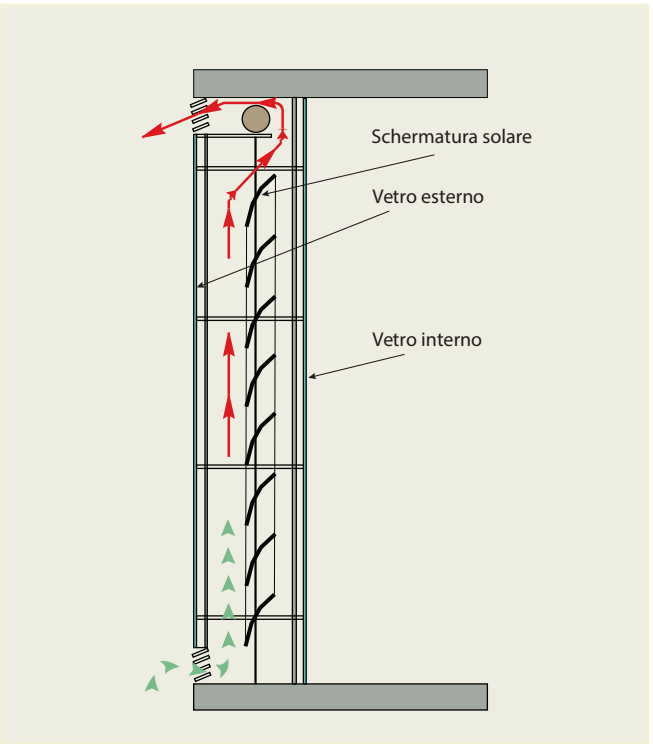
stema in cui l'aria viene riscaldata dall'insolazione naturale, per poi diminuire di densità, portandosi verso l'alto e richiamando dal basso nuova aria fresca. Avremo, cioè, un flusso d'aria che determinerà un raffrescamento estivo. Nel periodo invernale, al contrario, tramite opportune chiusure sarà possibile sfruttare il calore prodotto all'interno dell'edificio per riscaldare i vari locali facendo circolare tali masse di aria calda. Se risulta possibile sfruttare tutta l'altezza di un edificio, a più piani, si ottengono buoni risultati, anche dal punto di vista del risparmio energetico.

Anche per la ventilazione naturale da effetto camino, si possono avere due sistemi di flusso:

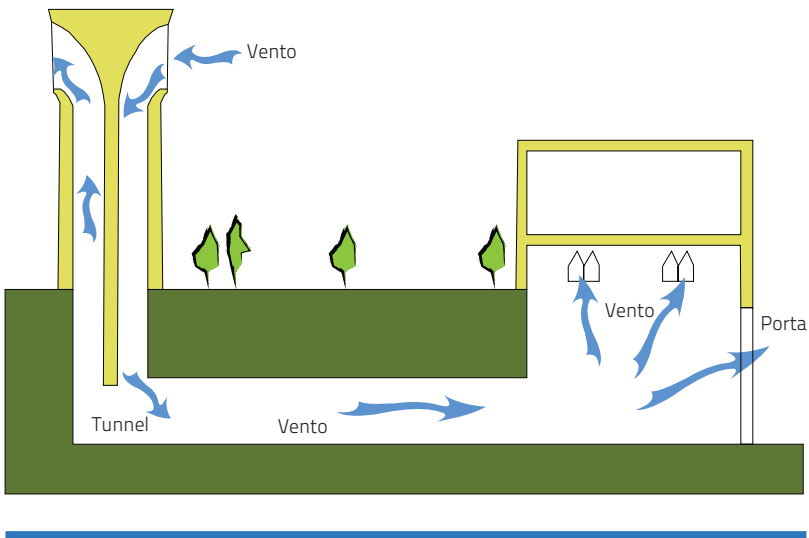
- ventilazione a lato singolo, quando le aperture multiple sono poste ad altezze differenti, ma collocate sulla stessa parete esterna;
- ventilazione passante (verticale), quando le aperture multiple, poste ad altezze differenti, sono collocate su pareti esterne diverse.



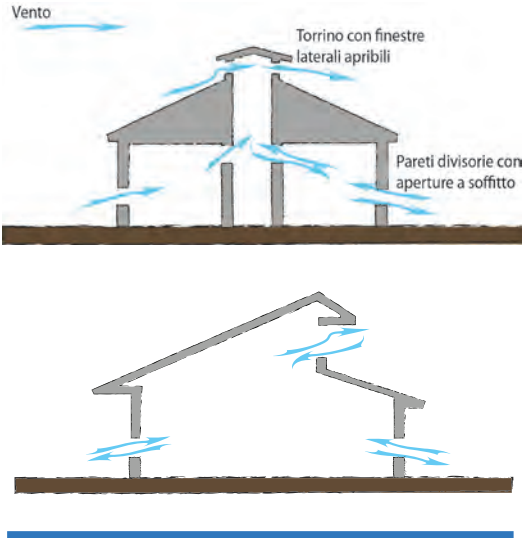
Esempio di camino solare



Esempio di facciata ventilata



Esempio di una torre del vento



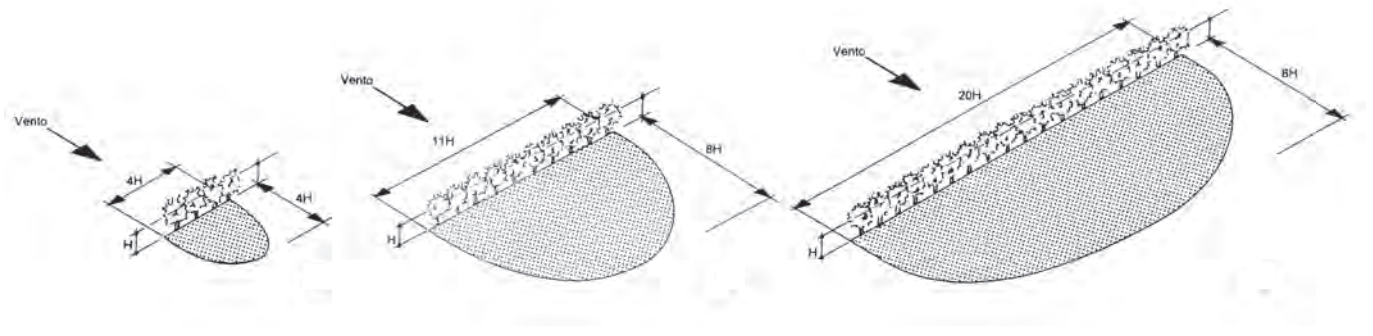
Esempi di ventilazione naturale

Ombreggiamento

Nel valutare la presenza di ostacoli naturali alla radiazione solare diretta possiamo analizzare gli effetti provocati dalle alberature: come confermato da differenti autori, gli alberi a foglia caduca rappresentano un contenimento dell'insolazione durante le stagioni calde mentre in inverno, privati delle foglie, permettono i guadagni solari già precedentemente analizzati. Con alberature disposte perpendicolarmente alla direzione del vento si avranno effetti di riduzione di pressione e di protezione dal riscaldamento in funzione dell'altezza della barriera, della densità degli alberi e della configurazione della specie arborea utilizzata.

Nello specifico, l'effetto di protezione della barriera si manifesta con una riduzione della velocità del vento e ciò dipende da diversi fattori:

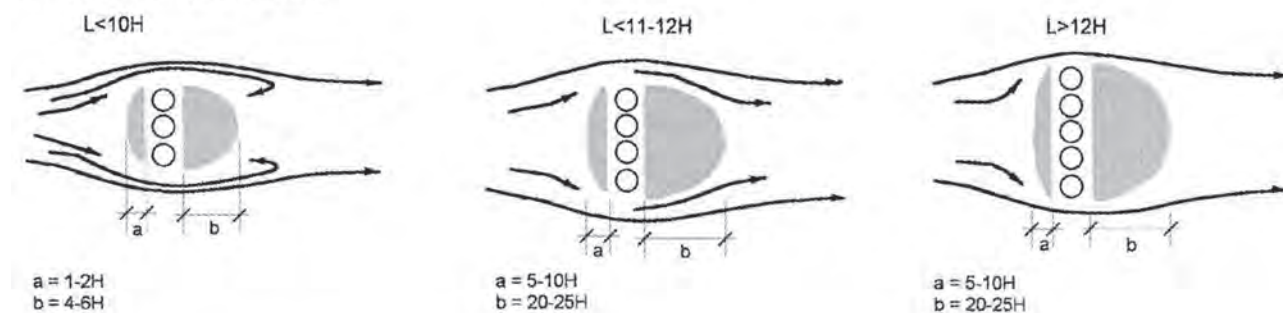
- l'altezza della barriera;
- la natura fisica della barriera;
- la distanza della barriera dagli edifici da proteggere;
- la lunghezza della barriera;
- l'altezza dal suolo a cui interessa la riduzione della velocità, misurata in multipli di altezza della barriera stessa;
- la direzione dello sviluppo longitudinale della barriera rispetto alla direzione prevalente da cui spira il vento.



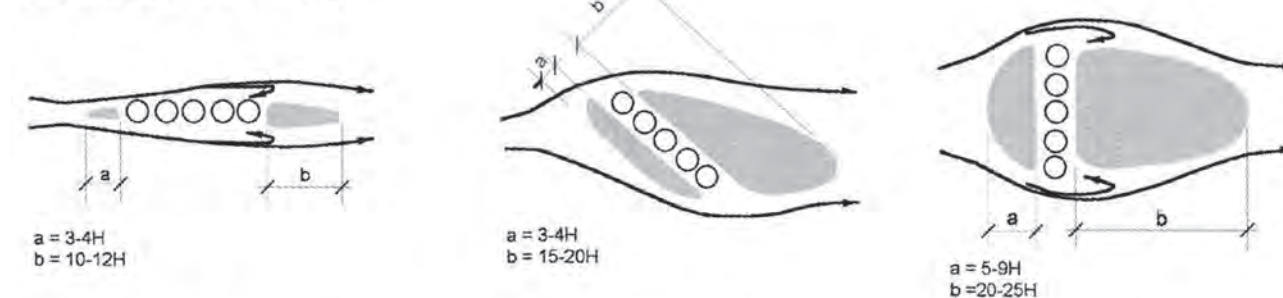
Estensione della zona di calma nella zona sottovento di un filare di alberi. Fonte: M. Grosso, *Il raffrescamento passivo degli edifici*

► 2.2 | La progettazione climaticamente bilanciata con strategie passive

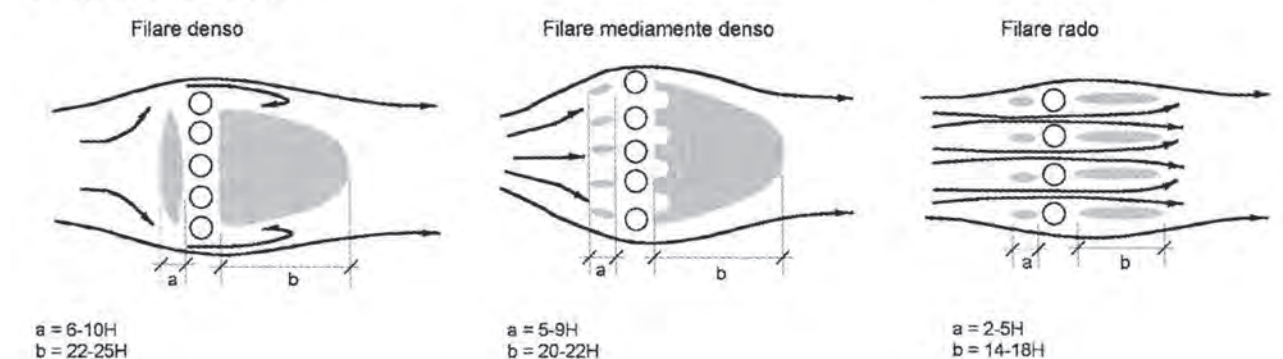
LUNGHEZZA DEL FILARE



DISPOSIZIONE DEL FILARE



DENSITA' DEL FILARE



Variazione della velocità rilevata all'interno della scia prodotta da una siepe di media porosità. Fonte: A. Rogora, *Progettazione bioclimatica per l'architettura mediterranea*.

► 2.3 | Conclusioni

In definitiva si suggerisce un approccio progettuale teso a cogliere e utilizzare le caratteristiche dell'ambiente naturale che ci circonda. Quindi, ad esempio, si cercherà di:

- orientare l'edificio e i singoli ambienti in modo da agevolare il guadagno solare passivo (o evitarlo, a seconda delle condizioni climatiche prevalenti) ampliando le aperture rivolte a sud e riducendo quelle poste a nord; distribuire altresì verso sud le aperture finestrate maggiori, in percentuale minore verso est e ovest e minimizzare le aperture verso nord. Bisogna però prestare attenzione al fatto che se d'inverno l'ingresso dei raggi solari all'interno del volume riscaldato è voluto, non lo è d'estate per evidenti motivi di surriscaldamento. Pertanto tutte le aperture, tranne quelle verso nord, devono essere dotate di sistemi di schermatura esterni: a sud possono essere fissi (tipo pensiline) o mobili (tipo veneziane esterne, persiane, etc.), a est e ovest possono solo essere di tipo mobile perché le schermature di tipo fisso non possono bloccare i raggi solari quasi orizzontali, ma comunque caldi, sia alla sera che al mattino d'estate.

- orientare l'edificio in modo da sfruttare le caratteristiche naturali dell'ambiente, come rilievi o alberature, per eventuali effetti di protezione o voluta esposizione ai venti dominanti;
- utilizzare la vegetazione per gli ombreggiamenti e la riduzione delle temperature degli ambienti interni;
- utilizzare la massa termica per moderare gli effetti delle temperature esterne, ad esempio accumulando il calore delle ore e giornate più calde e rilasciandolo nelle ore e giornate più fredde;
- sfruttare le strategie di ventilazione e raffrescamento naturali, soprattutto negli spazi affollati;
- favorire l'ingresso della luce naturale per ridurre il consumo di energia elettrica;
- ottimizzare gli impianti dal punto di vista dell'efficienza energetica;
- impiegare risorse energetiche naturali quali il vento, il sole, la geotermia, etc.;
- ridurre i consumi idrici, considerando l'utilizzo del riuso delle acque piovane e riducendo gli scarichi, impiegando anche tecniche di drenaggio sostenibile e fitodepurazione secondaria.



ermica elevata

ione 0,5 m/s

zione 1,0 m/s

confort invernale

confort estivo

rescamento evaporativo

possibile comfort con l'inertza in inverno

e 5400 W/m²

e 4700 W/m²

e 4100 W/m²

IL COMFORT INDOOR

Introduciamo il concetto di comfort,
così come riportato da differenti autori:

*“siamo in uno stato di benessere quando non percepiamo
alcuna sensazione fastidiosa, trovandoci in una condizione
di neutralità assoluta rispetto all'ambiente circostante”.*

Il benessere è una quantità non misurabile analiticamente
ma solo statisticamente, perché dipende da troppe variabili
di cui alcune strettamente soggettive e di natura psicologica.

Il nostro stato di comfort è determinato da diversi aspetti
quali quelli termico e igrometrico, olfattivo
(legato alla qualità dell'aria),
visivo (relativo all'illuminazione),
sonoro, psicologico.

3

► | 3.1 | Il comfort termo-igrometrico

In assenza di fenomeni estranei (malattie, etc.) il corpo umano tende a mantenere la propria temperatura mediamente attorno ai 37°C mentre la temperatura cutanea varia fortemente a seconda delle condizioni dell’ambiente, poiché la pelle funge da scambiatore di calore con l’esterno.

Se passiamo ad analizzare un possibile equilibrio termico del nostro corpo in condizioni stazionarie, vedremo che il calore prodotto dal nostro metabolismo deve essere in grado di bilanciare, parzialmente, le perdite di calore dovute alla traspirazione della pelle, all’evaporazione dell’umidità e del sudore sulla pelle e per effetto della respirazione.

Detto ciò occorre ancora considerare l’apporto, positivo o negativo, degli scambi di calore per irraggiamento, convezione e conduzione.

- In breve:
- M - E ± R ± C = 0**
- **M** calore prodotto dal corpo per effetto del metabolismo corporeo;
 - **E** calore disperso per la traspirazione della pelle, l’evaporazione dell’umidità e del sudore sulla pelle e per effetto della respirazione;
 - **R** scambi di calore per irraggiamento;
 - **C** scambi di calore per convezione e conduzione.

- Riassumendo, il comfort termico viene influenzato da differenti elementi, tra i quali:
- parametri fisici: temperatura dell’aria, temperatura media radiante, umidità relativa, velocità dell’aria, pressione atmosferica;
 - parametri esterni: attività svolta che influenza il metabolismo, abbigliamento;
 - fattori organici: età, sesso, caratteristiche fisiche individuali;
 - fattori soggettivi: acclimatazione, età e sesso, forma del corpo, grasso sottocutaneo, condizioni di salute, cibo e bevande consumate;
 - fattori psicologici e culturali.

Passiamo ora a definire i singoli parametri.

3.1.1 Temperatura dell’aria (°C)

Possiamo definire la temperatura dell’aria, intesa come temperatura a bulbo secco, come la temperatura misurata da un semplice termometro a bulbo, indipendente dal contenuto di umidità relativa dell’aria.

Per una trattazione completa occorre però introdurre la temperatura media radiante (TMR, °C) considerando la media pesata delle temperature delle superfici che delimitano l’ambiente da noi preso in esame. La comune sensazione di freddo in presenza di oggetti o superfici fredde è dovuta alla perdita di calore, trasferimento che avviene sotto forma di radiazione, del corpo umano verso tali superfici.

Da diversi studi si ricava che la variazione di 1 °C nella temperatura dell’aria può essere compensata da una variazione contra-

ria da 0,5 a 0,8 °C nella TMR.

In conclusione risulta che la condizione più confortevole è quella corrispondente a una TMR di 2 °C più alta della temperatura dell’aria. In caso di valori più bassi, per raggiungere le stesse condizioni, dovremo avere le temperature superficiali dell’ambiente circostante praticamente uniformi.

Ulteriore parametro da considerare è la temperatura operante, definita come la media fra la temperatura dell’aria e quella media radiante, ed è utilizzata per analizzare con un unico valore gli scambi termici per convezione e irraggiamento.

3.1.2 Velocità dell’aria (m/s)

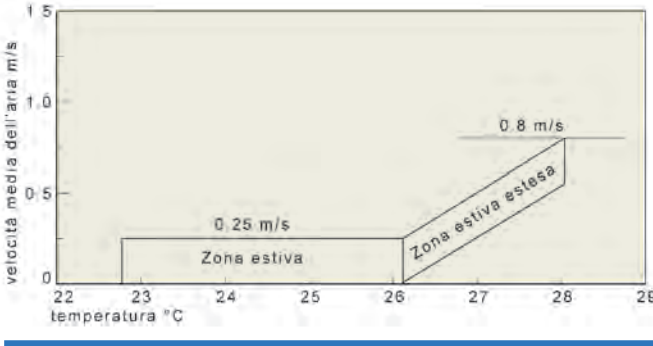
In assenza di variazioni della temperatura dell’aria è possibile produrre variazioni delle sensazioni percepite, di freddo o di calore, ricorrendo al movimento dell’aria che, rimuovendo lo strato saturo, permette all’epidermide una continua evaporazione. Per un efficace raffrescamento, però, occorre rispettare alcuni valori limite, definendo le seguenti reazioni soggettive medie alle differenti velocità:

- fino a 0,25 m/s: impercettibile;
- 0,25-0,50 m/s: piacevole;
- 0,50-1,00 m/s: sensazione di aria in movimento;
- 1,00-1,50 m/s: corrente d’aria da lieve a fastidiosa;
- oltre 1,50 m/s: fastidiosa.

In presenza di alte temperature si hanno piacevoli sensazioni anche con velocità dell’aria pari a 1 m/s, e una velocità sino a 1,5 m/s è tollerabile. Comunque, nella stagione fredda, all’interno di un locale riscaldato la velocità dell’aria non dovrebbe superare 0,25 m/s.

La zona definita confortevole può variare, soprattutto in condizioni estive: è possibile superare i 26 °C se la velocità dell’aria aumenta di 0,275 m/s per ciascun grado di aumento di temperatura, fino ad una temperatura massima di 28 °C e una velocità massima dell’aria di 0,8 m/s.

Infine, va considerato che, attraverso gli opportuni ricambi, la ventilazione influisce anche sulla qualità dell’aria interna.



Zona di comfort estiva, definita in funzione della temperatura e della velocità media dell’aria, Fonte: M. Grosso. *Il raffrescamento passivo degli edifici*

3.1.3 Umidità relativa (UR, %)

È il rapporto fra la quantità di acqua (vapore acqueo) contenuta in un kg d’aria secca a una certa temperatura e la quantità massima di acqua che potrebbe essere contenuta alla stessa temperatura dallo stesso kg d’aria. Quando si raggiunge il valore limite di UR pari al 100% viene impedita qualsiasi forma di evaporazione e pertanto anche il raffrescamento, di tipo evaporativo, dei locali risulta impraticabile. Al contrario, se l’UR è minore del 20% le membrane mucose si seccano e aumentano le possibilità di infezione. Nel periodo caldo ed in presenza di elevati tassi di umidità relativa la comune esperienza ci dice che le condizioni di comfort non sono rispettate: in particolare per temperature dell’aria superiori ai 32 °C con UR oltre il 70% la sensazione di caldo risulta accentuata in quanto il sudore prodotto non può evaporare.

Di contro, nei periodi freddi, valori molto bassi di UR, e quindi in presenza di aria molto secca, viene incrementata la sensazione di freddo poiché non si hanno limiti particolari all’evaporazione dell’umidità tramite la nostra epidermide, fenomeno che avviene con sottrazione di calore. Diversi autori suggeriscono che, in regime stazionario, un aumento di UR del 10% ha lo stesso effetto di un aumento di temperatura di 0,3 °C.

Limiti medi per condizioni igrotermiche considerate ottimali (Melino C. 1992)

	Estate	Inverno
Temperatura dell’aria	26°C	20°C
Umidità relativa	30%< U < 60%	30%< U < 50%
Velocità dell’aria	0,1-0,2 m/s	0,05-0,1 m/s
Temperatura effettiva	20-22°C	16-18°C

Sensazioni percepite in funzione della temperatura e dell’umidità relativa (Simonetti, 1993)

Temperatura	Umidità Relativa	Sensazioni provate
24 °C	40%	benessere massimo
	85 %	benessere a riposo
	91 %	affaticamento, depressione
32 °C	25 %	nessun malessere
	50 %	impossibile il lavoro continuo
	65 %	impossibile il lavoro pesante
36 °C	81 %	aumento della temperatura corporea
	90 %	forte malessere
	10 %	nessun malessere
	20 %	impossibile il lavoro pesante
	65 %	necessità di riposo
	80 %	malessere

3.1.4 Attività (metabolismo)

In funzione dell’attività compiuta il nostro corpo produce una quantità variabile di calore: si descrivono tali processi biologici con il termine di metabolismo.

Il tasso di metabolismo è l’energia liberata per unità di tempo dalla trasformazione degli alimenti.

Si esprime in Watt/mq di superficie corporea (circa 1,8 mq) o in “Met” (1 Met = tasso metabolico di una persona in riposo = 58 W/mq).

Valori consigliati per temperatura, UR e velocità dell’aria a seconda della stagione (Simonetti, 1993)

	Temperatura	Umidità relativa	Velocità dell’aria
Inverno	19-22°C	40-50%	0,05-0,1 m/s
Estate	24-26°C	50-60%	0,1-0,2 m/s

Esempio di tasso metabolico per diverse attività (AA.VV., *Architecture solaire Passive pour la région méditerranéenne*)

Attività	Met	W/mq
sonno	0,7	40
riposo	0,8	45
seduti	1,0	60
in piedi	1,2	70
attività sedentaria (ufficio, casa)	1,0-1,4	60-80
attività leggera (lavoro manuale leggero)	1,4-1,7	80-100
attività media (lavori domestici, lavoro medio)	1,7-2,0	100-117
attività intensa (lavoro pesante)	2,0-3,0	117-175
sport, danza	2,4-4,0	140-235

► 3.1 | Il comfort termo-igrometrico

3.1.5 Abbigliamento

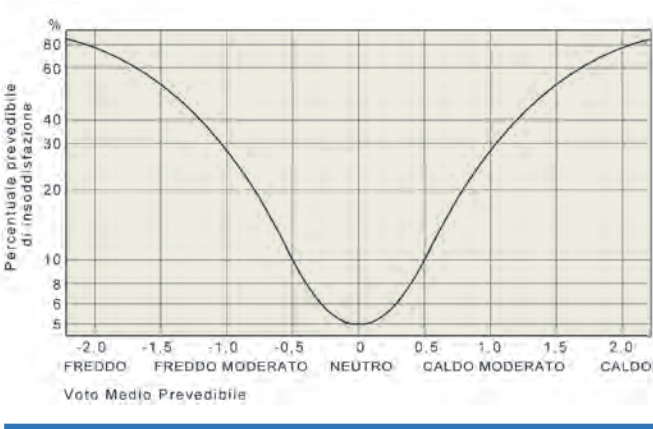
Rappresenta l’isolamento termico delle persone: variando opportunamente il comune abbigliamento si agisce sugli scambi di calore per conduzione e irraggiamento e sulle perdite di calore per evaporazione. L’isolamento termico del vestiario è espresso in Clo (1 Clo = tenuta invernale tipica da interno = 0,155 mqK/W).

Isolamento termico fornito da diverse combinazioni di abbigliamento (AA.VV., *Architecture solaire passive pour la région méditerranéenne*)

Abbigliamento	Resistenza termica	
	mqxK/W	Clo
nudi	0	0
pantaloncini	0,015	0,1
tenuta tropicale tipica	0,045	0,3
tenuta estiva leggera	0,08	0,5
tenuta da lavoro leggera	0,11	0,7
tenuta invernale tipica da interno	0,16	1,0
tenuta da affari tipica europea	0,23	1,5

3.1.6 Valutazione del comfort

Dovendo introdurre una valutazione numerica delle condizioni ambientali confortevoli si è ricorsi a indagini di tipo statistico, chiedendo il grado di soddisfazione di gruppi di persone, collocate all’interno di ambienti differentemente climatizzati, intente a una certa attività e con un determinato abbigliamento. Un modello di valutazione delle condizioni di comfort igrotermico è, ad esempio, quello di Fanger relativo alle zone climatizzate con sistemi attivi e chiuse verso l’esterno. Esso introduce il PMV (voto medio previsto) stimato attraverso variabili di tipo oggettivo quali temperatura dell’aria, umidità relativa, velocità dell’aria e temperatura media radiante, e variabili di tipo soggettivo quali attività metabolica e resistenza termica del vestiario indossato. Il PMV viene quindi elaborato attraverso numerosi programmi, fra i quali si ricorda il RayMan, progettato da Andreas Matsarakis dell’Università di Friburgo. Il PMV fornisce quindi la percentuale prevedibile di insoddisfazione. Un altro modello è quello del comfort adattivo, in cui l’occupante di un edificio non è un elemento passivo, come invece descritto da Fanger, ma un soggetto che reagisce ad una variazione sgradevole del microclima in cui soggiorna, in maniera tale da ricondursi alle condizioni di comfort, tramite meccanismi di adattamento alle nuove condizioni interne, di tipo volontario ma anche involontario. Le condizioni di comfort, quindi, dipendono anche dalle regioni geografiche nelle quali gli individui permangono. Secondo questa teoria, la temperatura di comfort percepita dipende strettamente dalla tem-

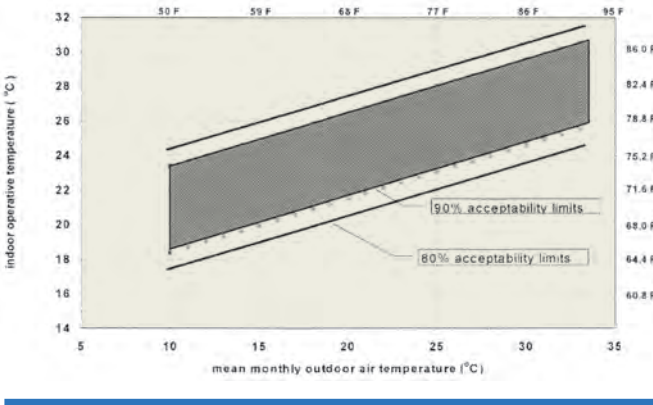


Correlazione tra gli indici PMV (voto medio prevedibile) e PPD (percentuale prevedibile di insoddisfazione) secondo il Modello di Fanger. Fonte: Clara Masotti, *Comfort estivo e risparmio energetico in architettura*.

peratura esterna dell’aria, e c’è un limite di accettabilità del 90% quando la temperatura dell’ambiente interno si discosta di ± 2,5 °C rispetto a quella teorica di comfort. Il metodo viene usato quando le condizioni di comfort termico sono mantenute mediante strategie di raffrescamento passivo (senza apparecchi meccanici, per gli edifici non climatizzati).

Diagrammi bioclimatici

A questo punto occorrerà correlare le precedenti variabili bioclimatiche con le possibili strategie di climatizzazione da mettere in atto, a seconda delle condizioni presenti nel sito di interesse. La relazione tra clima e comfort interno può quindi essere studiata, in maniera preliminare, attraverso i diagrammi bioclimatici, che permettono di mettere in relazione differenti valori mensili di temperatura e umidità dell’aria con il campo di com-



Modello adattivo per edifici ventilati naturalmente. Fonte: M. Grosso, *Il raffrescamento passivo degli edifici*

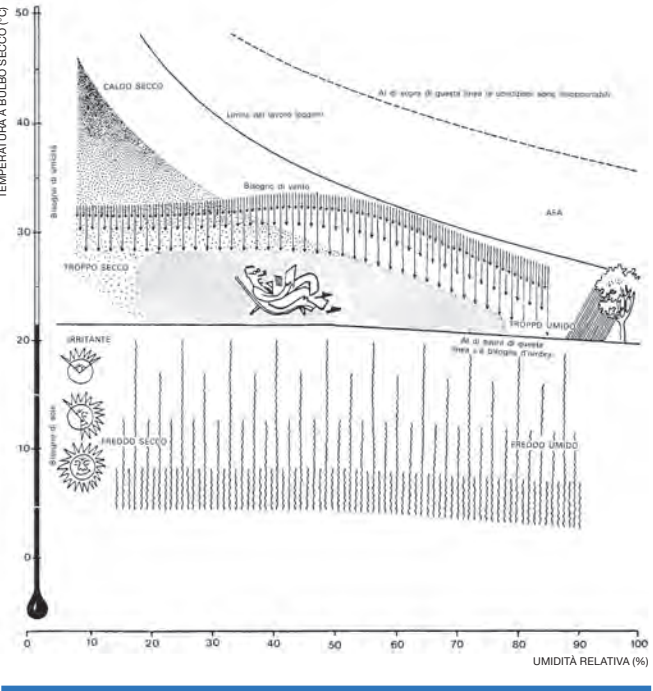
fort interno di progetto. Tali metodi permettono di definire, per il tipo di attività svolta e per il relativo abbigliamento adottato, il perimetro della zona di benessere termico, inteso come il luogo dei fattori climatici ambientali entro il quale la sensazione termica è giudicata confortevole da oltre l’80% delle persone.

- I diagrammi bioclimatici più utilizzati sono:
- la carta bioclimatica di Olgyay, in cui è presente la zona di comfort standard con i meccanismi da porre in essere per rientrarvi in funzione di valori di velocità del vento, d’irraggiamento solare e contenuto di vapore d’acqua;
 - il diagramma bioclimatico di Givoni, basato sul diagramma psicrometrico, in cui è presente la zona di comfort standard, le sue estensioni ed i meccanismi da porre in essere per rientrarvi tramite specifiche strategie di climatizzazione.

Per elaborare i diagrammi bioclimatici ma anche per il successivo dimensionamento di sistemi di climatizzazione e produzione di energia occorre utilizzare dati climatici locali, relativi alle principali variabili meteorologiche coinvolte (temperatura e umidità dell’aria, irraggiamento solare, velocità e direzione del vento), misurate nella stazione meteo più vicina e affinate mediante fattori correttivi che tengano conto delle condizioni ambientali locali.

Il diagramma bioclimatico di Olgyay

Si tratta del primo diagramma bioclimatico, studiato nel 1963 da Victor Olgyay e noto come “Bio-climatic Chart”



Schema divulgativo del diagramma bioclimatico. Fonte: Victor Olgyay, *Progettare con il clima*, 1990

Osservando il diagramma possiamo notare che lungo gli assi, rispettivamente in ordinata e ascissa, sono riportate la temperatura e l’umidità relativa dell’aria. Al centro del diagramma è individuata la zona di benessere relativa a una persona vestita in modo leggero (Clo = 0,8) e in attività sedentaria (1 met). Sono presenti due aree che rappresentano le differenti aree di comfort, rispettivamente nel periodo estivo e nel periodo invernale.

Per la conversione da temperature espresse in gradi Centigradi ed in gradi Fahrenheit ricordiamo che:

°C = (°F - 32) / 1,8

Per periodi estivi questa zona è delimitata da una linea inferiore corrispondente circa alla temperatura (isoterma) di 21 °C mentre il limite superiore dipende dal contenuto di umidità (per valori crescenti di UR la linea, infatti, presenta un piego verso il basso). Per valori di umidità relativa inferiori al 50% il limite superiore corrisponde all’isoterma 27,8 °C: oltre tale valore, diminuisce gradualmente fino a intersecare il limite inferiore intorno al 90% di umidità relativa (ad alta percentuale di umidità la temperatura sopportabile è inferiore).

La zona di benessere invernale è tratteggiata e si trova poco più in basso di quella estiva.

La parte di diagramma al di sotto della zona di comfort corrisponde a condizioni di sottoriscaldamento (bassa temperatura). In questa zona il livello di comfort può essere mantenuto a condizione che vi sia una certa quantità di radiazione solare,

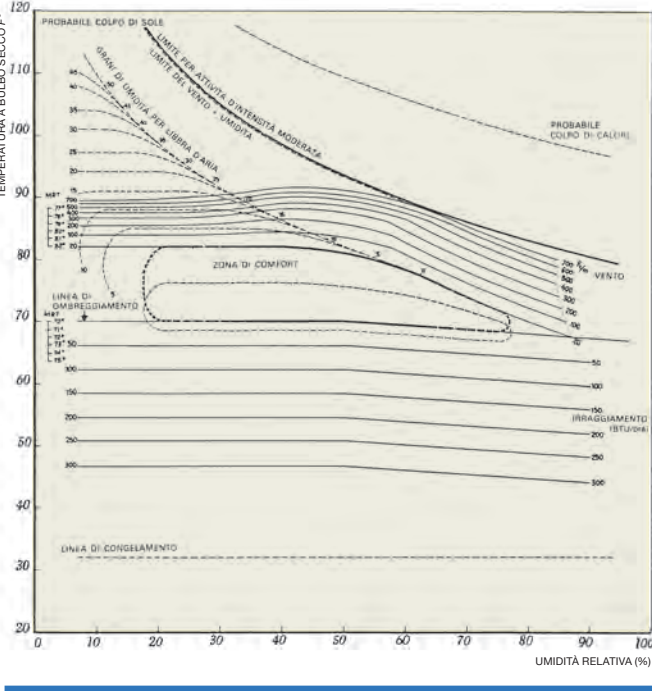


Diagramma bioclimatico di Olgyay: aree di comfort per zone climatiche temperate. Fonte: Victor Olgyay, *Progettare con il clima*, 1990

3.1 | Il comfort termo-igrometrico

indicata secondo i diversi valori di temperatura-umidità. Oltre alle suddette curve (curve di radiazione) è riportata anche una scala graduata con i valori di temperatura media radiante (TMR), da applicarsi in assenza di radiazione solare (mancanza di soleggiamento).

La condizione di comfort, infatti, può essere raggiunta in funzione di un'adeguata temperatura media radiante, maggiore quanto minore è la temperatura dell'aria.

Al di sopra dei 21 °C si ha, invece, la richiesta d'ombra.

La parte di diagramma sopra la zona di comfort viene definita "di surriscaldamento". Durante il periodo estivo, per rientrare in condizioni di comfort in presenza di alti valori di temperatura e umidità relativa dell'aria occorre aumentare la velocità dell'aria (ventilazione naturale o artificiale) secondo i valori indicati.

È anche possibile, per rientrare nelle suddette condizioni confortevoli, ricorrere all'evaporazione controllata di acqua. Nel gra-

fico sono presenti le isolinee che riportano i diversi valori del rapporto massa d'acqua/massa d'aria da fornire, necessari per ristabilire il comfort. Nell'estrema parte superiore è indicato il limite di eventuali colpi di sole o di calore, mentre nella parte inferiore è presente la linea di congelamento.

Si andranno, quindi, a riportare sul diagramma i valori delle coppie temperatura - umidità relativa della località prescelta da analizzare, arrivando quindi ad evidenziare le eventuali condizioni di benessere in funzione delle condizioni climatiche esistenti.

Il Building Bio-Climatic Chart di Givoni

Il diagramma di Olgyay si basa sul fatto che le temperature interne agli edifici siano molto prossime a quelle esterne. Però, se si considerano edifici con grande massa e inerzia termica, costruiti in regioni calde e secche, durante il periodo estivo la temperatura interna è invece molto differente da quella ester-

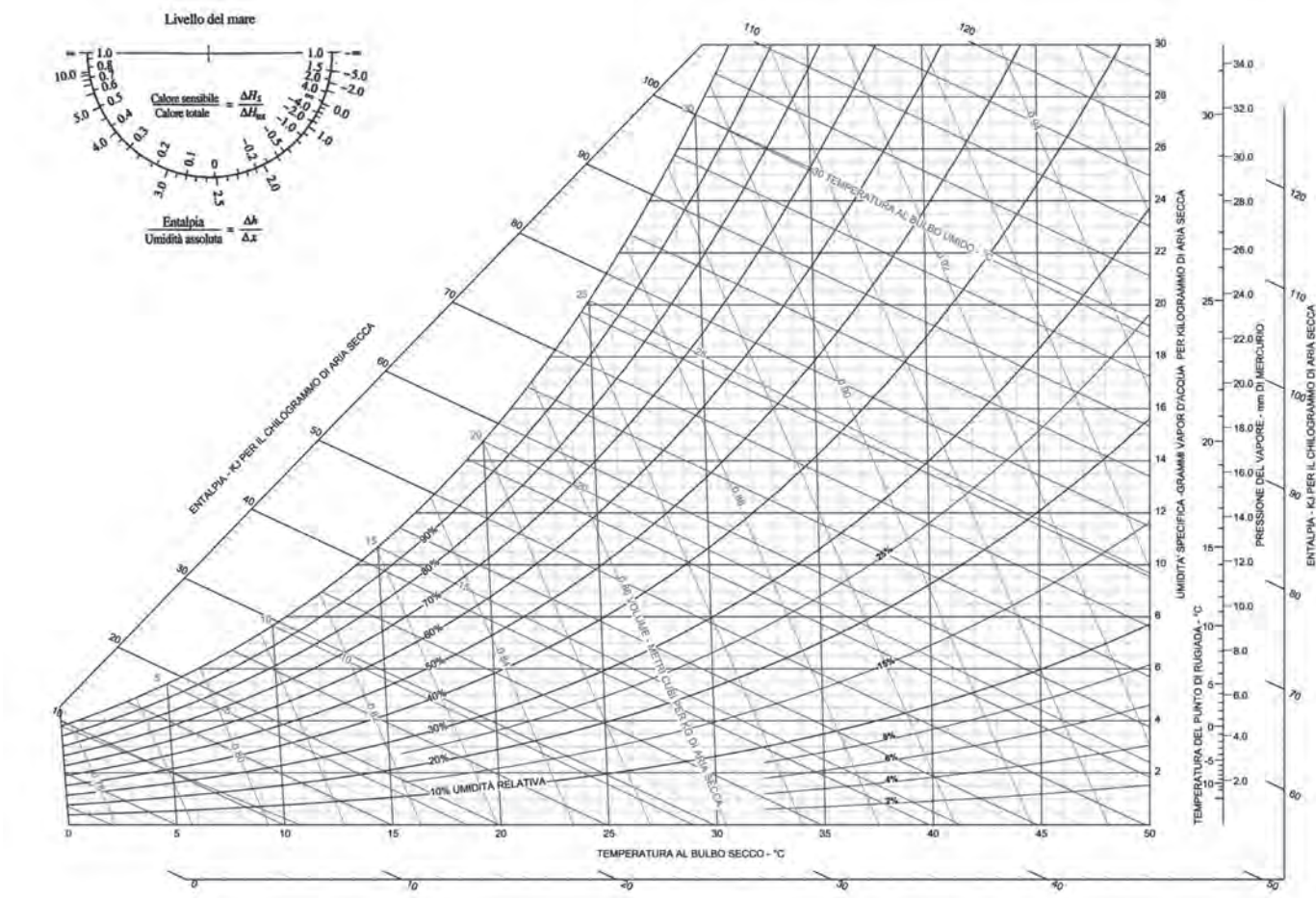
na, anche in assenza di funzionamento di impianti di climatizzazione, grazie al fenomeno dello sfasamento e dell'attenuazione dell'onda di calore. Assumere dati climatici esterni simili alle condizioni ambientali interne, soprattutto in talune situazioni climatiche e con certe tipologie costruttive, può determinare una errata valutazione di interventi tesi al raggiungimento delle condizioni di comfort.

Nel 1969 fu studiato il "Building Bio-Climatic Chart" (BBCC) ad opera di Baruc Givoni.

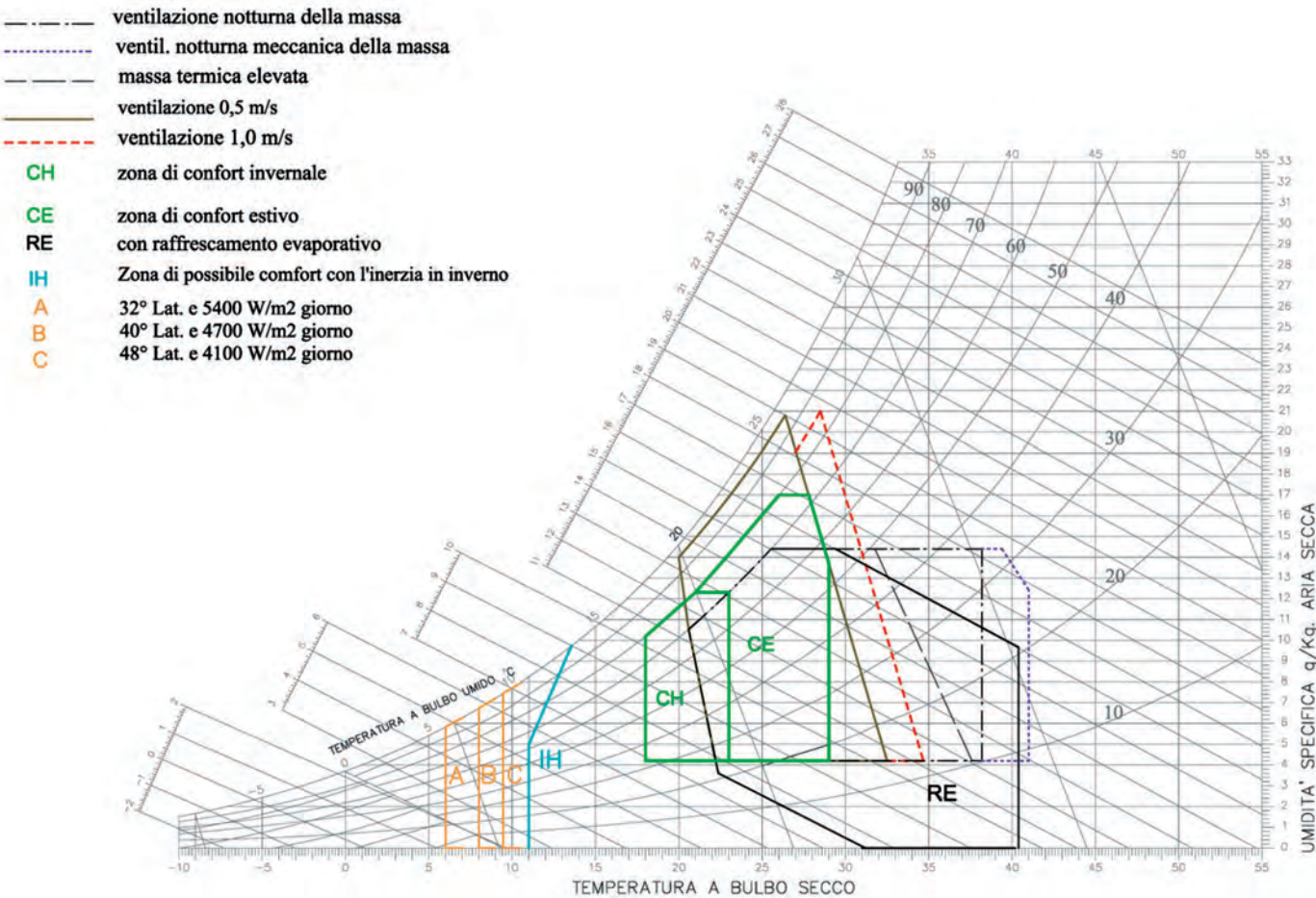
Tale diagramma utilizza come base un diagramma psicrometrico ASHRAE e fa riferimento ai valori ambientali esterni (temperatura e umidità relativa) ma pone quale base teorica che le differenti aree di comfort e le conseguenti tecniche da adottarsi per rientrare nelle condizioni di comfort siano riferite a determinate temperature dell'aria all'interno degli edifici, previste sulla

base dell'esperienza o di calcoli, in un edificio privo di sistema di climatizzazione e correttamente progettato per il contesto climatico in cui è costruito.

Sono individuate due zone che descrivono le condizioni di comfort termico interno. La zona di comfort invernale si estende a temperature inferiori rispetto a quella estiva poiché a essa corrisponde un livello di attività maggiore o un vestiario più pesante. Sono, quindi, riportati differenti sistemi considerati efficaci per ricreare le condizioni di comfort, definite nelle differenti aree.

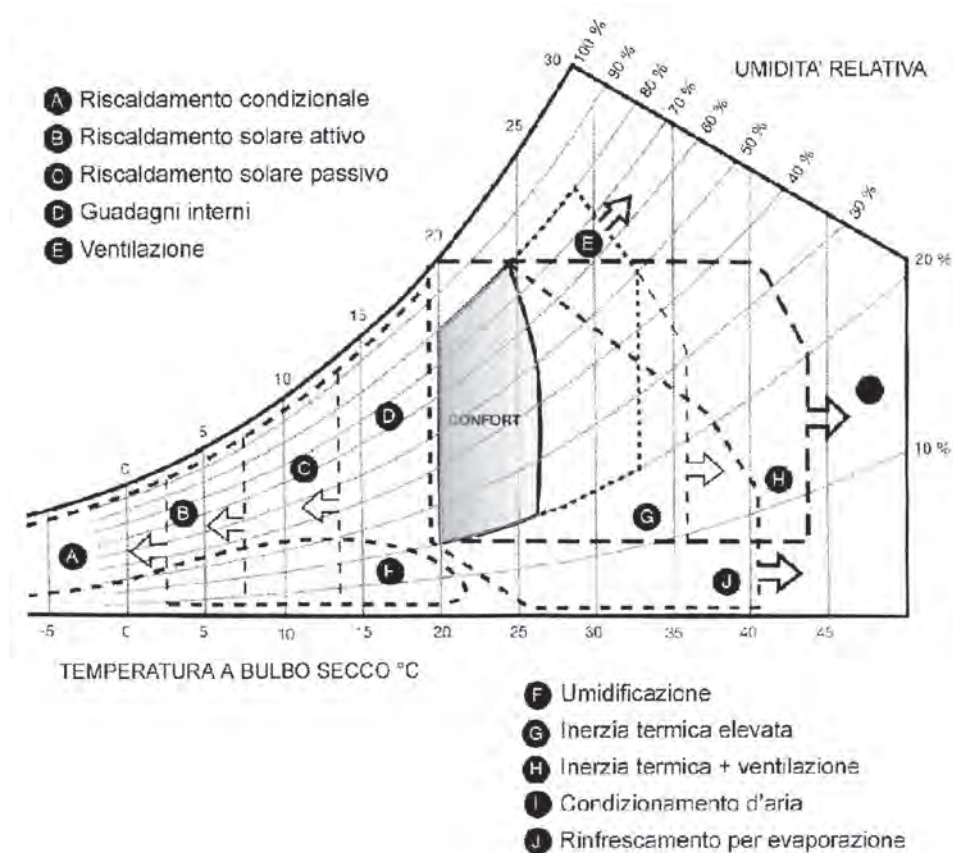


Esempio di diagramma psicrometrico



Carta bioclimatica di Givoni. Fonte: www.myGreenBuildings.org.

► 3.1 | Il comfort termo-igrometrico



Carta bioclimatica di Givoni in cui si evidenziano le strategie da perseguire per rientrare nella zona di comfort. (AA.VV., *Architecture solaire passive pour la région méditerranéenne*)

Descrizione delle aree del diagramma:

- COMFORT: nessun intervento salvo la protezione dal sole diretto in estate e l'isolamento termico in inverno.
- (A) RISCALDAMENTO CONVENZIONALE: zona molto fredda in cui solo un sistema di riscaldamento a combustibili può risultare efficace.
- (B) RISCALDAMENTO SOLARE ATTIVO: il calore necessario può venire da un sistema solare attivo, con un sistema convenzionale di scorta.
- (C) RISCALDAMENTO SOLARE PASSIVO: se si ha anche un buon isolamento si può fornire energia attraverso un sistema solare passivo o ibrido attivo-passivo, sempre con un sistema di scorta per i periodi nuvolosi.
- (D) GUADAGNI INTERNI: per il comfort è sufficiente il calore prodotto dall'uomo e dagli apparecchi elettrici all'interno di una stanza.
- (E) VENTILAZIONE: con temperatura e umidità elevata il comfort può essere ottenuto per evaporazione diretta della traspirazione solo se il movimento dell'aria è sufficiente.

- (F) UMIDIFICAZIONE: oltre al riscaldamento bisogna umidificare l'aria.
- (G) INERZIA TERMICA: situazione tipica dei climi caldi e secchi con notti fredde e secche in cui rinfrescando l'ambiente di notte (è necessaria grande inerzia della struttura muraria) si accumula il fresco necessario alla giornata seguente.
- (H) INERZIA TERMICA E VENTILAZIONE: situazione tipica di molte regioni mediterranee in cui la temperatura notturna non scende a sufficienza per rinfrescare l'edificio il giorno seguente ed è necessario ricorrere a ventilazione attiva o passiva per estrarre il calore in eccesso.
- (I) CONDIZIONAMENTO DELL'ARIA: i sistemi naturali non sono sufficienti e occorrono sistemi di condizionamento meccanici.
- (J) RINFRESCAMENTO PER EVAPORAZIONE: si può rinfrescare fornendo umidità (fontane, micro-spruzzatori, etc.)

Per l'utilizzo dei diagrammi è necessario conoscere i dati di umidità relativa e di temperatura dell'aria per le località in esame. In genere viene considerato un periodo specifico per l'analisi, (estate, inverno, etc.) e un determinato periodo di tempo (giorno, mese, etc.). Una volta noti i dati climatici del sito si collocano sui diagrammi i punti caratteristici dei periodi sopra considerati.

La strategia passiva più appropriata dipende dalla concentrazione dei punti all'interno di ciascuna area di ampliamento della zona di comfort: tanti più punti ricadranno all'interno di tali aree tanto più indicata sarà la strategia da seguire. In generale, nei diversi grafici le zone di comfort e le zone di correzione definite esternamente a quelle di comfort non devono essere considerate in modo rigido.

► 3.2 | Il comfort acustico

Al giorno d'oggi, in tutto il mondo il livello generale di rumore ha raggiunto picchi allarmanti. È risaputo che l'inquinamento acustico non solo disturba il riposo ma è anche causa di stress psico-fisico, e costituisce quindi una grave minaccia per la salute. Uno studio dell'Unione Europea ha evidenziato che, persino mentre si dorme, un cittadino su tre è esposto a emissioni sonore così forti da disturbare il sonno e il riposo, elementi indispensabili per la salute.

3.2.1 La percezione acustica dell'orecchio umano

Il suono consiste in una perturbazione della pressione atmosferica di carattere oscillatorio che si propaga attraverso un mezzo elastico (gassoso, liquido o solido). Tali oscillazioni sono caratterizzate da un'ampiezza e da una frequenza. L'orecchio umano è sensibile a variazioni di pressione sonora comprese tra 0,000002 Pa e 100 Pa, in una gamma di frequenze comprese tra 20 e 20.000 Hz. La sensazione uditiva è legata a una relazione di tipo logaritmico. Il livello di pressione sonora, misurato in dB, è pari a:

$L_p = 20 \log p/p_0$ (dB)

ove p_0 è la pressione di riferimento pari a 0,000002 Pa, ossia la pressione minima che l'orecchio percepisce alla frequenza di 1000 Hz.

L'orecchio umano ha una differente sensibilità ai suoni, e in particolare presenta una maggiore sensibilità alle alte frequenze ed una minore a quelle basse.

Per simulare il comportamento dell'orecchio umano si utilizza pertanto un filtro, indicato come curva di ponderazione "A", che si indica come $dB(A)$. L'orecchio umano è in grado di apprezzare differenze minime pari ad 1 dB, per cui ogni miglioramento acustico deve essere superiore a 1dB per essere avvertito.

L'intensità sonora di due sorgenti si somma secondo una relazione non lineare per cui due rumori di eguale livello sonoro produrranno un rumore superiore di 3 dB (esempio, 50 dB + 50 dB = 53 dB) e due rumori differenti produrranno un rumore di valore praticamente uguale al valore più alto (40 dB + 60 dB = 60 dB). In realtà il suono risultante è > 60 dB. Citiamo ancora il problema della risonanza: alla frequenza di risonanza il materiale comincia a vibrare e trasmette con molta più facilità. Tale fenomeno è paragonabile alla presenza di un buco nell'isolamento acustico.

3.2.2 Propagazione dei rumori

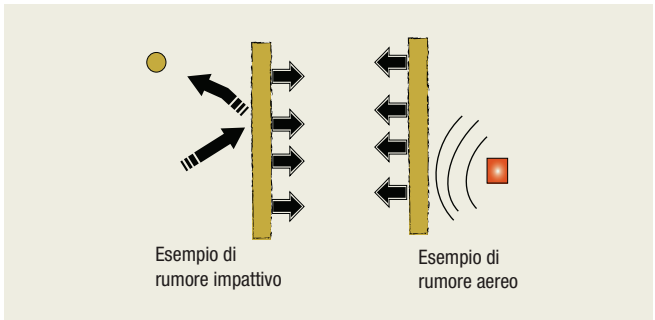
In un fabbricato il suono viene trasmesso attraverso gli elementi di partizione e di fiancheggiamento, ad esempio le pareti, i pavimenti, etc. Al fine di indicare la qualità dell'isolamento acustico tra due stanze, a prescindere che siano poste una accanto all'altra o una sopra l'altra, o che non confinino affatto, è necessario tenere conto di tutti i percorsi di trasmissione. Ci sono diversi tipi di trasmissione di rumore: per via aerea e per via strutturale.

La trasmissione sonora per via aerea descrive il suono che si propaga direttamente da una sorgente attraverso l'aria: le voci dei vicini, il rumore del traffico o il suono diffuso da un ambiente adiacente dove, per esempio, è presente un impianto televisivo.

La trasmissione sonora per via strutturale descrive il suono che si propaga attraverso le strutture dell'edificio ed è rappresentata, ad esempio, dal rumore dei passi, dal rumore di oggetti che cadono sul pavimento, dal rumore del trascinamento di arredi, ecc.

Corrispondenza tra differenti livelli sonori e impressioni soggettive

Livello sonoro (in dB)	Natura del rumore	Impressione soggettiva
200	Vicino a fonti di rumore molto elevato (aereo a reazione) Officine, stabilimenti e luoghi molto rumorosi	Rottura del timpano
140		Rumore sopportabile solo per periodi brevi
120		
110		
100		Rumori molto fastidiosi
90		
80		
70	Televisione Traffico stradale	Rumori sopportabili
60		Rumori normali
50	Calma	
40		Appartamento in città
30	Calma assoluta	
20		Residenza in campagna
10	Studio di registrazione	Silenzio anomalo
0	Laboratorio di acustica	



Tipologie differenti di rumore

► 3.2 | Il comfort acustico

Quando si realizzano interventi di protezione acustica occorre prestare attenzione alla presenza di eventuali aperture: anche in una parete isolata molto bene è infatti sufficiente la presenza di buchi o “ponti acustici” per vanificare l’intervento stesso, poiché essi rappresentano la via di propagazione del rumore.

Per ciò che attiene alla progettazione edilizia, l’idoneità all’impiego viene detta prestazione acustica, definendo le seguenti grandezze :

- **R’w** rappresenta un indice di valutazione del potere fonoisolante apparente di elementi di separazione tra ambienti; più è grande migliore è la prestazione;
- **D2m,nT,w** rappresenta un indice di valutazione dell’isolamento acustico standardizzato di facciata; più è grande migliore è la prestazione;
- **L’nw** rappresenta un indice di valutazione del livello di rumore di calpestio di solai normalizzato; più è ridotto migliore è la prestazione.

3.2.3 Il tempo di riverberazione T60

Migliore è l’acustica dei locali e maggiore è il benessere percepito dagli occupanti. Un ambiente chiuso si comporta come una grande cassa di risonanza ed in presenza di pareti spoglie il fenomeno viene amplificato, creandosi molte riflessioni prolungate nel tempo. Il protrarsi del suono dopo che la sorgente sonora ha cessato l’emissione si chiama riverbero e definisce la qualità acustica degli ambienti: se è troppo lungo i suoni consecutivi si sommano e si accavallano, a danno della comprensione. Ogni locale ha un proprio tempo di riverberazione ottimale, secondo le sue dimensioni ed il suo utilizzo. Si definisce tempo di riverberazione il tempo necessario affinché il suono all’interno di una stanza diminuisca di 60 dB, si verifichi, cioè, una riduzione di intensità sonora di un milione di volte.

I valori dei requisiti acustici passivi secondo il D.P.C.M. 5-12-1997

Destinazione d'uso	Indice del potere fonoisolante apparente R'w	Indice dell'isolamento acustico delle facciate D 2mnT,w	Indice del livello di rumore da calpestio dei solai L'nw	Liv. max di rumore impianti a funzionamento discontinuo L As max	Liv. max di rumore impianti a funzionamento continuo L A eq
Ospedali, cliniche, case di cura	55	45	58	35	25
Residenze, alberghi, pensioni	50	40	63	35	35
Scuole a tutti i livelli	50	48	58	35	25
Uffici, attività ricreative o di culto, attività commerciali	50	42	55	35	35

Valori consigliati del tempo di riverberazione (s)

Volume m³	Frequenze			
	100	200	500	1000-4000
100	1	0.9	0.8	0.7
200	1.2	1	0.9	0.8
300	1.3	1.1	1	0.9

La legge di Sabine definisce il tempo di riverberazione ottimale:

T60 = 0,161 x V/A

dove:

V è il volume dell’ambiente, in mc.

A è l’area fonoassorbente equivalente, misurata in Sabine metrici, pari a $S \times \alpha$

S è la superficie totale dell’ambiente, in mq.

α è il coefficiente di assorbimento medio nell’ambiente ed è un numero puro.

Il **T60** si misura in secondi (s).

La legge è valida per stanze medio grandi, in cui il campo sonoro si approssima come diffuso.

Si può modificare il tempo di riverberazione di un locale attraverso l’utilizzo di idonei materiali fonoassorbenti: questi possono essere materiali porosi in cui l’onda sonora fa entrare in vibrazione le fibre del materiale stesso, smorzando l’energia sonora che viene trasformata in calore.

Una caratteristica da considerare nella scelta dei materiali è il coefficiente di fonoassorbimento **α** (valore compreso tra 0 e 1: più è alto più il materiale è fonoassorbente).

Un tempo di riverberazione molto lungo può causare danni alla salute. Un tempo di riverberazione troppo breve dà la sensazione di un ambiente sordo e può essere molto fastidioso.

Il tempo di riverberazione ottimale deve essere realizzato in funzione della destinazione d’uso degli ambienti.

3.2.4 Miglioramenti acustici

Interventi di fonoassorbimento

Gli interventi di fonoassorbimento sono tesi al controllo della riflessione dei suoni sulle pareti di un locale (cercando, quindi, di adattare in base alle proprie esigenze il riverbero all’interno del locale in cui si genera il rumore).

Un intervento di fonoassorbimento generalmente si attua mediante:

- l’applicazione (o l’eliminazione) di un materiale fonoassorbente sulle superfici che compongono il locale.
- la modifica della forma del locale stesso e quindi del suo volume. Tali modifiche generalmente comportano interventi sul soffitto, sulla configurazione delle pareti laterali o l’interruzione della regolarità delle superfici laterali (ad esempio mediante motivi decorativi riflettenti) al fine di ottenere una migliore diffusione del suono nel locale.

Interventi di fonoisolamento

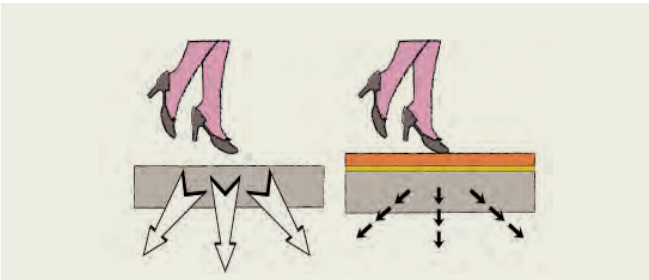
Per ottenere un efficace intervento di fonoisolamento è necessario:

- utilizzare una partizione dotata di sufficiente capacità di abbattere i rumori aerei,
 - minimizzare i percorsi di trasmissione laterale dei suoni.
- La capacità che una partizione ha di isolare dai rumori aerei si basa sui due concetti seguenti, descritti in estrema sintesi:
- legge della massa: maggiore è la massa di una partizione tanto maggiore sarà l’isolamento prodotto dalla partizione stessa.
 - principio massa-molla-massa: a parità di massa, una parete composta da differenti strati (strati massivi e strati porosi) isola meglio di una parete monolitica.

Il materiale fibroso contenuto nell’intercapedine si comporta come uno smorzatore che dissipa l’energia acustica che altrimenti si propagherebbe attraverso la parete. Occorre comunque tenere presente che la legge della massa varia su scala logaritmica, per cui incrementi inizialmente modesti della massa comportano elevati incrementi del potere fonoisolante, mentre in presenza di elevate masse, anche un loro sostanziale aumento comporta un minimo incremento del potere fonoisolante.

L’effetto acustico dipende in primo luogo dalla massa superficiale. Per una richiesta di elevati valori di isolamento acustico sarà importante partire da pareti pesanti e di elevata profondità, mentre altamente performanti, nel caso di ristrutturazione edilizia, risultano i sistemi a secco, ossia pareti composite realizzate con montanti e guide in acciaio e lastre in gesso rivestito.

Occorre evitare il contatto diretto delle strutture metalliche con il pavimento o il soffitto, tramite nastri e guarnizioni elastiche, poiché ogni punto rigido diminuisce l’efficacia dell’intervento.



Intervento di miglioramento acustico per rumori impattivi con desolidarizzazione delle strutture

L’involucro trasparente

Il punto debole di efficaci interventi di isolamento acustico di pareti perimetrali può essere rappresentato, soprattutto in presenza di superfici opache delle facciate con valori di schermatura di almeno 50 dB, dall’involucro trasparente, ossia da:

- il potere fonoisolante dei vetri;
- la classe di tenuta e il peso dei telai in cui sono inseriti i vetri;
- la presenza e il tipo di cassonetti;
- la presenza di aperture di ventilazione, necessarie per assicurare i ricambi d’aria degli ambienti.

Limitandosi alla sostituzione di un vetro semplice con un vetro-camera non si ottengono buoni risultati.

La tenuta all’aria dei serramenti è essenziale per migliorare il fonoisolamento. Essa è identificata da 5 diverse classi. La classe 0 riguarda i serramenti non sottoposti a prova, le classi dalla 1 alla 4 sono ordinate dalla permeabilità più alta alla più bassa. La classe 4 è quindi la migliore. Poiché il rumore si trasmette attraverso ogni minima apertura ne deriva che dovremo porre particolare attenzione anche alle griglie di ventilazione.

Trasmissioni laterali

La trasmissione del rumore avviene attraverso molteplici percorsi: le vibrazioni prodotte in un locale si trasferiscono non solo come rumori aerei ad ambienti adiacenti ma anche, attraverso le stesse strutture di partizione e trasformandosi in vibrazioni, in ambienti vicini.

Non sempre è la parete divisoria a trasmettere direttamente il rumore, ma possono essere le pareti laterali.

Per limitare le trasmissioni laterali del rumore è necessario desolidarizzare la struttura dalle partizioni laterali. Occorre posare fra le strutture idonei strati di materiale resiliente che minimizzino la trasmissione delle vibrazioni.

Un tipico esempio di intervento di questo tipo è la realizzazione del “pavimento galleggiante”, che prevede la posa senza soluzione di continuità di uno strato di materiale elastico-smorzante. Si avrà cura di risvoltare detto materiale sui bordi

► | 3.2 | Il comfort acustico

del pavimento in modo da realizzare una “vasca” che sconnetta, in ogni punto, lo strato di posa dal massetto soprastante. Particolare attenzione andrà posta alla realizzazione del risvolto in corrispondenza delle soglie di ingresso e delle soglie dei balconi. Occorre, infine, che nessuna canalizzazione attraversi verticalmente il massetto, forando lo strato resiliente.

Rumore degli impianti

Particolare attenzione andrà posta ai rumori dovuti al funzionamento, continuo e discontinuo, degli impianti: le vibrazioni prodotte si trasmetteranno, infatti, agli ambienti circostanti. Si utilizzeranno, allora, tubazioni con appositi materiali elastici e supporti, rivestendo le stesse tubazioni con materiali pesanti al fine di incrementarne il potere fonoisolante.

Infine è anche possibile utilizzare tubazioni e scarichi preisolati, cioè costruiti con materiali antivibranti e assemblati con supporti e giunti speciali in modo da contenere il rumore.



Alcuni percorsi di trasmissione del rumore



► | 3.3 | Il comfort luminoso

La luce naturale rappresenta un elemento fondamentale per la salute e il benessere delle persone: ha molteplici influenze positive per quanto riguarda gli aspetti psicologici e fisiologici, rende le persone più attive e aumenta la concentrazione sul lavoro. L’entità della luce naturale dipende dalla latitudine, dall’orientamento e dalle variazioni stagionali.

L’unica sorgente di luce naturale è il sole, e parte dell’energia che esso irradia viene diffusa attraverso le molecole di gas, vapori e polveri presenti nell’atmosfera: di conseguenza il cielo diventa, a sua volta, una sorgente secondaria di luce naturale.

Per progettare una corretta illuminazione degli ambienti interni occorre valutare diverse grandezze:

- Flusso luminoso **F**: rappresenta la potenza luminosa emessa da una sorgente o ricevuta da una superficie, ed è espressa in *lumen* (lm).
- Efficienza luminosa: è riferita a sorgenti luminose artificiali di tipo elettrico ed esprime il rapporto tra il flusso luminoso totale emesso da una sorgente e la potenza totale in ingresso alla sorgente stessa. Si esprime in *lumen/Watt*.
- Intensità luminosa **I**: esprime il flusso luminoso di una sorgente in una specifica direzione, per unità di angolo solido, ed è espressa in *candele* (lumen/steradiano)
- Illuminamento **E**: riferita a una superficie illuminata, esprime il flusso luminoso che raggiunge l’unità di tale superficie. Si esprime in *lux* (lumen/m²)
- Luminanza **L**: riferito a un elemento di superficie che emette (o riflette) luce, esprime il rapporto tra l’intensità luminosa prodotta in una determinata direzione e l’area della proiezione di questo elemento di superficie perpendicolarmente alla direzione prescelta. Si esprime in *candele/m²* (nit).

Una specifica attività richiede, per legge, un livello adeguato di illuminamento, variabile in funzione della tipologia di attività stessa: si avrà un intervallo di valori richiesti in cui il limite inferiore è richiesto per garantire la possibilità di percezione distinta degli oggetti, mentre quello superiore è necessario per evitare fenomeni di abbagliamento.

La luminanza delle superfici è direttamente collegata a eventuali fenomeni di abbagliamento e alla possibilità di percepire distintamente gli oggetti.

L’abbagliamento

La Commissione Internazionale dell’Illuminamento (C.I.E.) definisce l’abbagliamento come una condizione di visione in cui si crea disagio (discomfort) o riduzione della capacità di percepire i dettagli di un oggetto in seguito all’inadeguata distribuzione o direzione della luce, o a eccessivo contrasto (fra le sorgenti e/o gli oggetti o le superfici illuminanti). Normalmente dipende dalla dimensione, posizione e luminanza della sorgente luminosa.

Flusso luminoso di sorgenti tipiche

Tipi di sorgenti luminosa	Flusso luminoso (lm)
lampada per bicicletta 2W	18
lampada ad incandescenza 100W	1250
lampada fluorescente L 40W	3200
lampada ai vapori di Hg ad alta pressione 125W	6300
Bulbo fluorescente 400W	23000
lampada alogenuri metallici 2000W	190000
lampada xenon arco lungo 20000W	500000

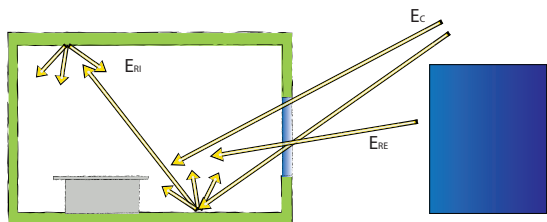
Valori tipici indicativi di illuminamento

Ambienti esterni ed interni	Illuminamento (lux)
giornata estiva soleggiata	100000
giornata estiva cielo coperto	20000
vetrine	3000
uffici	500
sale da pranzo	200
strade (notte)	30
notte di luna piena	0,25
notte serena senza luna	0,01

Intervali di illuminamento tipici per differenti compiti e attività

Intervallo di illuminamento (lux)	Aree-compiti-attività
20 - 30 - 50	aree esterne di circolazione
50 - 100 - 150	aree di circolazione, brevi visite
100 - 150 - 200	locali non usati con continuità per scopi di lavoro
200 - 300 - 500	compiti con semplici requisiti visivi
300 - 500 - 750	compiti con requisiti visivi medi
500 - 750 - 1000	compiti con requisiti visivi di precisione
750 - 1000 - 1500	compiti con requisiti visivi difficili
1000 - 1500 - 2000	compiti con requisiti visivi speciali
> 2000	svolgimento di compiti visivi molto precisi

3.3 | Il comfort luminoso



L'illuminamento naturale degli ambienti

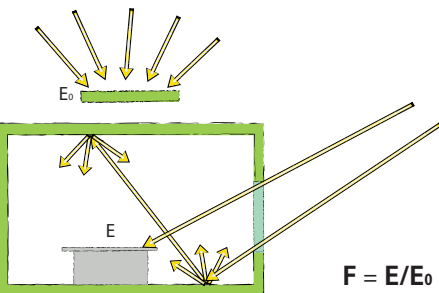
Per valutare l'illuminamento naturale di un ambiente interno possiamo dire che esso è determinato dal flusso di luce che giunge dalla porzione di cielo vista attraverso le finestre (**E_c**), nonché dalla luminanza (dovuta all'effetto albedo) dei diversi elementi del paesaggio esterno, trasmessa anch'essa dalla finestra (**E_{RE}**), e infine dalle riflessioni multiple sulle superfici interne (pareti, soffitto, pavimento, arredamento) (**E_{Ri}**).

Per descrivere le prestazioni luminose di un ambiente interno si calcola il fattore di luce diurna, **F**, definito come: "il rapporto tra l'illuminamento, **E**, che si realizza su una superficie orizzontale posta all'interno dell'ambiente considerato grazie alla luce proveniente dalla volta celeste (non si considera la radiazione diretta proveniente dal sole), e quello che contemporaneamente si ha su di una superficie orizzontale posta all'esterno senza alcuna ostruzione, **E₀**".

Il fattore di luce diurna non dipende dal livello di illuminamento esterno, ma solo dalle relazioni geometriche tra un punto considerato all'interno dell'ambiente e la volta celeste.

In particolare esso risulta funzione delle seguenti grandezze:

- area delle aperture finestrate;
- coefficiente di trasmissione nel visibile del materiale trasparente che costituisce le finestre;
- area dei diversi elementi che costituiscono l'involucro e che sono presenti all'interno del locale (pareti, pavimenti, soffitti, arredi, etc.);
- coefficiente di riflessione nel visibile delle superfici dei vari elementi presenti all'interno del locale;
- presenza di ostruzioni di qualsiasi genere, esterne o interne, che limitino la vista della volta celeste;
- stato di manutenzione delle superfici vetrate e delle superfici interne.



Il fattore di luce diurna F.

Siccome il valore varia da punto a punto all'interno dell'ambiente, si deve calcolare il fattore medio di luce diurna, **F_{ml}**, poiché mediato su più punti di misura.

$$F_{ml} = \sum_i A_i \tau_i \epsilon_i \psi_i / S (1 - r_m)$$

in cui:

- A_i** è l'area della finestra i-esima;
- τ_i** è il coefficiente di trasmissione luminosa del vetro;
- r_m** è il coefficiente di riflessione medio nel visibile delle superfici che costituiscono l'involucro dell'ambiente considerato e si ottiene dalla media ponderata dei fattori di riflessione delle varie superfici, **S_i**, dell'ambiente;
- ε_i** è il fattore finestra, cioè il rapporto tra l'illuminamento sul baricentro della finestra e l'illuminamento su una superficie orizzontale liberamente esposta alla volta celeste. Tiene conto delle ostruzioni da parte di altri edifici o di altri elementi posti di fronte alla finestra;
- ψ_i** è un fattore che considera l'ombreggiamento indotto sulla finestra dall'imbotte.

Alcuni valori di coefficiente di riflessione luminosa

Materiali e natura della superficie	Coefficiente di riflessione luminosa
intonaco comune bianco recente o carta	0,8
intonaco comune o carta di colore molto chiaro (avorio, giallo, grigio)	0,7
intonaco comune o carta di colore chiaro (avorio, rosa chiaro)	0,6 ÷ 0,5
intonaco comune o carta di colore medio (verde chiaro, azzurro chiaro)	0,5 ÷ 0,3
intonaco comune o carta di colore scuro (verde oliva, rosso)	0,3 ÷ 0,1
mattoni chiari	0,4
mattoni scuri, cemento grezzo, legno scuro, pavimenti di tinta scura	0,2
pavimenti di tinta chiara	0,6 ÷ 0,4
alluminio	0,8 ÷ 0,9

Il fattore medio di luce diurna consente di valutare la capacità delle aperture trasparenti e dell'involucro di uno spazio chiuso di garantire condizioni di illuminazione naturale confortevoli ed un accettabile sfruttamento della luce naturale. Occorre quindi porre dei valori di soglia a detto parametro. Uno schema di valutazione indicativo è il seguente:

- F < 0,3% insufficiente
- 0,3% < F < 2% discreto
- 2% < F < 4% buono
- 4% < F ottimo

Conoscendo il fattore di luce diurna è sempre possibile risalire al valore assoluto di illuminamento corrispondente all'interno dell'ambiente sul piano di lavoro partendo dall'illuminamento sul piano orizzontale all'esterno.

Le principali indicazioni sono contenute nel DM del 5/7/75, relativo all'edilizia residenziale e nelle due Circolari del Ministero LL. PP. relative all'edilizia residenziale sovvenzionata e ospedaliera. Specificatamente l'art. 5 del DM 5/7/75 dispone quanto segue: "Tutti i locali degli alloggi, tranne vani scala, ripostigli, ..., devono

fruire di illuminazione naturale diretta adeguata alla destinazione d'uso. L'ampiezza delle finestre deve essere proporzionata in modo da assicurare un valore del Fattore Medio di Luce Diurna non inferiore al 2% (0.02) e comunque la superficie apribile non dovrà essere inferiore ad 1/8 della superficie del pavimento." Un'incompleta interpretazione della norma ha diffuso l'opinione che la proporzione di 1/8 tra finestre e pavimento valga a garantire un illuminamento adeguato.

Questi i valori limite del fattore medio di luce diurna:

Ambienti residenziali (D.M. 5/7/75)

- Locali di abitazione: 2% (la superficie finestrata apribile non deve essere inoltre inferiore a 1/8 della superficie del pavimento)

Ambienti ospedalieri (C.M. 13011 22/11/74)

- Ambienti di degenza, diagnostica, laboratori: 3%
- Uffici, spazi per la distribuzione, scale: 1%

Ambienti scolastici (D.M. 18/12/75)

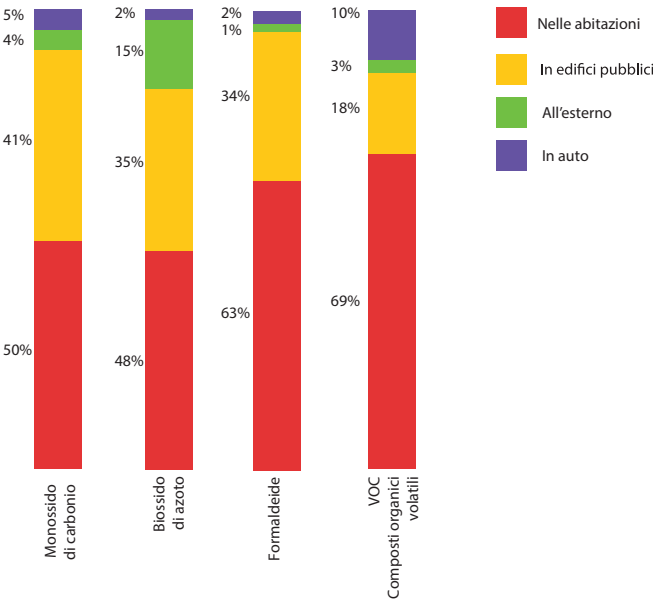
- Ambienti a uso didattico (aule per lezione, studio, lettura, disegno, etc.): 3%
- Palestre, refettori: 2%
- Uffici, spazi per la distribuzione, scale, servizi igienici: 1%



► | 3.4 | Il comfort dell'aria

Per ciò che riguarda la qualità dell'aria in ambienti confinati possiamo dire che l'inquinamento interno è definito come "qualsiasi alterazione delle caratteristiche chimiche, fisiche e biologiche dell'aria, determinata sia da variazioni di concentrazione dei suoi normali costituenti sia, e soprattutto, dalla presenza di sostanze estranee alla sua composizione normale in grado di determinare effetti di molestia e/o danno all'uomo" (Ministero dell'Ambiente, 1991).

L'inquinamento indoor risulta un potenziale problema poiché la maggioranza della popolazione trascorre fino all'80-90% del tempo in ambienti chiusi, comprendendo gruppi più suscettibili quali bambini, anziani e persone già affette da patologie croniche (malattie cardiache, respiratorie, asma bronchiale, allergie). Non sono solo gli inquinanti indoor ad influenzare la qualità dell'aria di un ambiente confinato ma anche le condizioni dell'ambiente esterno, il design, i materiali da costruzione e gli impianti di riscaldamento, ventilazione e condizionamento svolgono un ruolo di primo piano nella definizione della stessa. Occorre considerare che questi fattori interagiscono tra di loro, incrementando il livello di contaminazione dell'aria indoor e generando situazioni potenzialmente di discomfort.



Esposizione media ad alcuni agenti inquinanti. Fonte: Sistemi di ventilazione per abitazioni monofamiliari e condominiali, Aldes S.p.a., www.aldesitalia.it. Rielaborazione

Le fonti di alcuni agenti inquinanti

Luogo	Fonti	Inquinanti
Abitazioni, locali ricreativi	Fumo di tabacco	Particolato; CO; VOC.
	Forni a gas	NO ₂ ; CO.
	Forni a legna e caminetti	Particolato; CO; IPA.
	Materiali da costruzione	Radon; formaldeide.
	Arredamenti e prodotti di consumo	Formaldeide; VOC.
	Caldaie a gas	Biossido di azoto; CO.
	Polvere	Agenti biologici.
	Materiale isolante	Asbesto, fibre di vetro.
	Superfici umide	Agenti biologici; particolato.
Uffici	Fumo di tabacco	Particolato CO; VOC.
	Materiali da costruzione	Formaldeide; VOC.
	Arredi	Formaldeide; VOC.
	Fotocopiatrici	VOC.
	Impianti di condizionamento	Agenti biologici, particolato, NO ₂ , CO.
Mezzi di trasporto	Fumo di tabacco	Particolato; CO; VOC.
	Inquinanti ambientali	Ozono negli aeromobili; CO e piombo negli autoveicoli.
	Condizionatori da automobile	Agenti biologici; particolato.

3.4.1 Principali agenti inquinanti

Biossido di azoto (NO₂)

In genere l'emissione è dovuta a una combustione incompleta. Danni causati: è altamente velenoso se assimilato in quantità superiori a certi valori; attacca i polmoni distruggendone le cellule, dilatandone i vasi e, in certe concentrazioni, alterando gravemente la circolazione.

Biossido di zolfo (SO₂)

Deriva dalla combustione di prodotti contenenti zolfo e in genere le concentrazioni all'interno sono allineate con quelle rilevabili all'esterno.

Danni causati: è irritante per gli apparati respiratorio e circolatorio.

Ossido di carbonio (CO)

Si presenta all'interno degli ambienti essenzialmente a causa di incompleti processi di combustione e fumo di tabacco, talvolta per le emissioni di veicoli a motore parcheggiati nei garage delle abitazioni.

Danni causati: l'elevata affinità per l'emoglobina, circa 200 volte maggiore di quella dell'ossigeno, determina la produzione di carbossiemoglobina estremamente pericolosa.

Anidride carbonica (CO₂)

Si presenta all'interno degli ambienti ed è causata da:

- persone, per effetto del metabolismo (l'aria espirata da un individuo contiene circa il 4% di anidride carbonica)
- fumo di tabacco
- processi di combustione.

Danni causati da CO₂: non è uno degli inquinanti più dannosi, le condizioni di pericolo si verificano infatti in caso di concentrazioni superiori al 5%; in genere può determinare mal di testa e riduzione delle capacità di critica e di giudizio.

Contaminanti organici (VOC Volatile Organic Compounds) e formaldeide (HCOH)

I composti organici volatili sono una grande famiglia di composti che hanno il punto di ebollizione fra 50-100 °C e 240-260 °C; appartengono a tale famiglia gli alcoli, gli esteri, i chetoni, i terpeni, gli idrocarburi aromatici, alifatici e clorurati e le aldeidi; tra queste ultime, la più importante dal punto di vista tossicologico e mutagenico è la formaldeide (HCOH). I VOC sono emessi da numerose sostanze (vernici, solventi e collanti, cosmetici e deodoranti, prodotti per le piante, schiume poliuretaniche, arredi a base di truciolato, tarmicidi, detersivi domestici, cere di pavimento, etc.), oltre che da processi di combustione, fumo di tabacco e metabolismo umano. L'emissione di HCOH aumenta all'aumentare della temperatura e dell'umidità.

Ozono (O₃)

Si può formare negli ambienti interni a causa di sorgenti di radiazioni UV (macchine fotocopiatrici e stampanti), di filtri elet-

Danni causati da brevi esposizioni all'HCOH	
concentrazione (mg/m3)	effetti osservati
0,2-2,5	irritazione oculare, lievi effetti neurologici
6-36	marcata irritazione delle vie aeree superiori
>12	morte degli animali da esperimento

trostatici adottati in alcuni impianti di condizionamento, e di ionizzatori. Una volta rimossa la fonte interna, la concentrazione si riduce rapidamente (il tempo di dimezzamento dell'ozono, cioè il tempo necessario a dimezzare la concentrazione iniziale, è minore di 30 minuti).

Danni causati: forte ossidante, l'ozono irrita gli occhi e l'apparato respiratorio, tende a ridurre la funzione polmonare e diminuisce le difese dell'organismo.

Fumo di tabacco

È formato da particelle e da gas risultanti dal processo di combustione del tabacco; oltre a provocare danni certi e gravissimi ai fumatori, è una delle principali cause di inquinamento. Il "fumo passivo" è formato sia dal fumo espirato da parte del fumatore (15%) sia da quello rilasciato dalla sigaretta durante gli intervalli tra un'inalazione e l'altra (85%); in esso sono state finora identificate oltre 2000 sostanze specifiche. Danni causati: la presenza di fumo rende sgradevole l'ambiente sia dal punto di vista olfattivo sia per l'irritazione agli occhi e alle mucose; vi sono inoltre forti sospetti che l'inalazione di fumo passivo provochi effetti patologici a danno dell'apparato respiratorio e aumenti il rischio di tumore polmonare.

Radon (Rn 222)

Gas radioattivo incolore, inodore, insapore, presente naturalmente nel suolo, chimicamente non reagente ma estremamente volatile. Deriva dal decadimento dell'uranio.

Sistemi di mitigazione del Radon

I principali sistemi di mitigazione si basano su:

- riduzione della quantità in ingresso di radon, attraverso metodi di raccolta prima dell'ingresso nelle abitazioni e/o modificando la differenza di pressione tra interno ed esterno;
- riduzione della concentrazione dopo l'ingresso attraverso la diluizione per mezzo della ventilazione.

Oltre ad essere un materiale radioattivo, comporta un aumento del rischio di sviluppo di tumori.

Microrganismi

Microrganismi allergizzanti sono batteri, funghi, virus, muffe, pollini, acari e bacilli la cui sorgente domestica è determinata dall'umidità dei muri, dai mobili, tappeti e animali. Danni causati: malattie respiratorie, allergie, raffreddori, influenze, polmonite.

► 3.4 | Il comfort dell'aria

3.4.2 Come si rilevano gli agenti inquinanti

Possono essere condotte analisi rilevando qualitativamente e quantitativamente uno o più agenti inquinanti di cui si sospetta la presenza. In funzione del tipo di inquinante da rilevare e della sua presunta concentrazione si avranno differenti metodologie analitiche da applicarsi. È richiesto un campionamento preliminare eseguito “filtrando” un determinato quantitativo di aria attraverso un materiale o un liquido che verrà sottoposto successivamente all’analisi. Per l’analisi di agenti biologici occorre dapprima favorire la riproduzione e lo sviluppo, in uno specifico terreno di coltura, dei microrganismi (batteri, virus, muffe, etc.) prelevati dagli impianti di condizionamento e di ventilazione, o raccolti nei filtri dei cam-pionatori d’aria. Si procederà, quindi, alla loro identificazione.

- Grandezze da considerare nella definizione dei valori limite:
- valori di picco TLV (Threshold Limit Value), da non superare mai;
 - valori di MAC (Maximum Allowable Concentration), riferiti alla media su otto ore;
 - valori di AIC (Acceptable Indoor Concentration), riferiti alla media annua;
 - altri valori limite valutati su differenti tempi di esposizione.

3.4.3 Strategie di controllo della qualità dell'aria indoor

Le strategie di bonifica si possono suddividere in due categorie principali:

- interventi sulla fonte inquinante
- interventi sull’aria presente in ambiente.

Fra i primi si ricordano la rimozione della fonte, il suo confina-mento, l’esalazione localizzata e il trattamento della fonte o in-capsulamento. Fra i secondi citiamo il controllo della ventilazione degli ambienti e il condizionamento ambientale, nonché l’adozione di appro-priate tecniche di filtrazione dell’aria.

Alcune tipologie di intervento	
Diossido di azoto	Ventilazione degli ambienti Filtrazione aria esterna - filtri ad assorbimento
Ossido di carbonio	Ventilazione degli ambienti - UNI CIG 7129-2001
Particelle di fumo	Rimozione della fonte Aspirazione forzata dell'inquinante
Formaldeide	Ventilazione degli ambienti Uso di materiali basso-emissivi Filtrazione aria esterna, filtri ad assorbimento
Radon	Ventilazione degli ambienti Uso di materiali basso-emissivi
Composti volatili organici	Ventilazione degli ambienti Uso di materiali basso-emissivi Corretta posa in opera
Microrganismi, allergizzanti	Filtrazione dell'aria Riduzione superfici assorbenti Ventilazione degli ambienti Materiali e tecniche costruttive Pulizia ambienti – manutenzione HVAC

La ventilazione

È possibile ricordare l’approccio soggettivo suggerito da Ole Fanger secondo cui la ventilazione deve dipendere dalla perce-zione olfattiva della qualità dell’aria interna più che dalla concen-trazione delle sostanze contenute. Questo perché si ha spesso un giudizio di insoddisfazione della qualità dell’aria di un ambiente anche in presenza di concentra-zioni di inquinanti inferiori ai valori di attenzione. Di contro, considerare l’odore prodotto dalle sostanze inquinan-ti come indicatore della qualità dell’aria non è però sufficiente: alcune sostanze molto dannose per l’uomo (CO, CO₂, radon, etc.) possono infatti sfuggire alla sensazione olfattiva. Secondo Fanger l’insoddisfazione è dovuta al cattivo odore causato principalmente da:

- le persone e le loro attività;
- i materiali da costruzione e gli arredi;
- le sostanze chimiche usate per la pulizia;
- gli stessi impianti di ventilazione e condizionamento.

Possiamo definire il carico inquinante complessivo quale som-ma dei contributi delle varie fonti, valutando l’effetto comples-sivo, potenzialmente non accettabile, della somma di eventuali inquinanti, singolarmente presenti in concentrazioni inferiori ai valori accettabili.

Olf

La capacità o carico inquinante olfattivo equivalente (G) di una sorgente, espresso in olf, rappresenta il tasso di produzione di cattivo odore delle diverse fonti (stimolo). Un olf rappresenta il tasso di sostanze inquinanti emesso da una persona normale (adulto, impegnato in attività sedentaria, in condizioni di benes-sere termico, con un adeguato standard igienico). Fanger ha poi fornito tabelle di capacità inquinante ottenute me-diante sperimentazione statistica su differenti gruppi di soggetti.

Fattore inquinante	Capacità inquinante (olf)
Persona seduta (1 met)	1,0
Persona con attività (4 met)	5,0
Persona con attività (6 met)	11,0
Fumatore (mentre fuma)	25,0
Fumatore (1.2 sigarette/ora)	6,0
Bambino 3-6 anni (2,7 met)	1,2
Studente 14-16 anni (1,2 met)	1,3
Uffici (1 m²)	0,3
Classi scolastiche (1 m²)	0,3
Asili (1 m²)	0,4

È ancora possibile introdurre il livello di inquinamento olfattivo equivalente (ζ), espresso in decipol, che rappresenta la perce-zione olfattiva (sensazione) di inquinamento dell’aria percepita dalle persone. Un decipol viene definito come l’inquinamento percepito in un ambiente con ricambio d’aria di 10 l/s e causato da una persona normale (1 olf).



La relazione fra *olf* e *decipol* è data da:

$\zeta = 10 \text{ G/Q}$

dove
Q = portata di ventilazione in l/s

Se Q è espresso in mc/h al posto di 10 si usa 36.

Come precedentemente visto in termini di valutazione del com-fort termoigrometrico è possibile legare la percezione olfattiva (decipol) e la percentuale di persone insoddisfatte della qualità dell’aria ambiente (PD), ancora una volta eseguendo indagini statistiche su differenti gruppi di persone.

La relazione finale sarà:

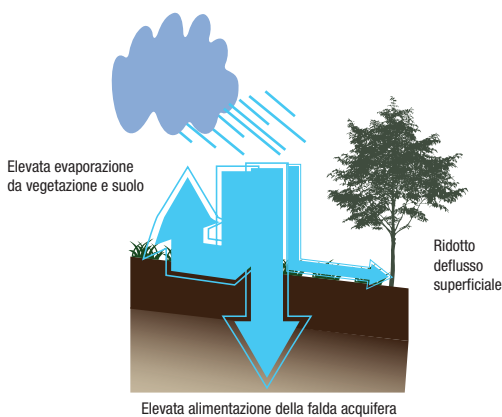
$PD = 395 e^{-3.25 Y}$

dove
 $Y = \zeta^{-0.25}$

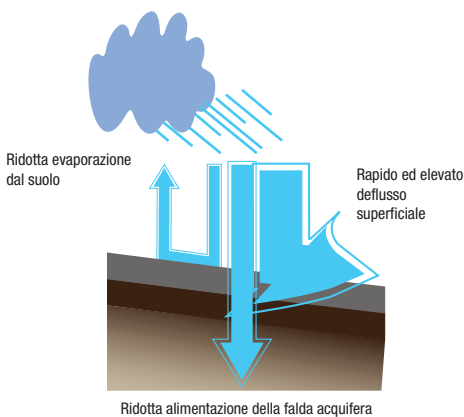
3.5 | Gestione sostenibile delle acque

Nell'ambito di un approccio sostenibile alla progettazione edilizia, ma non solo, sappiamo che, stante la limitatezza delle riserve mondiali di acqua potabile, occorre agire per limitarne i consumi eccessivi ed azzerare, o almeno ridurre fortemente, tutti i possibili sprechi. In tale senso diventa essenziale pensare ad un utilizzo consapevole dell'acqua piovana, recuperata attraverso idonei meccanismi, ad esempio sottoponendola ad un primo ciclo di depura-

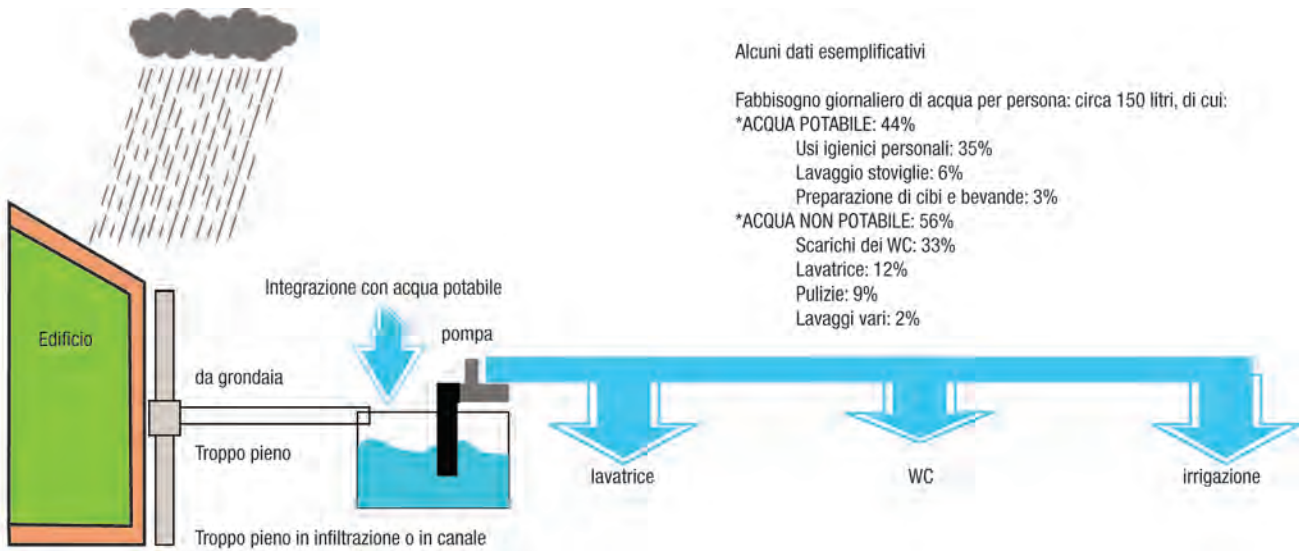
zione per la successiva raccolta in cisterne e serbatoi, evitando il deflusso incontrollato nel suolo. Ovunque non sia richiesta acqua potabile di qualità si può utilizzare l'acqua piovana, senza rinunciare a igiene e comodità. In campo industriale sono molteplici gli ambiti di impiego: l'acqua di servizio può essere utilizzata, oltre che per sanitari e l'irrigazione di aree verdi, anche per le operazioni di lavaggio e pulizia, per impianti di raffreddamento e come acqua di lavorazione.



Effetti di una superficie non impermeabilizzata



Effetti di una superficie impermeabilizzata



Schema di raccolta ed utilizzo delle acque piovane.

Alcuni dati esemplificativi

Fabbisogno giornaliero di acqua per persona: circa 150 litri, di cui:

*ACQUA POTABILE: 44%

Usi igienici personali: 35%
Lavaggio stoviglie: 6%
Preparazione di cibi e bevande: 3%

*ACQUA NON POTABILE: 56%

Scarichi dei WC: 33%
Lavatrice: 12%
Pulizie: 9%
Lavaggi vari: 2%

Per una corretta gestione integrata delle acque possiamo citare alcuni principi fondamentali:

- contenimento dei deflussi delle acque meteoriche;
- recupero e utilizzo delle acque meteoriche;
- infiltrazione delle acque meteoriche;
- immissione delle acque meteoriche in acque superficiali.

Contenimento dei deflussi delle acque meteoriche

Per contenimento dei deflussi superficiali delle acque meteoriche occorre ridurre – o meglio evitare – l'impermeabilizzazione del suolo, impiegando pavimentazioni permeabili, soprattutto quando l'uso delle superfici non necessita di rivestimenti molto resistenti.

Si possono prevedere pavimentazioni permeabili per cortili, spiazzi, stradine, piste pedonali e ciclabili, strade d'accesso e parcheggi.

In caso di risanamenti, manutenzioni o ampliamenti si può ottenere una ripermabilizzazione del suolo sostituendo rivestimenti impermeabili con pavimentazioni permeabili.

Una seconda soluzione è rappresentata dai tetti verdi i quali, a seconda della tipologia, possono trattenere fra il 30 e il 90% delle acque meteoriche.

I tetti verdi sono costituiti da strati sovrapposti: essenzialmente un'impermeabilizzazione resistente alle radici, uno strato di separazione e protezione, uno strato filtrante e un substrato. Il substrato, di spessore almeno pari a 8 cm, può essere rinverdito in modo vario.

Il verde pensile, inoltre, comporta ancora ulteriori vantaggi:

- miglioramento dell'isolamento termico;
- miglioramento del microclima;
- assorbimento e filtraggio delle polveri atmosferiche;
- miglioramento della qualità della vita e della qualità del lavoro.

Recupero e utilizzo delle acque meteoriche

I principali dati reperibili affermano che in Italia il consumo giornaliero d'acqua potabile dei nuclei familiari è pari a circa 150 litri per persona, variamente distribuito fra servizi igienici, uso di lavatrici e lavastoviglie, irrigazione di orti e giardini, etc.

Si può quindi suggerire di utilizzare le acque meteoriche per le operazioni di pulizia domestica, lavatrici, lavastoviglie, opere di irrigazione degli orti e dei giardini e per i servizi igienici, arrivando a risparmiare circa 75 litri di acqua potabile, quindi con un risparmio medio del 50%.

La principale metodologia di raccolta delle acque meteoriche prevede lo sfruttamento della copertura, avendo cura di evitare tetti realizzati con elementi privi di trattamenti protettivi in rame, zinco o piombo. Semplificando il sistema si può ricorrere ad un semplice serbatoio di raccolta, privo di strumenti di filtro e pompaggio: in tal caso si potranno utilizzare le acque raccolte unicamente a scopo irriguo.

Un impianto d'utilizzo dell'acqua meteorica è costituito dai seguenti componenti base:

- serbatoio
- filtro
- pompa
- integrazione con acqua potabile e seconda rete di condotte
- scarico di troppo pieno.

Per quanto riguarda le necessarie operazioni di manutenzione, ricordiamo che la pulizia dei filtri dovrebbe essere effettuata almeno due volte l'anno (primavera e autunno), mentre la pulizia del serbatoio è necessaria solo se l'acqua diventa maleodorante oppure se lo spessore dello strato dei sedimenti accumulati sul fondo del serbatoio diventa troppo elevato.

Infiltrazione delle acque meteoriche

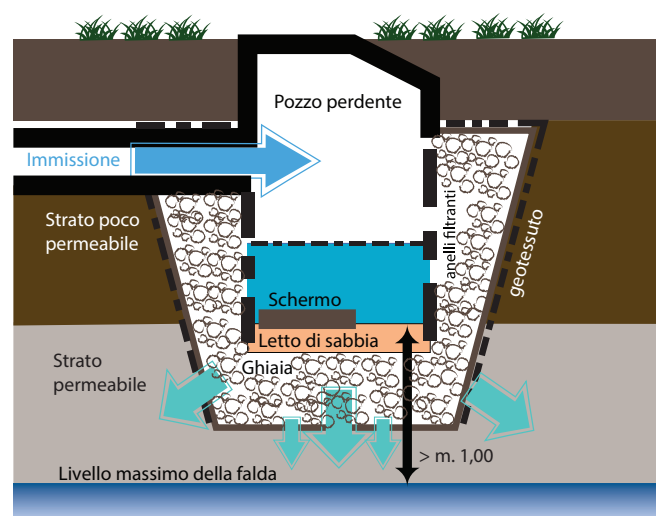
In questo caso è di fondamentale importanza valutare correttamente l'eventuale inquinamento delle acque meteoriche, questa tecnica si può applicare in presenza di suoli con una permeabilità sufficiente.

Il dimensionamento degli impianti d'infiltrazione va calcolato secondo normative tecniche riconosciute.

Tra le differenti tecniche di infiltrazione possiamo distinguere fra impianti d'infiltrazione superficiale e impianti sotterranei d'infiltrazione. L'infiltrazione superficiale avviene tramite immissione superficiale delle acque meteoriche in superfici piane, in fossi o in bacini: l'infiltrazione avviene di regola attraverso uno strato superficiale di terreno organico rinverdito (terreno rinverdito), al fine di garantire una buona depurazione delle acque meteoriche, e quindi da preferire. Nei sistemi sotterranei di infiltrazione, invece, si immette l'acqua meteorica attraverso trincee d'infiltrazione o pozzi perdenti. Si ha una minore richiesta di superficie filtrante, ma, essendo assente lo strato superficiale del terreno, vengono a mancare gli effetti di depurazione.



Esempio di bacino di infiltrazione. Linee guida per la gestione sostenibile delle acque meteoriche, Provincia autonoma di Bolzano. Rielaborazione



Esempio di pozzo perdente. Fonte: *Linee guida per la gestione sostenibile delle acque meteoriche*, Provincia autonoma di Bolzano. Rielaborazione

Si preferisce, pertanto, impiegare tale tecnica in presenza di acque meteoriche poco inquinate, prevedendo altrimenti l'integrazione con un impianto di pretrattamento. È sempre possibile combinare le suddette differenti metodologie citate, come ad esempio avviene con i fossi di dispersione abbinati alle sottostanti trincee di infiltrazione.

Immissione delle acque meteoriche in acque superficiali

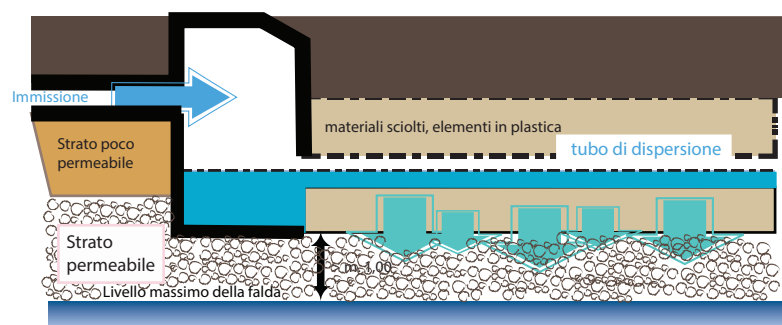
In tal caso occorre ricordare che le acque meteoriche risentono sia dell'inquinamento presente in atmosfera ma soprattutto si caricano delle sostanze presenti sulle superfici che vengono dilavate dalle piogge: in genere l'inquinamento delle acque di prima pioggia risulta decisamente superiore rispetto alle successive acque di pioggia.

Per tale motivo, in relazione al carico inquinante presente, occorre valutare l'utilizzo di un eventuale pretrattamento (fisico, biologico o combinato), precedentemente all'infiltrazione o all'immissione nelle acque superficiali.

Utilizzando pretrattamenti fisici le sostanze inquinanti pesanti si depositano sul fondo, nei cosiddetti manufatti di sedimentazione, che possono trattenere anche le sostanze più leggere dell'acqua, come olio o benzina (separatore di fluidi leggeri).

In caso di necessità di depurazioni più marcate occorre utilizzare adeguati impianti di depurazione per le acque meteoriche, i quali necessitano, però, di discrete superfici e di manutenzione periodica.

Nel caso dei pretrattamenti biologici le acque meteoriche vengono depurate tramite il passaggio attraverso uno strato di suolo rinverdito ed eventualmente vegetato con piante. Tale tecnica, denominata "suolo o terra filtrante", realizza la co-



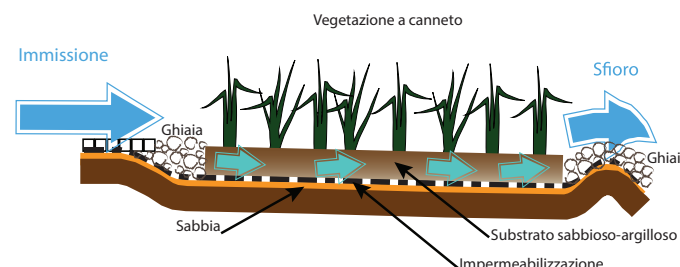
Esempio di trincee di infiltrazione. Fonte: *Linee guida per la gestione sostenibile delle acque meteoriche*, Provincia autonoma di Bolzano. Rielaborazione

siddetta fitodepurazione, cioè una depurazione naturale delle acque sfruttando le capacità depurative naturali del suolo e delle piante.

In mancanza di allacciamento ad impianti di depurazione per il trattamento delle acque reflue risulta possibile l'impiego di impianti di fitodepurazione: si utilizzano, cioè, depressioni o bacini naturali con fondo impermeabile, riempiti di uno strato di terreno organico che funge da suolo filtrante.

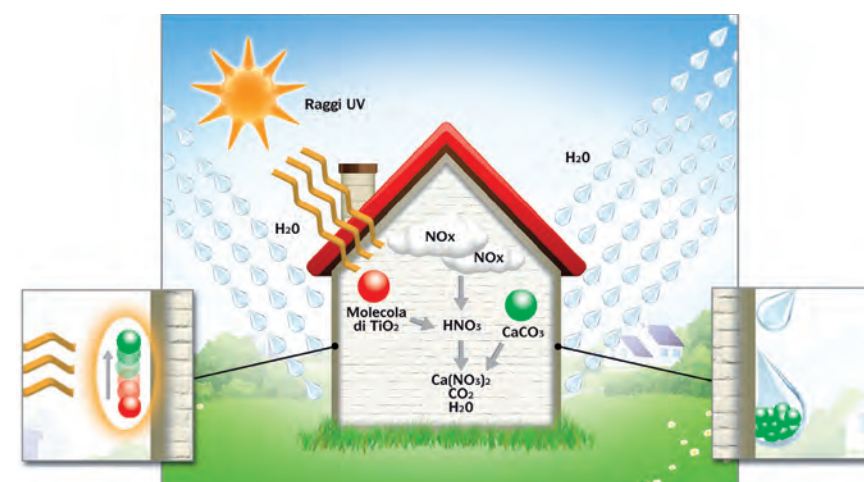
Si attua, quindi, una depurazione meccanica e biologica: l'acqua depurata sfiora attraverso il troppo pieno oppure defluisce tramite una condotta drenante.

L'immissione delle acque meteoriche nelle acque superficiali permette di sollecitare in minor misura le reti urbane di drenaggio, permettendo un risparmio nella realizzazione di nuovi impianti grazie ai ridotti diametri necessari.



Esempio di suolo filtrante. Fonte: *Linee guida per la gestione sostenibile delle acque meteoriche*, Provincia autonoma di Bolzano. Rielaborazione

SIKKENS ALPHA AEROXANE



di calcio dell'intonaco (CaCO_3), favorisce la decomposizione degli inquinanti (NO_x), trasformandoli in composti non pericolosi per l'ambiente ($\text{Ca(NO}_3)_2$), successivamente dilavati dall'acqua piovana.

Test di laboratorio certificano che Alpha Aeroxane è in grado di abbattere fino all'80% degli NO e fino al 50% degli NO_x .

AkzoNobel Coatings è presente in Italia con il marchio Sikkens dal 1958.

Nel rispetto dei principi della sostenibilità l'azienda ha sviluppato, negli anni, una gamma di prodotti e sistemi vernicianti sempre più performanti e tecnologicamente avanzati, formulati in base alle più restrittive normative vigenti, rispettosi dell'ambiente e finalizzati al miglioramento della qualità di vita negli spazi costruiti.

AkzoNobel Coatings, socio di Green Building Council Italia, nella sua gamma annovera prodotti rispondenti a criteri LEED per la certificazione di progetti innovativi e sostenibili.

Alpha Aeroxane è una idropittura opaca per esterni, a base di resina acrililossanica, con proprietà fotocatalitiche che la rendono particolarmente indicata per impieghi in aree urbane ad elevato tasso di inquinamento atmosferico, in quanto attiva nel ridurre la concentrazione di sostanze inquinanti presenti nell'aria, in particolare ossidi di azoto (NO_x), derivanti da gas di scarico e di combustione.

Alpha Aeroxane può essere utilizzata su ogni tipologia di edificio e, grazie alla sua composizione chimica, oltre a garantire un'elevata permeabilità al vapore acqueo e una spiccata idrorepellenza nei confronti dell'acqua piovana, conferisce al prodotto una buona resistenza alla crescita di microrganismi.

Nel tempo l'invecchiamento della pittura avviene per progressivo sfarinamento superficiale, paragonabile a quello dei prodotti minerali, consentendo una forte riduzione del deposito di sporco superficiale.

Il principio chimico su cui si basa l'efficacia di Alpha Aeroxane è la fotocatalisi, reazione chimica in cui il biossido di titanio (TiO_2) fotocatalitico viene attivato dai raggi solari e, in combinazione con l'umidità ambientale (H_2O) e il carbonato

Caratteristiche tecniche

Valore limite UE per il contenuto COV:

Cat. A/c: 40 g/l (2010)

Alpha Aeroxane contiene al massimo 40 g/l di COV.

Resa: 7 – 10 m^2/l per mano.

Sopraverniciabile: Dopo 12 ore a 23°C e 65% UR

Valori fisici secondo EN 1062

Aspetto del film:

G_3 Opaco: $\leq 10 \text{ GU } 85^\circ$; ca. 1 $\text{GU } 85^\circ$

Permeabilità al vapore (ISO 7783-2):

V1 Alta: $S_d < 0,14 \text{ m}$; $V > 150 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$

Permeabilità all'acqua:

W3 Bassa: $W \leq 0,1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0,5})$

AkzoNobel

sikkens

AKZO NOBEL COATINGS S.p.A

Via G. Pascoli, 11 - 28040 Dormelletto (NO)
Tel. 0322 401611 - Fax 0322 401607

Numero Verde 800 826 169

www.sikkens.it
servizio.clienti@akzonobel.com



Sikkens ha sviluppato una gamma di prodotti che rispondono a specifiche esigenze igieniche, ideali per ambienti legati al mondo sanitario quali ospedali, case di riposo, ambulatori, centri di riabilitazione, centri benessere, asili nido e scuole materne.

Alpha SanoProtex rappresenta la proposta più innovativa nell'ambito di questo assortimento: un'idropittura lavabile per interni, a base di legante acrilico, esente da composti nocivi che, con la sua particolare composizione, contribuisce a ridurre i rischi di infezione.

Alpha SanoProtex è efficace nell'inibire la proliferazione batterica entro 12 ore dalla contaminazione delle più comuni colonie di batteri: *Staphylococcus*, *Pseudomonas Aeruginosa*, *MRSA*, *E-Coli*, *Acinetobacter Baumannii*, *Enterococcus Hirae* e *Streptococcus pneumoniae*. (Test istituto IMSL Hampshire – Gran Bretagna)

Il potere inibente dell'idropittura è dato dalla presenza in formulazione degli ioni argento, attivi nei confronti dei batteri. Gli ioni argento, già da anni ampiamente utilizzati in campo medicale, sono efficaci anche a bassa concentrazione ed aumentano la loro capacità inibente quando il film di pittura viene sottoposto a lavaggio e sfregamento.

Alpha SanoProtex, una volta essiccato, crea un film con caratteristiche di elevata lavabilità e resistenza all'abrasione umida che gli consente di sopportare ripetuti cicli di pulizia effettuati con i più comuni detergenti, mantenendo inalterata la sua efficacia. (Test istituto PILF – Colonia Germania)

Alpha SanoProtex è ideale per aree ad alta frequentazione che richiedono cicli di pulizia regolari come locali per terapia o locali pubblici in quanto, unitamente a profilassi igienica, favorisce il mantenimento di un ambiente salubre e sanificato.

Alpha SanoProtex, inoltre, isola macchie tenaci di Isobettadine e di altri disinfettanti comunemente impiegati.

Caratteristiche tecniche

Valore limite UE per il contenuto COV:

Cat. A/c: 30 g/l (2010). Questo prodotto contiene al massimo 10 g/l di COV.

Resa: 12 – 16 m²/l per mano.

Sopraverniciabile: Dopo 3 - 4 ore a 23°C e 65% UR

Valori fisici secondo EN 13300

Brillantezza: G₃ Opaco: ≤10 GU 85°

Spessore del film secco: E₂: > 50 ≤ 100 μm

Potere coprente: Classe 1: ≥ 99,5% (6 m²/l)

Abrasione a umido: Classe 1: < 5 μm dopo 200 cicli

Certificazioni

La sopravvivenza dei batteri su Alpha SanoProtex

Report: IMSL2009/4/009.2B

Istituto IMSL – Hampshire. Gran Bretagna

Resistenza di Alpha SanoProtex ai disinfettanti

Report: 091022 - 1

Istituto PILF – Colonia. Germania



AKZO NOBEL COATINGS S.p.A

Via G. Pascoli, 11 - 28040 Dormelletto (NO)
Tel. 0322 401611 - Fax 0322 401607

Numero Verde 800 826 169

www.sikkens.it
servizio.clienti@akzonobel.com



Alpha LumiMax Mat SF è un'idropittura murale lavabile per interni, opaca, ad effetto liscio, esente da solventi (Solvent Free - SF), sviluppata specificatamente per aumentare la riflettanza (capacità di riflettere il flusso luminoso incidente) delle pareti su cui è applicata, da un minimo del 12% fino ad massimo del 38%.

La riflettanza è la proporzione di luce incidente che una data superficie è in grado di riflettere ed è rappresentata dal rapporto tra l'intensità del flusso luminoso riflesso e l'intensità del flusso incidente.

Test effettuati dall'Istituto Britannico BRE - Building Research Establishment - certificano che la riflettanza delle pareti su cui è stata applicata la pittura Alpha LumiMax Mat SF è superiore in media del 25% rispetto alla stessa capacità delle pareti trattate con un'idropittura lavabile comune. Alpha LumiMax Mat SF permette di ottenere un illuminamento ottimale degli ambienti interni sfruttando maggiormente la luce naturale, riducendo il numero e la potenza dei corpi illuminanti e, di conseguenza, consentendo di contenere il consumo di energia elettrica.

Alpha LumiMax Mat SF nella colorazione bianca ha ottenuto l'etichettatura europea Ecolabel, che identifica prodotti affidabili e con ridotto impatto ambientale durante il proprio ciclo di vita.

Alpha LumiMax Mat SF rientra nella gamma di prodotti Sikkens "EcoSure" caratterizzati da elevata qualità prestazionale, innovazione tecnologica, basso impatto ambientale e miglior rapporto tra durata, resa estetica e costo. I prodotti EcoSure sono contraddistinti dal logo a forma di goccia "Eco".

Il corretto ciclo di applicazione prevede due riprese di pittura Alpha LumiMax Mat SF sopra ad una mano di fondo preparatorio opportunamente scelto in base alle condizioni del supporto murario.

Caratteristiche tecniche

Valore limite UE per il contenuto COV:

Cat. A/c: 30 g/l (2010). Questo prodotto contiene al massimo 1 g/l di COV.

Resa: 12 – 14 m²/l per mano.

Sopraverniciabile: Dopo 3 - 4 ore a 23°C e 65% UR

Valori fisici secondo EN 13300

Brillantezza: G₃ Opaco: ≤10 GU 85°; < 5 G. 85°

Spessore del film secco: E₂: 50 μm

Granulometria: S₁ Fine: < 100 μm

Potere coprente: Classe 1: ≥ 99,5% (6 m²/l)

Abrasione a umido: Classe 2: ≥ 5 μm < 20 μm dopo 200 cicli

Certificazioni

Misurazione della luminosità in stanze campione con differenti pitture

Report: 276-463

Istituto Building Research Establishment (BRE)



AKZO NOBEL COATINGS S.p.A

Via G. Pascoli, 11 - 28040 Dormelletto (NO)
Tel. 0322 401611 - Fax 0322 401607

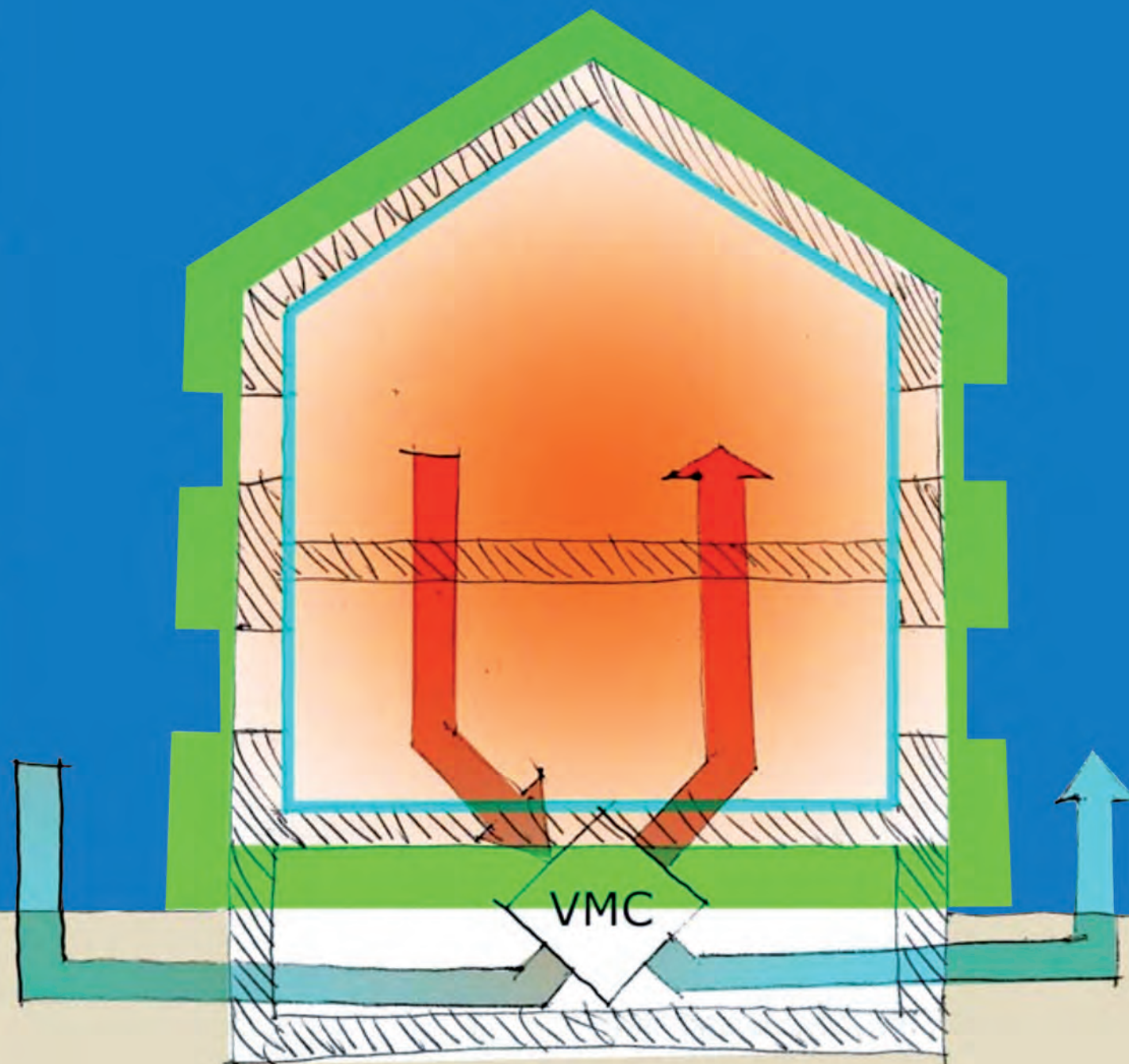
Numero Verde 800 826 169

www.sikkens.it
servizio.clienti@akzonobel.com

IL BILANCIO ENERGETICO

Il freddo ha mille forme e mille modi di muoversi nel mondo:
sul mare corre come una mandria di cavalli,
sulle campagne si getta come uno sciame di locuste,
nelle città come lama di coltello taglia le vie
e infila le fessure delle case non riscaldate.

Italo Calvino, Marcovaldo



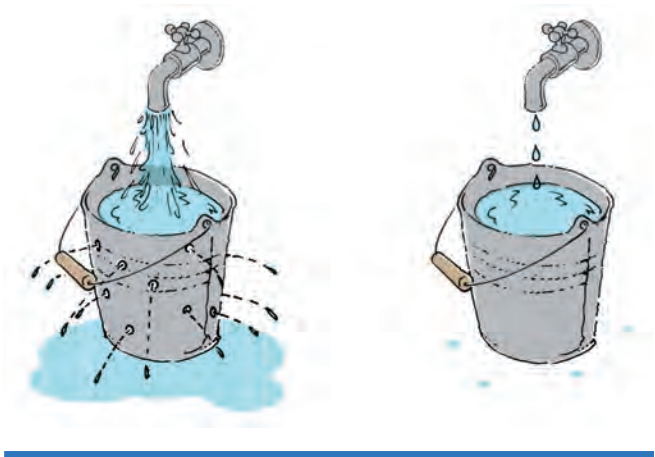
4

Il bilancio energetico

Se analizziamo i dati statistici circa il consumo energetico totale degli edifici durante la loro vita utile – quello che abbiamo battezzato contenuto “esplicito” di energia – risulta che il 70% del totale è speso per la loro climatizzazione, cioè per mantenere al loro interno, in ogni stagione dell’anno, il livello di comfort termico ottimale per le persone che li occupano, mentre il rimanente 30% è usato per l’illuminazione e i consumi di elettrodomestici.

La maggior parte del consumo energetico degli edifici è quindi dovuto alla quantità di energia termica che è necessario **introdurre nei periodi freddi** (riscaldamento invernale) a compensazione delle perdite di calore attraverso il loro involucro e alla quantità di energia termica che è necessario invece **estrarre nei periodi caldi** (raffrescamento estivo) per compensare l’eccessivo ingresso di calore attraverso il loro involucro.

Si può paragonare l’involucro dell’edificio, per il periodo invernale, a un secchiello bucato nel quale l’acqua (il calore) debba essere mantenuta a un determinato livello (comfort termico) aprendo abbondantemente il rubinetto (impianto di riscaldamento).



Il bilancio energetico con un involucro inefficiente a sinistra e con un involucro efficiente a destra.

mento) per compensare le grandi perdite di liquido (dispersioni termiche) attraverso i buchi (scarsa coibentazione e ponti termici). Un esempio simile può esser fatto per il periodo estivo, paragonando l’edificio a una nave che per espellere fuori bordo l’acqua (calore indesiderato) imbarcata attraverso alcune falle nello scafo (involucro) è costretta ad utilizzare un pompa (condizionatore)..

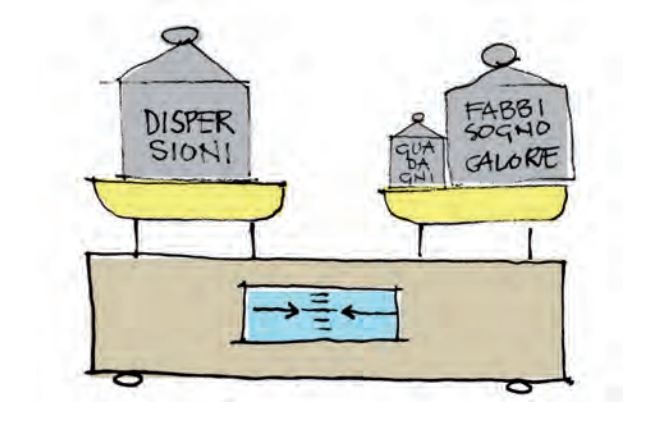
La soluzione più efficace – e intuitiva – per gli esempi dati, è indubbiamente tappare i buchi nel secchiello e riparare le falle nello scafo.

Nella realtà tutte le perdite invernali e gli accumuli estivi di calore passano sempre attraverso l’involucro edilizio, e il compito di introdurre o estrarre energia termica dall’edificio per compensare tali perdite o accumuli e mantenere il livello di comfort è affidato agli impianti di riscaldamento invernale e raffrescamento estivo: **questo è il cosiddetto sistema edificio-impianto.**

Ai fini dell’efficienza energetica complessiva nel sistema edificio-impianto e della conseguente sostenibilità ambientale degli edifici, il primo passo da compiere è quello di rendere molto efficiente l’involucro edilizio, cioè “tappare i buchi”.

► 4.1 | Il fabbisogno energetico

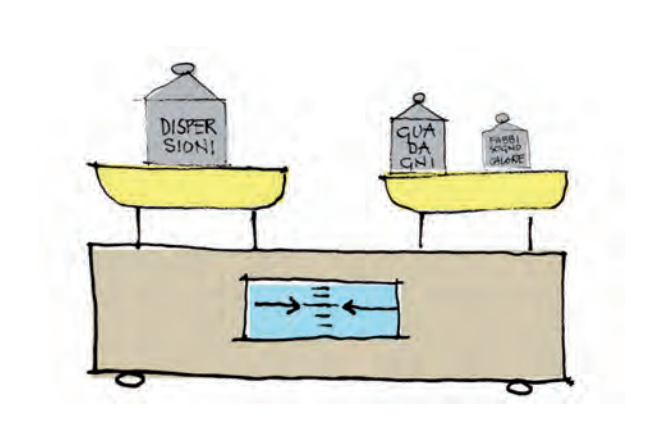
Gli esempi fatti rappresentano a ben vedere un vero e proprio bilancio, che in questo caso prende il nome di **bilancio energetico**. In inverno la parte passiva di questo bilancio è costituita dalle dispersioni, cioè dal calore che sfugge attraverso l’involucro per trasmissione e per ventilazione, mentre la parte attiva sono i guadagni. Si tratta di guadagni in parte gratuiti, come la radiazione solare che penetra nell’edificio attraverso le finestre e il calore sviluppato dagli apparecchi interni (per esempio di illuminazione) e dal metabolismo delle persone che occupano l’edificio, e in parte non gratuiti, come la quantità di calore che il sistema di riscaldamento deve immettere



Il bilancio energetico in inverno: da un lato le dispersioni, bilanciate dall’altro dai guadagni gratuiti e dal calore immesso dall’impianto di riscaldamento (fabbisogno energetico).

negli ambienti per compensare le perdite, che costituisce il fabbisogno energetico. In estate è esattamente l’inverso: le dispersioni di calore verso l’esterno sono vantaggiose, i guadagni no.

Minimizzando le dispersioni e massimizzando i guadagni gratuiti, si riduce al minimo – e al limite si annulla – il fabbisogno residuo di energia necessario per mantenere le condizioni di comfort negli ambienti interni; questo fabbisogno residuo può – anzi, deve – essere soddisfatto mediante impianti alimentati con energia da fonti rinnovabili.



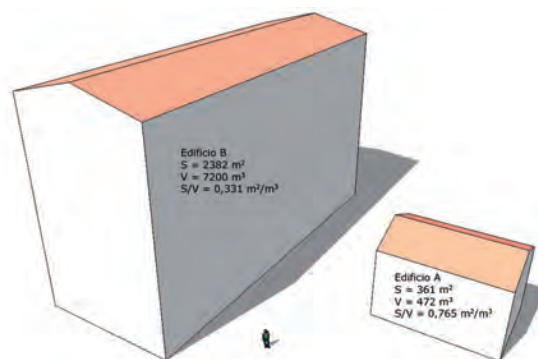
Il bilancio energetico una volta minimizzate le dispersioni e massimizzato i guadagni: il fabbisogno energetico residuo è minimo.



► 4.2 | Alcune regole per un involucro efficiente

Per ottimizzare il bilancio energetico visto nei paragrafi precedenti è quindi necessario:

- **verificare la compattezza del volume lordo riscaldato** tramite il rapporto tra la superficie lorda disperdente che lo delimita e il volume lordo riscaldato. Tale rapporto è detto **rapporto di forma**, è indicato con S/V e si misura in m^2/m^3 : più questo valore è basso più il volume è compatto e più facilmente si mantiene il calore. Il rapporto di forma non deve naturalmente condizionare in maniera tassativa le scelte architettoniche (altrimenti si progetterebbero solo sfere), ma è bene tenerlo a mente soprattutto nella progettazione di nuovi edifici, in particolare quelli di piccola volumetria, sapendo che a parità di prestazioni energetiche con valori alti del rapporto S/V servono strati più spessi di coibentazione.



Rapporto di forma S/V : più è basso più il volume è compatto e meno disperde calore.

- **ridurre le dispersioni per trasmissione**, coibentando tutto l'involucro con uno strato ininterrotto di coibentazione di spessore tale da minimizzare la trasmittanza termica di tutte le strutture di cui è composto. Per verificare in maniera empirica la continuità di tale strato sui disegni di progetto basta percorrerlo con un pennarello su tutte le piante e tutte le sezioni: se si è costretti ad alzare il pennarello per completare il giro e tornare al punto di partenza vuol dire che c'è una "falla" nello strato coibente che va necessariamente risolta.

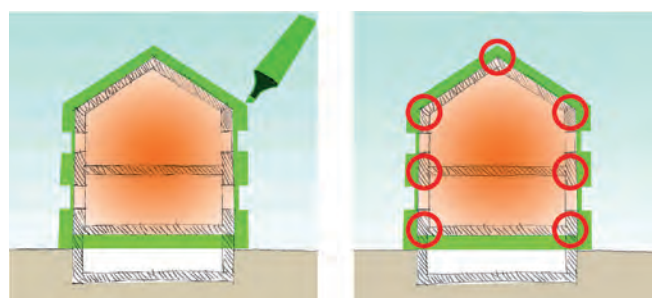
Tale verifica empirica è detta **Regola del pennarello**.

Necessariamente questo implica la risoluzione dei cosiddetti ponti termici dovuti alle caratteristiche geometriche e strutturali dell'involucro stesso.

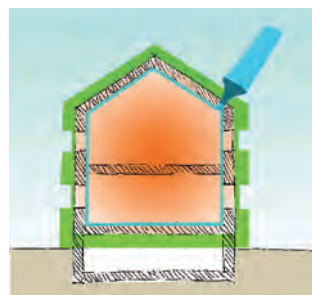
- **utilizzare serramenti con prestazioni energetiche molto alte**, correttamente installati, per non creare una discontinuità nello strato coibente e per non interrompere lo strato di tenuta all'aria.

- **ridurre le dispersioni per ventilazione**, ossia verificare la perfetta tenuta all'aria dell'involucro. È necessario control-

lare che lo strato responsabile della tenuta all'aria avvolga senza interruzioni tutto l'involucro: anche in questo caso è applicabile la regola del pennarello. I punti più delicati sono l'installazione dei serramenti, porte e finestre, gli attraversamenti impiantistici dell'involucro e, negli edifici costruiti con tecniche a secco, tutte le giunzioni fra i vari componenti. Nelle costruzioni in muratura generalmente tale strato è costituito dall'intonaco interno, mentre nelle costruzioni a secco è necessaria l'introduzione di una specifica guaina adeguatamente nastrata.



Regola del pennarello sullo strato coibente e ponti termici.



Regola del pennarello applicata allo strato responsabile della tenuta all'aria.

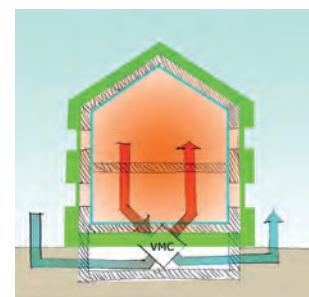
La verifica strumentale della tenuta all'aria dell'edificio si effettua tramite il cosiddetto *Blower-Door Test* eseguito in conformità alla norma UNI EN ISO 13829, ossia sottoponendo l'edificio a una sotto-pressione e sovra-pressione di 50 Pascal, e misurando in queste situazioni il ricambio d'aria naturale: per edifici ad alta efficienza energetica tale ricambio deve essere inferiore a 2 Volumi/ora, per edifici ad altissima efficienza energetica non deve superare 1 Volume/ora e per gli edifici passivi 0,6 Volumi/ora. Il ventilatore che crea le condizioni di sovrappressione e sottopressione, e che misura il ricambio conseguente, viene installato al posto di una porta di ingresso.



Macchina per l'esecuzione del *Blower-Door Test* applicata nel vano di una porta.

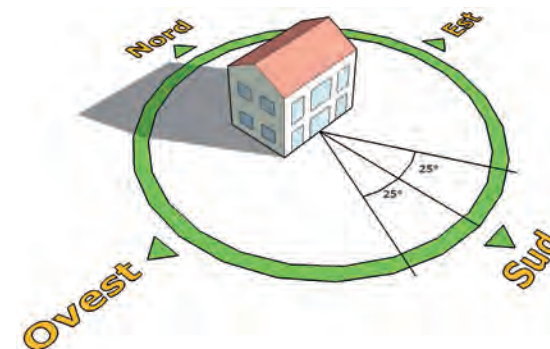
Ventilazione degli ambienti: manuale o meccanizzata

Per assicurare comunque il ricambio d'aria sanitario minimo indispensabile negli ambienti interni degli edifici, a fronte della tenuta all'aria dell'involucro per motivi energetici, è indispensabile arieggiare, o manualmente o meccanicamente. Il tasso di ricambio necessario dipende dalla destinazione d'uso degli ambienti ed è comunque compreso generalmente tra 15-40 mc/h per persona. Se si arieggia manualmente, per non disperdere troppo calore, lo si deve fare per brevi periodi (massimo 4-5 minuti) molte volte al giorno (almeno 6-8 volte): il risultato è però mediocre sia sul piano sanitario che energetico. Migliori risultati sia sul piano sanitario che energetico si ottengono tramite la ventilazione meccanizzata controllata (VMC) a flussi incrociati, che permette un costante e ideale ricambio di aria e il recupero quasi totale del calore.



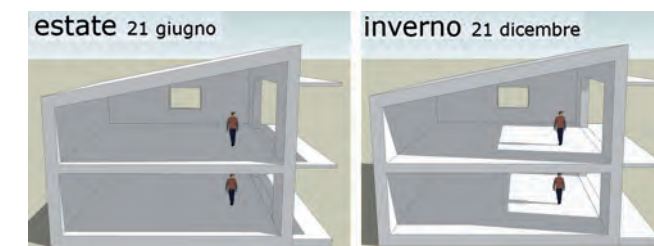
Schema di funzionamento dell'impianto di ventilazione meccanizzata a flussi incrociati con recupero di calore VMC.

- **massimizzare i guadagni gratuiti invernali orientando correttamente l'edificio**, con deviazione massima rispetto al sud compresa entro $\pm 25^\circ$ per favorire il più possibile durante il periodo invernale l'ingresso della radiazione solare all'interno dell'edificio: è regola generale che la percentuale di superficie vetrata verso sud sia all'incirca del 40%, a est e ovest intorno al 25% e a nord non oltre il 15%. È inoltre necessario che le strutture interne dell'edificio abbiano una capacità termica superficiale tale da poter immagazzinare il più possibile il calore trasportato dalla radiazione solare: sono per esempio utili pavimenti e sottofondi massicci, pareti in muratura, pareti interne massicce in terra cruda.



Per massimizzare i guadagni solari l'orientamento ideale dell'edificio è perfettamente a Sud con deviazione massima di $\pm 25^\circ$. Percentuale di superficie finestrata ideale è 40% a sud, 25% a est e a ovest e 15% massimo a nord.

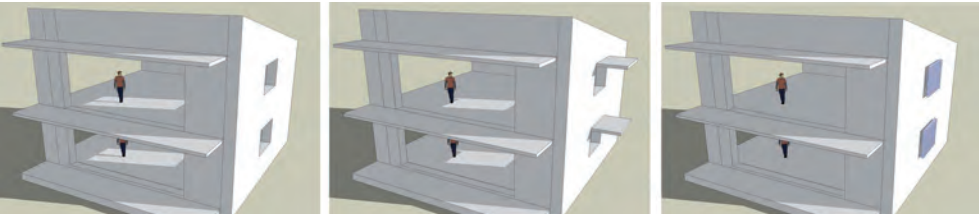
- **predisporre una schermatura solare estiva delle strutture trasparenti**. Anche strutture con ottimi valori di sfasamento e smorzamento non possono niente contro il surriscaldamento dovuto all'ingresso del sole da finestre non schermate. I sistemi di schermatura solare devono sempre essere esterni al vetro per essere efficaci. Una volta che il sole ha attraversato il vetro il danno è fatto. Le finestre a sud possono essere efficacemente ombreggiate con sporti fissi, dimensionati in modo tale da non permettere alla luce del sole di penetrare attraverso le finestre nelle ore centrali della giornata estiva, quando il sole è alto sull'orizzonte, ma che la lascino entrare d'inverno quando il sole è più basso sull'orizzonte.



Ombreggiamento delle finestre a sud possibile con sporti fissi.

► 4.2 | Alcune regole per un involucro efficiente

Le finestre a est e ovest devono invece essere ombreggiate con schermi mobili perché d'estate il sole al mattino (basso sull'orizzonte a est), e soprattutto nel tardo pomeriggio (basso sull'orizzonte a ovest), è caldo e nessuno sporto fisso può ostacolarlo. Importantissimo anche l'uso della vegetazione come strumento di ombreggiamento stagionale.



Facciata Est senza schermo - 21 giugno, mattino Facciata Est con schermo fisso - 21 giugno, mattino Facciata Est con schermo mobile - 21 giugno, mattino

Ombreggiamento delle finestre a est-ovest, possibile solo con sistemi mobili tipo veneziane esterne.

Fabbisogno energetico: le formule

Il bilancio energetico matematicamente si traduce nelle seguenti espressioni del fabbisogno di energia termica per il riscaldamento e per il raffrescamento:

$$Q_{H,nd} = Q_{H,ht} - \eta_{H,gn} \times Q_{gn}$$

$$Q_{C,nd} = Q_{gn} - \eta_{C,ls} \times Q_{C,ht}$$

dove:

$Q_{H,nd}$ = Fabbisogno di energia termica dell'edificio per il riscaldamento invernale, in kWh

$Q_{C,nd}$ = Fabbisogno di energia termica dell'edificio per il raffrescamento estivo, in kWh

$Q_{H,ht}$ = Scambio termico totale invernale (dispersioni per trasmissione e ventilazione), in kWh

$Q_{C,ht}$ = Scambio termico totale estivo (dispersioni per trasmissione e ventilazione), in kWh

Q_{gn} = Guadagni solari e interni (desiderabili in inverno, da evitare in estate), in kWh

$\eta_{H,gn}$ = fattore di utilizzazione degli apporti termici

$\eta_{C,ls}$ = fattore di utilizzazione delle dispersioni termiche estive

$Q_{H,ht} = Q_{H,tr} + Q_{H,ve}$ = Dispersioni termiche invernali complessive, in kWh

$Q_{H,tr}$ = Dispersioni per trasmissione, in kWh

$Q_{H,ve}$ = Dispersioni per ventilazione, in kWh

η è una lettera greca che si legge "eta" e che qui indica i fattori di utilizzo dei guadagni invernali o delle dispersioni estive. I fattori di utilizzo sono un numero adimensionale e rappresentano la parte dei guadagni invernali o delle dispersioni estive che effettivamente viene sfruttata. (L'introduzione di un fattore di utilizzo è spiegabile dal fatto che non sempre la radiazione solare che penetra nell'edificio attraverso le superfici finestrate è completamente sfruttata: questo ad esempio capita quando l'edificio è coibentato interamente dalla parte interna dell'involucro e il calore raccolto non può essere immagazzinato nella massa delle strutture, perché coibentate, e non viene quindi da queste restituito durante la notte, o quando l'ingresso del sole provoca il surriscaldamento non voluto degli ambienti interni e, a causa di un'errata regolazione dell'impianto di riscaldamento che non percepisce prontamente l'innalzamento della temperatura, si è costretti a smaltire il calore eccessivo aprendo le finestre. In entrambi i casi parte del calore raccolto viene in un certo senso buttato via, non utilizzato).

► 4.3 | I meccanismi di trasmissione del calore

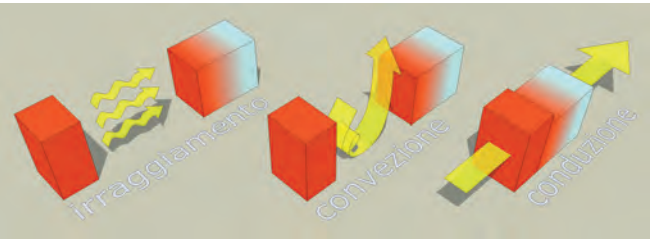
Per comprendere i meccanismi con cui il calore attraversa le strutture dell'involucro edilizio bisogna anzitutto rispolverare alcune nozioni apprese alle scuole elementari sulla trasmissione del calore. La trasmissione del calore in natura avviene per **conduzione, convezione e irraggiamento**.

La conduzione termica è lo scambio che avviene nei mezzi solidi, liquidi o gassosi quando, a causa di una differenza di temperatura, viene trasferita energia cinetica da molecole calde ("agitate") a molecole fredde ("tranquille"). In questo caso il trasferimento di energia termica dalla regione a temperatura maggiore a quella a temperatura minore avviene per contatto molecolare, **senza spostamento di materia**. Se appoggio un cucchiaino sul bordo della pentola bollente dopo un po' di tempo anche il cucchiaino scotta.

La convezione termica è lo scambio di calore che avviene quando almeno uno dei due corpi interessati è un fluido (mezzo liquido o gassoso) in movimento. Un fluido, entrando in contatto con un corpo a temperatura maggiore, si espande e, diminuendo la sua densità, per il principio di Archimede, inizia a salire, in quanto circondato da fluido a densità maggiore perché a temperatura minore. Questo spostamento spontaneo di fluidi caldi verso l'alto e fluidi freddi verso il basso è detto **convezione naturale**. Nel caso i movimenti dei fluidi siano indotti meccanicamente (ventilatori o pompe) si parla di **convezione forzata**. In questo caso il trasferimento di energia termica dalla regione a temperatura maggiore a quella a temperatura minore avviene per trasferimento di fluidi **con spostamento di materia**. L'aria calda che fuoriesce dall'asciugacapelli mi scalda la testa per convezione forzata.

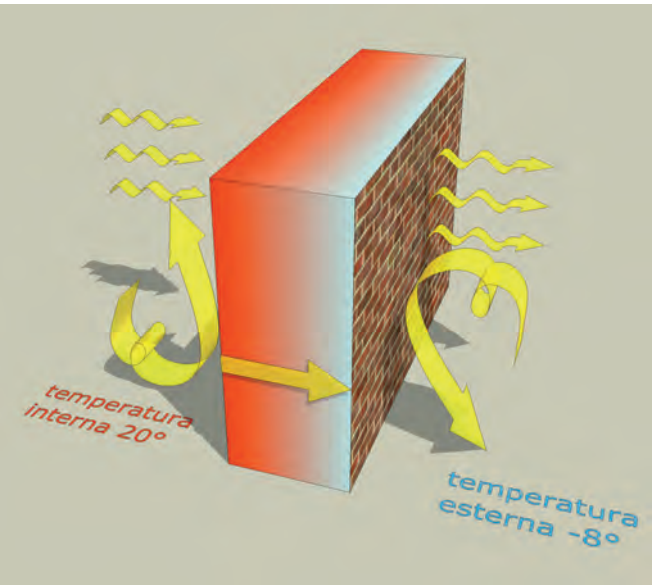
L'irraggiamento termico è la trasmissione di calore che avviene tramite la radiazione elettromagnetica emessa dalla superficie di un corpo a una determinata temperatura verso un altro corpo a temperatura minore che la assorbe. Tutti i corpi che non siano alla temperatura dello zero assoluto (0 °K) emettono radiazioni elettromagnetiche che trasportano energia e, quando queste sono assorbite da altri corpi, ne determinano un aumento di energia cinetica delle molecole con conseguente aumento di temperatura.

In questo caso il trasferimento di energia termica dalla regione a temperatura maggiore a quella a temperatura minore avviene senza contatto e senza spostamento di materia: avviene anche nel vuoto assoluto. Non c'è esempio migliore dell'energia termica del sole: pur essendo distante milioni di chilometri ci fornisce ininterrottamente calore da circa 4 miliardi di anni.



I tre meccanismi di trasmissione del calore.

Il calore è trasmesso attraverso un elemento costruttivo dell'involucro edilizio che racchiude il volume climatizzato, secondo l'insieme dei tre meccanismi di cui sopra, attraverso le seguenti modalità: per convezione e irraggiamento sulle superfici esterna e interna e per conduzione all'interno.



Trasmissione di calore attraverso una parete secondo i tre meccanismi.

► 4.4 | Principali caratteristiche fisiche di strutture e materiali

Per poter quantificare le dispersioni è inoltre necessario conoscere alcune caratteristiche fisiche essenziali delle strutture e dei materiali, quali resistenza e trasmittanza termica delle strutture, e conduttività termica e capacità termica dei materiali.

4.4.1 Resistenza termica delle strutture opache

Per stabilire la quantità di calore che sfugge attraverso le strutture che costituiscono l'involucro (pareti, solai, tetti, finestre, porte) è anzitutto necessario conoscere, di ciascuna di queste strutture, una caratteristica termica detta **resistenza termica** e indicata con la lettera **R**. Essa è una grandezza fisica che rappresenta la capacità di uno strato di materiale termicamente omogeneo di 1 m² di superficie, avente spessore *s* e conduttività termica λ , di opporsi al passaggio di calore quando tra le due facce opposte e parallele la differenza di temperatura è di 1 °K ed è così definita:

$$R = s / \lambda$$

dove:

s = spessore dello strato di materiale nel componente

λ = conduttività termica utile del materiale (vedere paragrafo sulla conduttività dei materiali).

La resistenza termica di una struttura costituita da più strati omogenei di materiali differenti è data dalla somma delle resistenze termiche dei singoli strati.

$$R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + R_3 \dots R_n + R_{se} = R_{si} + s_1/\lambda_1 + s_2/\lambda_2 + s_3/\lambda_3 + \dots + s_n/\lambda_n + R_{se}$$

dove:

R_n = resistenza dei vari strati omogenei

R_{si} = resistenza superficiale interna della struttura

R_{se} = resistenza superficiale esterna della struttura.

Le resistenze superficiali *R_s* tengono conto della trasmissione di calore per convezione e irraggiamento del lato interno ed esterno della struttura.

Tutte le modalità di calcolo della *R_T* di una struttura, anche nel caso più complesso di strutture costituite da strati omogenei e strati disomogenei, sono stabilite nella norma UNI EN ISO 6946:2008.

La **Resistenza termica** si misura in m² K/W.

Ai fini della bontà termica di una struttura più questo valore è alto meglio è.

4.4.2 Trasmittanza termica delle strutture opache

L'inverso della resistenza termica totale di una struttura è la **trasmittanza termica**, il cui simbolo è la **lettera U**.

$$U = 1 / R_T$$

Essa indica la quantità di calore che esce istantaneamente attraverso un metro quadro di una data struttura, perpendicolarmente a essa quando la differenza di temperatura tra interno ed esterno è di un grado Kelvin, **la si misura appunto in W/m² K**. La trasmittanza termica in altre parole rappresenta la capacità di una data struttura di lasciar passare il calore, **quindi, ai fini della bontà termica di una struttura, più questo valore è basso meglio è** perché si disperde poco calore.

Conoscendo il valore *U* della trasmittanza termica di una struttura possiamo calcolare la dispersione di calore che la attraversa: ricordando l'analogia del secchiello dei paragrafi precedenti possiamo misurare quanta acqua esce dal secchiello.

Esempio

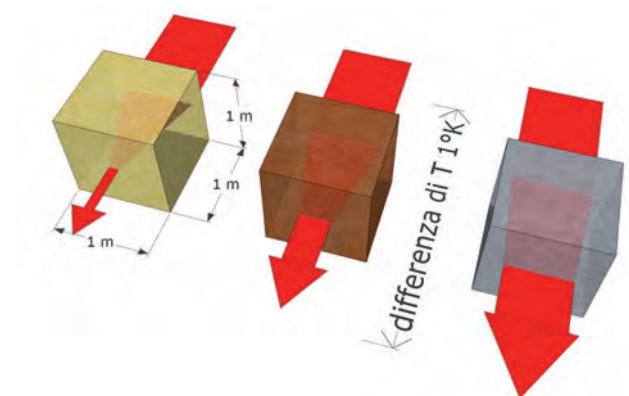
Per calcolare le dispersioni attraverso una parete di *S* = 15 m² la cui trasmittanza termica è *U* = 1,10 W/m² K, considerando una temperatura interna di *T_i* = 20 °C e una temperatura media mensile dell'aria esterna *T_e* = -2 °C sarà sufficiente moltiplicare la trasmittanza termica *U* per la superficie *S* della struttura per la differenza di temperatura:
U x *S* x (*T_i* - *T_e*) = 1,10 W/m² K x 15 m² x [20 °C - (-2 °C)] = 363 W

La resistenza termica e la trasmittanza termica di una data struttura dipendono dai materiali con cui essa è realizzata, e in particolare da una loro caratteristica fisica denominata **conduttività termica**, λ .

4.4.3 La conduttività termica dei materiali

La conduttività termica dei materiali, indicata con la lettera dell'alfabeto greco λ esprime la quantità di calore che al secondo attraversa 1 m di spessore del materiale quando la differenza di temperatura fra le due facce è pari a 1 °K, si misura appunto in W/(m K).

È una caratteristica propria di ogni materiale, che viene determinata in laboratorio secondo procedimenti stabiliti da norme tecniche europee, e che indica la capacità del materiale stesso di condurre il calore. **Ai fini della coibentazione termica più il suo valore è basso meglio è**. Pertanto, per avere strutture che impediscono il passaggio del calore, è necessario utilizzare materiali con bassa conduttività termica: in altre parole, materiale coibente.



Conduttività termica di vari materiali: a sinistra un tipico materiale coibente con λ = 0,04 W/(mK), al centro il legno con λ = 0,13 W/(mK) e a destra un materiale con alta conduttività tipo il cls armato con λ = 2,30 W/(mK).

La conduttività termica dipende dalla densità relativa del materiale e dall'umidità:

• **quanto più un materiale è leggero tanto più il valore λ è basso e quindi il materiale isola termicamente:** questo perché l'aria intrappolata in gran quantità fra le fibre o gli alveoli dei materiali a bassa densità è un cattivo conduttore di calore, ma a condizione che sia ferma: pertanto è indispensabile che i materiali termoisolanti, soprattutto quelli fibrosi o a cellule aperte, siano protetti dal vento e dai movimenti d'aria in genere per non diminuirne l'efficacia;

• **quanto più un materiale contiene acqua tanto più cresce il suo valore λ e tanto meno isola termicamente:** questo perché l'acqua è un ottimo conduttore di calore. Quindi la scelta dei materiali coibenti deve anche avvenire in funzione delle condizioni di utilizzo e della loro capacità di assorbire l'umidità. Ad esempio i materiali coibenti fibrosi si prestano a essere usati

in ambienti asciutti, mentre i materiali a cellule chiuse che non possono assorbire acqua sono adatti a essere impiegati anche in luoghi umidi come gli interrati e le fondazioni.

Dei prodotti per l'edilizia che non sono costituiti da un unico materiale, come ad esempio i laterizi forati che sono costituiti dalla terra cotta e dall'aria contenuta nei fori, viene fornito un valore di conduttività termica equivalente λ_{eq}

Esempio

Calcolo della resistenza termica, e della trasmittanza termica, di una struttura composta da più strati omogenei: parete in muratura di mattoni pieni in laterizio di 51 cm di spessore (con malta di cemento), intonacata su ambo i lati con 1 cm di intonaco di calce-cemento:

- valore λ muratura = 0,70 W / (mK)
- valore λ intonaco calce-cemento = 0,90 W / (mK)
- *R_{si}* = 0,13 m²K/W
- *R_{se}* = 0,04 m²K/W

(valori di *R_{si}* e *R_{se}* tratti dalla norma UNI EN ISO 6946:2008)

$$R_T = 0,13 \text{ m}^2\text{K/W} + 0,01 \text{ m} / 0,90 \text{ W/(mK)} + 0,51 \text{ m} / 0,70 \text{ W/(mK)} + 0,01 \text{ m} / 0,90 \text{ W/(mK)} + 0,04 \text{ m}^2\text{K/W} = (0,13 + 0,011 + 0,728 + 0,04 + 0,011) \text{ m}^2\text{K/W} = \mathbf{0,921 \text{ m}^2 \text{ K / W}}$$

e di conseguenza:

$$U = 1 / R_T = 1 / 0,921 = \mathbf{1,086 \text{ W / m}^2 \text{ K}}$$

Se per curiosità aggiungiamo alla struttura uno strato di coibente di soli 10 cm di spessore, con conduttività termica tipica di un materiale mediamente coibente λ = 0,040 W / (mK), la cui resistenza termica è *R* = 0,10 m / 0,040 W/(mK) = 2,5 m²K/W,

si avrà:

$$R_T = (0,921 + 2,50) \text{ m}^2\text{K/W} = \mathbf{3,421 \text{ m}^2 \text{ K / W}}$$

e, di conseguenza:

$$U = 1 / R_T = 1 / 3,421 = \mathbf{0,292 \text{ W / m}^2 \text{ K}}$$

Una bella differenza: la struttura disperderà circa 4 volte meno calore.

► 4.4 | Principali caratteristiche fisiche di strutture e materiali

Quale valore λ va utilizzato nei calcoli?

Il valore della conduttività termica dei materiali può essere tratto da:

- UNI 10351:1994 Materiali da costruzione - Conduttività termica e permeabilità al vapore
- UNI EN ISO 10456:2008 Materiali e prodotti per l'edilizia - Proprietà igrotermiche - Valori tabulati di progetto
- UNI EN 1745:2005 Muratura e prodotti per muratura - Metodi per determinare i valori termici di progetto
- dalla marcatura CE del materiale stesso (vedere riquadro)

Dal momento che il valore di conducibilità termica λ dei materiali è indispensabile per il calcolo del valore U di trasmittanza delle strutture secondo la UNI EN ISO 6946:2008 è bene sapere quale valore di ogni materiale vada usato nei calcoli.

Il **valore λ_D** (lambda dichiarato) che si trova sulla marcatura CE del materiale coibente, è definito in base a misurazioni eseguite in laboratorio in condizioni di prova standard (temperatura e umidità). Pertanto, se le condizioni di installazione del materiale non coincidono con quelle di laboratorio, il **valore λ_D va corretto per ottenere il λ di progetto**, cioè il valore di conduttività da impiegare nei calcoli.

Nelle norme di riferimento sull'argomento, la UNI EN ISO 10351:1994, cui fa riferimento il DLGS 311/06 e la UNI EN ISO 10456:2008, sono previsti fattori correttivi dovuti alla temperatura, all'umidità tipica della condizione di installazione e all'invecchiamento del materiale.

- La norma UNI EN ISO 10351:1994 definisce un'unica maggiorazione percentuale "m" da applicare al valore λ_D che varia da un minimo del 10% ad un massimo del 50% a seconda del tipo di materiale:

λ_D + m% = λ di progetto

- La norma UNI EN ISO 10456:2008, non citata dal DLGS 311/06, introduce una formula più articolata:

λ_D x F_T x F_U x F_A = λ di progetto

dove

F_T = Fattore di conversione per la temperatura

F_U = Fattore di conversione per l'umidità

F_A = Fattore di conversione per l'invecchiamento (che nelle norme non viene dato)

oltre a essere più complicata nell'applicazione, fornisce in effetti risultati del tutto simili alla UNI EN ISO 10351:1994

A puro titolo informativo, è interessante sapere che la normativa tedesca DIN V 4108-4:2007 divide i materiali coibenti in due categorie:

Categoria I, materiali coibenti solo con marcatura CE: il valore dichiarato λ_D deve essere aumentato del 20% per ottenere il λ di progetto da impiegare nei calcoli.

Categoria II, materiali coibenti con marcatura CE e marchio Ü (con numero di approvazione e simbolo dell'ente certificatore): il valore dichiarato λ_D in tal caso deve essere aumentato solo del 5% per ottenere il λ di progetto da impiegare nei calcoli.

Marcatura CE dei materiali coibenti

La marcatura CE è apposta dal fabbricante del prodotto, che con essa dichiara la rispondenza (o conformità) alle norme armonizzate europee di riferimento per quel prodotto, requisito essenziale per la commercializzazione e utilizzo nell'Unione Europea del prodotto stesso.

È bene ricordare che la marcatura CE non è un marchio di qualità.

Per i materiali da costruzione la marcatura CE è stata introdotta dalla Direttiva 89/106/CE successivamente modificata dalla Direttiva 93/68/CEE e recepita in Italia con il DPR 246/1993.

La direttiva 89/106/CE del Consiglio è stata recentemente abrogata dal **Regolamento (UE) N. 305/2011** del Parlamento Europeo e del Consiglio del 9 marzo 2011, in vigore dal 1 luglio 2013, il quale fissa le condizioni per l'immissione o la messa a disposizione sul mercato di prodotti da costruzione stabilendo disposizioni armonizzate per la descrizione della prestazione di tali prodotti in relazione alle loro caratteristiche essenziali e per l'uso della marcatura CE sui prodotti in questione, e introduce l'obbligo di subordinare la marcatura CE del prodotto con la **Dichiarazione di Prestazione (DoP)** riferita a caratteristiche essenziali stabilite per i singoli prodotti. La marcatura CE è obbligatoria per i mattoni in laterizio dal 2006 e per i serramenti dal gennaio 2010, per i materiali coibenti in edilizia ottenuti in fabbrica dal 13/05/2003. Per i prodotti per i quali non esiste ancora una norma europea armonizzata di riferimento (EN) è previsto l'**ETA** (European Technical Assessment) rilasciato da Organismi autorizzati negli Stati Membri e coordinati dall'**EOTA** (European Organization for Technical Assessment), con sede a Bruxelles (www.eota.eu) sulla base di **EAD** (European Assessment Document, che vanno a sostituire dal 1° luglio 2013 gli ETAG - European Technical Assessment Guidelines). Membri dell'EOTA sono ad esempio l'**Istituto per le Tecnologie della Costruzione (ITC)** in Italia, il **Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB)** in Francia, il **Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt)** in Germania.

4.4.4 Capacità termica specifica dei materiali

Altra grandezza fisica dei materiali, indispensabile questa ai calcoli termici per il comportamento estivo delle strutture, è la **capacità termica specifica** o **calore specifico**, cioè la quantità di calore necessaria per innalzare di 1 °K la temperatura di un kg di un determinato materiale; è indicata con la lettera c e la si misura in J/(kg K) e indica la capacità del materiale di accumulare energia termica, riferita all'unità di massa.

La capacità termica specifica di un materiale insieme alla sua densità o massa volumica ρ (rho), misurata in kg/m³ e alla sua conduttività termica λ (lambda), misurata in W/(m K) permettono di determinare la **diffusività termica a**, proprietà che, misurata in m²/s ne sintetizza il comportamento dinamico:

a = λ / ρ • c [m²/s]

Quanto più è bassa la diffusività termica di un materiale tanto più rapidamente e in breve distanza l'onda termica prodotta sulla sua superficie viene smorzata al suo interno.

Esempio

Polistirene espanso (EPS)	Fibra di legno (WF)
Densità ρ = 30 kg/m³	Densità ρ = 160 kg/m³
Conduttività termica λ = 0,035 W/(m K)	Conduttività termica λ = 0,039 W/(m K)
Capacità termica specifica c = 1400 J/(kg K)	Capacità termica specifica c = 2100 J/(kg K)
Diffusività termica a = 0,00000833 m²/s	Diffusività termica a = 0,00000116 m²/s

La diffusività termica della fibra di legno, a causa dell'alta densità e dell'alta capacità termica specifica, è di molto minore rispetto a quella del polistirene espanso, e pertanto ha un comportamento estivo decisamente migliore: ossia a parità di spessore può smorzare molto meglio l'onda termica esterna. Per questo la fibra di legno è di per sé uno dei materiali migliori per la coibentazione dei tetti considerando anche il comportamento estivo.

4.4.5 Trasmittanza termica dei serramenti

La trasmittanza termica dei serramenti **U_w** è calcolata in conformità alla norma UNI EN ISO 10077-1:2008 come **media ponderata della trasmittanza termica delle parti che lo compongono**: telaio, fisso e mobile **U_f** (il pedice f sta per *frame* = telaio in inglese), della parte vetrata **U_g** (il pedice g sta per *glass* = vetro in inglese) e di eventuali pannelli opachi **U_p**, oltre alla trasmittanza lineica del perimetro delle superfici vetrate **Ψ_g**.

La formula è la seguente:

U_w = (Σ A_g U_g + Σ A_f U_f + Σ l_g Ψ_g) / A_w

dove

A_g = area vetrata del serramento

U_g = trasmittanza termica del vetro

A_f = area del telaio

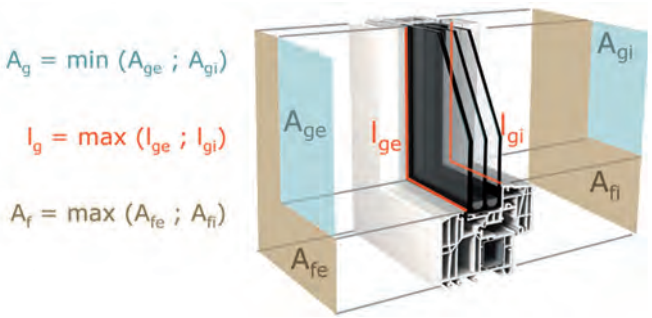
U_f = trasmittanza termica del telaio

l_g = perimetro dell'area vetrata

Ψ_g = trasmittanza lineica del bordo del vetro (distanziale)

A_w = area totale serramento, data da A_g + A_f
(W sta per *window* = finestra in inglese)

Le caratteristiche geometriche del serramento sono quelle di cui all'illustrazione qui sotto.



Caratteristiche geometriche di un serramento per il calcolo della trasmittanza Uw.

Il vetro

Le caratteristiche di trasmittanza termica del vetro U_g da utilizzare nel calcolo della trasmittanza U_w del serramento possono:

- essere tratte dalle tabelle di cui all'allegato della norma UNI EN ISO 10077-1:2008
- essere calcolate in conformità al punto 5.2 della norma UNI EN ISO 10077-1:2008 o della metodologia della norma UNI EN 673:2011
- essere misurate secondo i metodi di cui alle norme EN 674:2011 o EN 675:2011

► 4.4 | Principali caratteristiche fisiche di strutture e materiali

Lo standard di mercato sono attualmente i vetri doppi con una superficie basso emissiva e l'intercapedine riempita con una miscela al 90% di gas Argon e 10% di aria con valore di trasmittanza termica $U_g = 1,10 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$, decisamente migliori rispetto ai semplici vetri doppi non basso emissivi di alcuni anni fa con $U_g = 3,3 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$ o dei vetri semplici di un tempo con $U_g = 5,75 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$.

L'eccellenza è ora rappresentata da tripli vetri con due superfici basso-emissive e due intercapedini riempite della miscela Argon-aria o di Krypton, che possono arrivare a $U_g = 0,6-0,5 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$. Sono in fase di sperimentazione da anni i vetri sottovuoto che unirebbero prestazioni termiche eccellenti, $U_g = 0,3-0,5 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$, a spessori ridottissimi, 9 mm, e quindi pesi contenuti.

Il telaio

Le caratteristiche di trasmittanza termica del telaio U_f da utilizzare nel calcolo della trasmittanza U_w del serramento possono:

- essere tratte dalle tabella di cui all'allegato D della norma UNI EN ISO 10077-1:2008
- essere calcolate in conformità alla norma UNI EN ISO 10077-2:2012
- essere misurate con la metodologia della camera calda di cui alla norma UNI EN ISO 12412-2:2004.

In commercio esistono telai di diverse tipologie a seconda del materiale utilizzato, dello spessore e della geometria. I materiali utilizzati sono essenzialmente il legno, il PVC e i metalli (acciaio o alluminio) e combinazioni degli stessi tipo legno-alluminio, PVC-alluminio. Le prestazioni termiche variano molto da trasmittanze termiche $U_f = 2,0-2,4 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$ per telai in profili metallici a taglio termico di ottima qualità, a $U_f = 1,4-1,6 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$ per telai standard in legno e PVC di spessore 68 mm fino alle prestazioni notevoli di profili misti in legno o PVC di grandi spessori (115 mm) con l'aggiunta di strati coibenti, solitamente XPS, che portano a $U_f = 0,55-0,70 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$.



Fonte: Alpi Fenster



Fonte: Internorm



Fonte: Finstral



Il contro-telaio o falso-telaio

Per non vanificare le prestazioni termiche del serramento è necessario che il contro-telaio o falso-telaio sia sempre presente sui quattro lati del serramento, sia finestre che porte finestre, che sia costituito da materiale a bassa conduttività termica (legno o PVC), che assicuri la totale tenuta all'aria delle giunzioni parete/contro-telaio e contro-telaio/telaio fisso del serramento e che sia sempre a contatto con lo strato di coibentazione delle pareti in maniera da non interromperne mai la continuità (regola del pennarello).

Sistemi di installazione delle finestre

L'utilizzo del contro-telaio o falso-telaio per installare i serramenti (su di esso viene fissato il telaio fisso) è una consuetudine edilizia sorta in Italia negli anni '70-'80, per esigenze di cantiere: infatti permette di installare i serramenti dopo la fase di intonacatura delle pareti esterne per evitare di danneggiarli. Prima si installava direttamente il telaio fisso alla muratura, consuetudine tutt'ora in uso nell'edilizia del mondo tedesco.

Il distanziale

Le caratteristiche di trasmittanza termica lineica del distanziale Ψ_g da utilizzare nel calcolo della trasmittanza U_w del serramento possono:

- essere tratte dalle tabella di cui all'allegato E della norma UNI EN ISO 10077-1:2008
- essere calcolate in conformità alla norma UNI EN ISO 10077-2:2012
- essere misurate con la metodologia della camera calda di cui alla norma UNI EN ISO 12412-2:2004

Il grande sviluppo lineare dei giunti vetro/telaio fa sì che la loro conduttività termica lineare Ψ_g abbia una notevole influenza sul valore di trasmittanza termica complessiva del serramento U_w . Pertanto, per contenere il valore U_w del serramento e per evitare lo spiacevole fenomeno della formazione di condensa sul bordo del vetro, è necessario che i distanziali dei vetri doppi e tripli siano del tipo termicamente migliorati (cosiddetto *warm-edge* - giunto caldo). Se ne trovano per esempio in commercio realizzati in acciaio inox, caratterizzato da una conduttività termica $\lambda = 16 \text{ W/(m K)}$, un decimo di quella dell'alluminio $\lambda = 160 \text{ W/(m K)}$ con cui venivano solitamente realizzati i distanziali, e che ora sono assolutamente da non utilizzare. Esistono distanziali ancora migliori che uniscono la resistenza meccanica dell'acciaio inox alla bassa conduttività termica di materiali plastici quali il polipropilene.

4.4.6 Il fattore solare e il fattore di trasmissione luminosa

Benché i serramenti siano molto più dispersivi delle strutture opache dell'involucro edilizio, giocano in realtà un ruolo cruciale nella determinazione del bilancio energetico dell'edificio perché sono la "porta di ingresso" della radiazione solare e responsabili quindi della quantità di guadagni gratuiti solari e del corretto sfruttamento dell'illuminazione naturale.

Per questo motivo è importante conoscere altre due caratteristiche fisiche dei vetri, molto importanti per il calcolo dei guadagni solari e del fattore di luce diurna negli ambienti.

- il valore **g (fattore solare)** che rappresenta il rapporto in percentuale fra la radiazione solare globalmente trasmessa attraverso il vetro (che entra negli ambienti) e la radiazione solare incidente sull'esterno del vetro (radiazione sull'intero spettro solare). Più questo valore è alto meglio è perché maggiori sono i guadagni solari gratuiti.
- il valore **T (tau - fattore di trasmissione luminosa)** che rappresenta il rapporto in percentuale fra la quantità di luce che attraversa il vetro e la quantità di luce incidente sull'esterno del vetro (radiazione nell'intervallo del visibile). Anche in questo caso più è alto il valore meglio è sfruttata la luce naturale incidente sulla finestra.



► 4.5 | Marcatura CE dei serramenti

Come per tutti gli altri materiali, i componenti e i sistemi per l'edilizia, anche per i serramenti è obbligatoria la marcatura CE; in particolare per i prodotti regolamentati dalla norma armonizzata UNI EN 14351-1 l'obbligo vige dal 1° febbraio 2010. Questo significa che nello Spazio Economico Europeo possono essere commercializzate e impiegate solo finestre, porte-finestre e porte pedonali esterne accompagnate da una dichiarazione di conformità che ne attesta la rispondenza alla norma di cui sopra.

La dichiarazione di conformità deve essere prodotta almeno per le seguenti caratteristiche:

- resistenza al carico del vento secondo UNI EN 12210
- tenuta all'acqua secondo UNI EN 12208
- permeabilità all'aria secondo UNI EN 12207
- trasmittanza termica secondo UNI EN ISO 10077-1, UNI EN ISO 10077-2 o UNI EN 12412-2
- proprietà radiative delle vetrate secondo UNI EN 410
- isolamento acustico secondo UNI EN 717-1
- resistenza all'effrazione ENV 1627
- resistenza all'impatto UNI EN 13049
- durabilità meccanica secondo UNI EN 12400
- sostanze dannose.

La norma UNI EN 14351-1 prescrive che questi valori siano dichiarati singolarmente per ogni elemento fornito, cioè ogni singolo serramento che giunge in cantiere deve essere univocamente individuato e dotato di dichiarazione di conformità con tutte le caratteristiche di cui sopra. La dichiarazione può essere resa in due forme:

- unico documento dettagliato con l'elenco completo degli elementi del lotto di fornitura e tutte le caratteristiche elemento per elemento
- tanti documenti singoli riportati sugli elementi del lotto di fornitura.

La dichiarazione di conformità deve obbligatoriamente essere rilasciata per ogni prodotto, indipendentemente dal livello prestazionale del prodotto stesso, e non costituisce in nessun caso un marchio di qualità o una certificazione che il serramento rispetti i limiti di legge. Se il serramento è di pessima qualità il produttore assolve agli obblighi della marcatura CE dichiarandone gli effettivi valori caratteristici secondo le norme di cui sopra, naturalmente senza mentire.



ARREDOPORTE

LE AZIENDE INFORMANO



Arredoporte nasce ad Orbassano, alle porte di Torino, nel 1978 dove si occupa della produzione e vendita di serramenti esterni e porte interne di grande qualità. L'azienda dispone di due ampie sedi espositive con personale altamente specializzato per accompagnare il cliente nella scelta del prodotto migliore. **Arredoporte** offre anche un servizio di consulenza tecnica rivolto, oltre che al cliente privato, anche alle imprese e agli studi di geometri, architetti e ingegneri.

Da sempre sensibile ai temi del risparmio energetico e del rispetto per l'ambiente, **Arredoporte** collabora da anni con **Finstral**, azienda leader nella produzione di serramenti in PVC. I serramenti **Finstral** offrono valori di isolamento termico di assoluto rilievo e l'azienda è dal 2007 partner certificato CasaClima.



Il sistema **TOP 72** a guarnizione mediana e giunto aperto utilizza già nella versione base vetri basso-emissivi con valore Ug pari a 1,1 W/m²K e distanziali vetro ad elevato isolamento termico. Il sistema a guarnizione mediana garantisce i migliori valori in termini di permeabilità all'aria e tenuta all'acqua.

Finstral offre una vasta gamma di soluzioni: cassonetti coibentati per avvolgibili e raffstore, serramenti Lignatec con finitura interna in legno, infissi KAB con rivestimento esterno in alluminio, finestre Fin-Project con finitura in alluminio sia interna che esterna.

Per aumentare i valori di isolamento termico dei serramenti è possibile utilizzare il controtelaio isolato **Finstral** polivalente ed ecologico. Polivalente perché può essere impiegato in tutte le varianti costruttive con applicazioni a filo muro interno o a metà spalletta; ecologico perché realizzato con materiale riciclato.

Arredoporte e **Finstral** offrono inoltre un sistema di posa certificato per garantire le massime prestazioni del serramento. Il marchio ed i sigilli di qualità internazionale rilasciati da rinomati istituti di certificazione indipendente garantiscono la qualità dell'intero sistema produttivo.

Certificazioni



ARREDOPORTE
...questione di stile

ARREDOPORTE S.r.l Partner Finstral

Via San Rocco, 26 - Orbassano (TO)
Corso Francia, 79 Collegno (TO)
Tel. 011 900 3103

Contatti: Tiziano Giacometti 335 690 4873

www.arredoporte.it
info@arredoporte.it



MATERIALI, SISTEMI E COMPONENTI PER L'INVOLUCRO EFFICIENTE E SOSTENIBILE

5

Materiali, sistemi e componenti per l'involucro efficiente e sostenibile

L'efficienza energetica dell'involucro non dipende da una tecnologia in particolare ma dal raggiungimento di caratteristiche che permettano con il minimo utilizzo di energia di mantenere sia in inverno che in estate le condizioni di comfort all'interno degli ambienti: valori minimi di trasmittanza termica (U), eliminazione di qualsiasi disomogeneità di comportamento termico (correzione ponti termici), eliminazione della possibilità di formazione di condensazioni superficiali e interstiziali, raggiungimento di ottime prestazioni estive contraddistinte da minimi valori di trasmittanza termica periodica ($Y_{t,e}$), alto sfasamento e smorzamento.

La sostenibilità ambientale dell'involucro nel suo complesso dipende dalla sostenibilità stessa dai materiali, dei componenti e dei sistemi con cui è realizzato. Primo fra tutti bisogna considerare il loro contenuto specifico di "energia grigia", cioè della quantità di Energia Primaria non rinnovabile spesa per la produzione, il trasporto e la posa dell'unità di massa. Tale caratteristica è quantificata dall'indice **PEInr** misurato in MJ/kg. Sono poi da tenere in considerazione altri indicatori, quali il loro potenziale di riscal-

damento globale denominato **GWP** e misurato in kg CO₂ eq/kg, o il loro potenziale di acidificazione delle piogge denominato **AP** e misurato in kg SO₂ eq/kg. Questi indicatori ambientali sono tra quelli ottenuti dal calcolo del LCA (*Life Cycle Assessment*) e reperibili nei cosiddetti EPD (*Environmental Product Declaration* - Dichiarazione Ambientale di Prodotto) che molti produttori mettono a disposizione.

Non sono infine da dimenticare le possibili emissioni dannose o tossiche che i materiali, i componenti o i sistemi utilizzati nell'involucro possono rilasciare durante la loro vita utile nell'ambiente, sia esterno che interno all'edificio.

A parità di caratteristiche energetiche e di sostenibilità ambientale, la scelta di una particolare tecnologia costruttiva dell'involucro edilizio dipende unicamente dalla sua compatibilità con le condizioni di applicazione nel cantiere specifico e dalle consuetudini locali.

Segue un elenco non esaustivo di materiali, sistemi e componenti in uso in Italia.



► 5.1 | Blocchi da costruzione

La tecnologia costruttiva in blocchi e mattoni è per ora quella più diffusa in Italia per la realizzazione dell'involucro degli edifici, sia pareti portanti che pareti di tamponamento. Le innovazioni di produzione più recenti (tipo i laterizi porizzati o alveolari rettificati e costipati di materiali coibenti) e i sistemi di posa più avanzati (sottilissimi strati di malte e colle a bassa conduttività termica) consentono di realizzare strutture dalle notevoli caratteristiche termiche invernali e soprattutto estive, ma con spessori generalmente elevati, non inferiori cioè a 40/50 cm. Con questa tecnologia costruttiva è mediamente più complicata la corretta progettazione e risoluzione dei nodi costruttivi tipici che costituiscono il ponte termico, quali i pilastri nello spessore della muratura, il bordo dei solai e gli sbalzi per balconi e marciapiedi.

●●● Marcatura CE blocchi da costruzione ●●●

Per i blocchi da costruzione vige l'obbligo di marcatura CE che attesti la conformità alla norma armonizzata UNI EN 771 divisa in sei parti:

- UNI EN 771-1:2011 Parte 1: Elementi per muratura di laterizio
- UNI EN 771-2:2011 Parte 2: Elementi di muratura di silicato di calcio
- UNI EN 771-3:2011 Parte 3: Elementi per muratura di calcestruzzo
- UNI EN 771-4:2011 Parte 4: Elementi di muratura di calcestruzzo aerato autoclavato
- UNI EN 771-5:2011 Parte 5: Elementi per muratura di pietra agglomerata
- UNI EN 771-6:2011 Parte 6: Elementi di muratura di pietra naturale.

5.1.1 Blocchi in laterizio porizzato

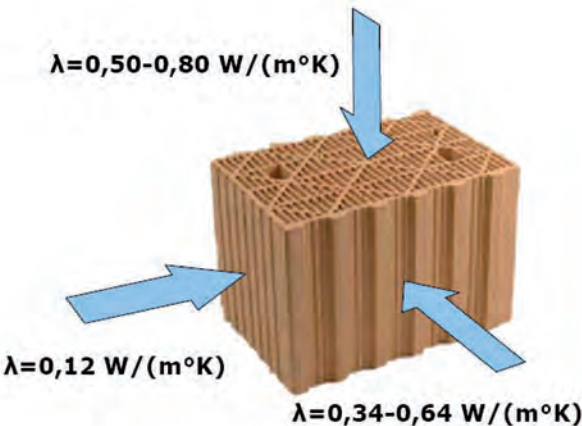
Norma di riferimento: UNI EN 771-1:2011

I blocchi in laterizio porizzato, grazie alla bassa densità apparente – ottenuta sia con la complessa geometria interna, sia con l'aggiunta nell'impasto di particelle di materiali che durante la cottura vaporizzano lasciando una miriade di alveoli/pori – raggiungono ragguardevoli comportamenti termici fino a λ equivalenti = 0,09 W/(mK). I migliori sono quelli rettificati, cioè con superfici di accostamento piane molto precise, che permettono strati di malta/collo sottilissimi (anche 1 mm), stesi con appositi apparecchi che consentono di sigillare fra corsi successivi i vuoti di trafilatura e impediscono l'instaurarsi di moti convettivi all'interno della parete. Quelli con le migliori prestazioni termiche hanno una bassa resistenza alla compressione e sono pertanto inadatti a murature portanti.

A seconda del materiale utilizzato per la formazione degli alveoli/pori, i blocchi possono avere caratteristiche di sostenibilità maggiore (utilizzo di segatura di legno) o minore (utilizzo di palline di polistirene espanso).

I blocchi sono prodotti in spessori che vanno da un minimo di 24 a un massimo di 49 cm.

Gli spessori di muratura realizzati con questa tecnica sono sempre considerevoli e i blocchi, benché abbiano comportamenti eccellenti, **non sono isotropi**, cioè non hanno lo stesso comportamento termico in tutte le direzioni; in particolare, la conduttività termica dichiarata è solo quella relativa alla corretta posizione di posa ortogonale al flusso termico. Questo può comportare che una messa in opera non accurata ne vanifichi le qualità termiche, a causa della disomogeneità di comportamento termico della parete finita (ponti termici puntuali dove i blocchi sono posati girati per "comodità" di cantiere). Inoltre, in caso di murature di tamponamento vanno trovate soluzioni per la correzione dei ponti termici di pilastri e bordi di solai.

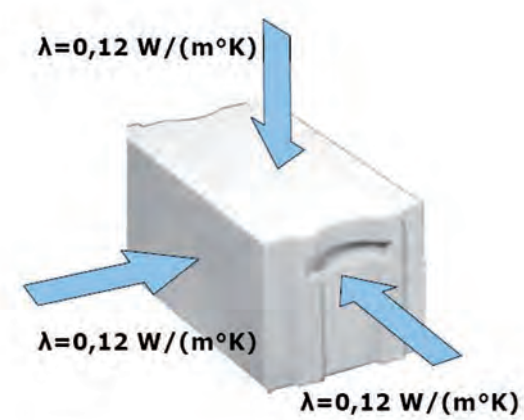


► 5.1 | Blocchi da costruzione

5.1.2 Blocchi in calcestruzzo aerato autoclavato (AAC)

Norma di riferimento: UNI EN 771-4:2011

I blocchi in calcestruzzo aerato autoclavato, detto comunemente calcestruzzo cellulare, trovano impiego sia come elementi per murature portanti che di tamponamento, a seconda della densità (da circa 300 kg/mc a 800 kg/mc) e della resistenza alla compressione. Come nel caso del coibente in schiuma minerale, sono costituiti da sabbia quarzifera, cemento, calce anidra e acqua che, miscelati, sono colati in appositi stampi e fatti espandere con l'aggiunta di un agente espandente (ad esempio polvere di alluminio). Successivamente i grossi pani vengono tagliati e sagomati per essere poi sottoposti a maturazione ad alta pressione in autoclave a una temperatura di circa 190 °C. I blocchi a densità minore raggiungono valori di conduttività $\lambda = 0,080 \text{ W/(m}^\circ\text{K)}$. Sono prodotti in spessori che vanno da 8 a 48 cm con altezza standard di 25 cm. Caratteristiche tipiche sono la leggerezza, la bassa conduttività termica, l'incombustibilità e, soprattutto, **il comportamento isotropo** dovuto all'omogeneità del materiale. Questa qualità consente una certa versatilità di posa, la quale deve sempre avvenire secondo le indicazioni delle ditte produttrici. In particolare, nel caso di murature di tamponamento vanno comunque trovate soluzioni per la correzione dei ponti termici di pilastri e bordi di solai. Alcune ditte producono con questo materiale anche lastre per solai o intere pareti prefabbricate.



5.1.3 Blocchi in calcestruzzo alleggerito

Norma di riferimento UNI EN 771-3:2011

Alcuni tipi di blocchi si ottengono dalla miscela di sabbia e cemento con l'aggiunta di diversi additivi, come argilla espansa o pomice, con la funzione di diminuire la densità apparente del calcestruzzo da oltre 2000 kg/m³ a mediamente 500-1200 kg/m³, diminuendone di conseguenza la conduttività termica e migliorando le prestazioni termiche, che altrimenti sarebbero pessime - la conduttività del calcestruzzo non alleggerito è infatti $\lambda = 1,60-1,80 \text{ W/(mK)}$. Anche questa tipologia di blocchi non ha comportamento isotropo e in caso di murature di tamponamento vanno trovate soluzioni per la correzione dei ponti termici di pilastri e bordi di solai.



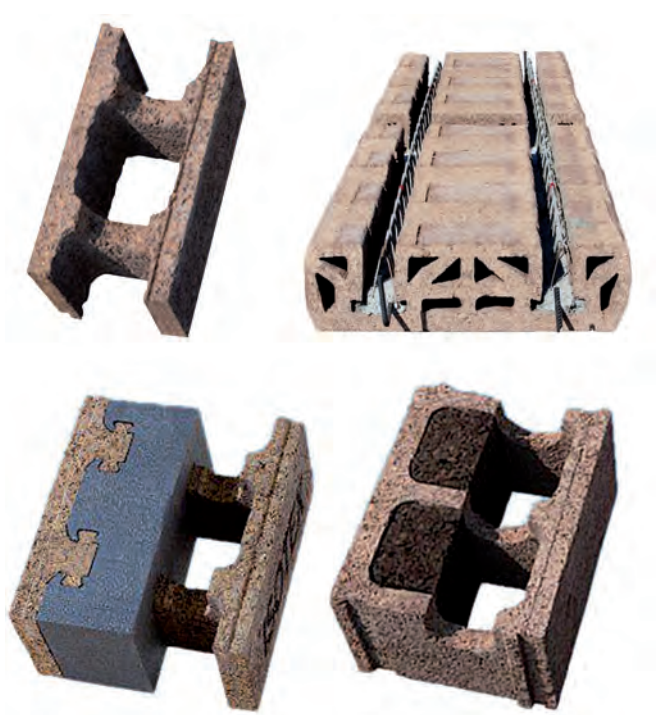
Lecablocco

5.1.4 Blocchi cassero in legno mineralizzato

Norma di riferimento: UNI EN 15498:2008

Benestare Tecnico Europeo (ETA) conforme a Linee Guida ETAG 0009

Sono prodotti con la stessa tecnologia dei pannelli in legno mineralizzato. La materia prima è abete non trattato proveniente da scarto di segheria mineralizzato con cemento Portland, miscelato con acqua e ossido di ferro e scarti di produzione dei blocchi stessi. Con l'impasto vengono formati sia i blocchi cassero per muratura che i blocchi per solaio. I blocchi vengono poi rifiniti dopo 28 giorni di maturazione durante i quali il cemento si ritira e dà stabilità dimensionale ai pezzi.

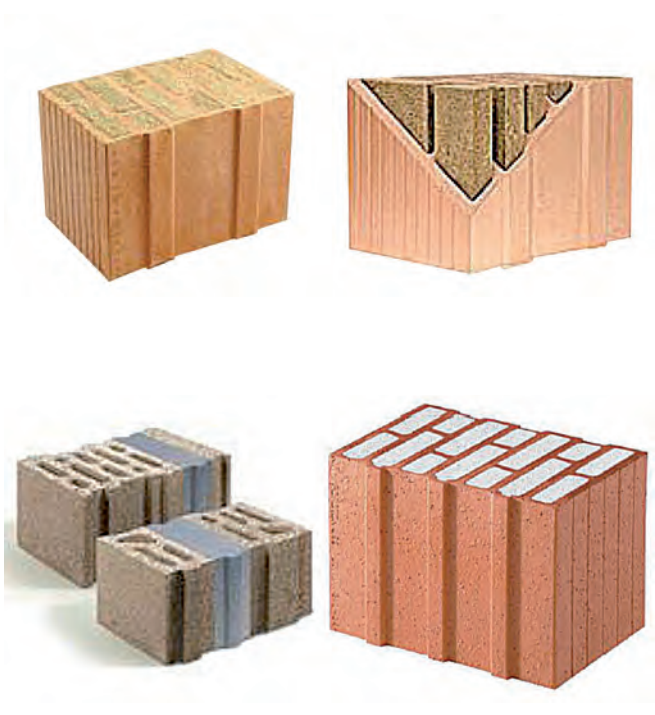


Isotex Srl

Non sono blocchi portanti, ma veri e propri casseri a perdere in cui, previa posa di armatura metallica fra un corso e l'altro, viene poi eseguito un getto in c.l.s. Vengono commercializzati anche già accoppiati con materiali coibenti nelle cavità: questo se da un lato migliora il comportamento termico del blocco in sé, dall'altro non assicura una perfetta omogeneità di comportamento termico della parete nel suo complesso, soprattutto nei nodi tipo giunzioni parete solaio, spigoli dell'edificio, perché il materiale coibente non può essere in un unico strato privo di interruzioni.

5.1.5 Blocchi compositi e riempiti

Esistono in commercio blocchi in laterizio, in calcestruzzo aerato autoclavato, in calcestruzzo alleggerito e legno mineralizzato accoppiati o riempiti con coibenti termici sia sintetici tipo EPS o EPS con grafite, sia naturali tipo sughero o minerali tipo schiuma minerale o lana di roccia. Valgono le considerazioni fatte per i blocchi cassero in legno mineralizzato circa la difficoltà di rispettare la "regola del pennarello", anche con posa a regola d'arte, soprattutto nei nodi canonici. Fanno eccezione i blocchi portanti le cui cavità sono interamente riempite con materiale coibente e che hanno quindi un'omogeneità di comportamento termico maggiore. Gli spessori di muratura sono sempre consistenti.



► | 5.2 | Materiali coibenti

Come anticipato nel capitolo 4, per avere strutture che impediscano il passaggio del calore è necessario utilizzare nelle stratigrafie materiali con bassa conduttività termica: in altre parole, materiali cosiddetti coibenti. Un materiale è considerato **blandamente coibente** se caratterizzato da un valore di conduttività termica λ inferiore a 0,10-0,08 W/(mK), **mediamente coibente** con valori compresi tra 0,045-0,035 W/(mK), **altamente coibente** con valori λ inferiori a 0,030 W/(mK) nell'ambito dell'economicamente abbordabile, fino a valori molto spinti di 0,010-0,008 W/(mK) nel caso dei feltri in aerogel e dei pannelli sottovuoto.

I materiali coibenti in commercio sono numerosissimi e molto vari per caratteristiche tecniche. Li elenchiamo qui di seguito, classificandoli in base all'origine della materia prima: minerale, animale, sintetica, vegetale. Di ogni materiale coibente sono date in forma molto stringata informazioni generali sulla produzione, l'impiego e lo smaltimento. Nella tabella al fondo dell'elenco sono messe a confronto le principali caratteristiche tecniche utili per i calcoli energetici e di sostenibilità.

Origine minerale	Origine animale	Origine vegetale
Argilla espansa (LWA)	Lana di pecora	Canna palustre
Perlite espansa (EP, EPB)	Piuma animale	Fibra di Typha Latifolia
Vermiculite espansa (EV)		Paglia
Pomice naturale	Origine sintetica	Pannelli in fieno
Calce-cemento cellulare		Fibra di canapa
Calcio silicato	Polistirene espanso (EPS)	Fibra di kenaf
Lana di roccia (MW)	Polistirene estruso (XPS)	Fibra di cotone
Lana di vetro (MW)	Poliuretano espanso (PUR)	Fibra di cocco
Vetro cellulare (CG)	Fibra di Poliestere (PET)	Fibra di lino
	Pannelli sottovuoto (VIP)	Fibra di mais
	Isolanti sottili riflettenti	Fibra di cellulosa
	Aerogel	Fibra di legno (WF)
		Lana di legno mineral. (WW)
		Sughero (ICB)

Marcatura CE materiali coibenti

Anche per i materiali coibenti la marcatura CE è obbligatoria dal 13/05/2003; devono inoltre essere conformi alle norme armonizzate UNI EN dalla 13162: alla 13172. In mancanza di norma tecnica europea armonizzata EN i prodotti coibenti devono essere dotati di ETA (European Technical Assessment - Certificato Tecnico Europeo) che ne certifichi le caratteristiche tecniche e prestazionali riferite alle rispettive caratteristiche essenziali. Gli ETA sono basati sugli EAD (European Assessment Documents - Documenti per la Certificazione Europea) e costituiscono il documento essenziale per redigere il DoP (Declaration of Performance - Dichiarazione di Prestazione) del prodotto, documento principale della marcatura CE secondo gli aggiornamenti apportati dall'entrata in vigore il 01/07/2013 del Regolamento (UE) N. 305/2011.

5.2.1 Materiali di origine minerale

Argilla espansa (LWA)

Norme di riferimento: UNI EN ISO 14063-1:2005 e 14063-2:2013

Argille selezionate in cave a cielo aperto, lasciate stagionare per diversi mesi e frantumate. I granuli ottenuti sono sottoposti a un trattamento termico (1200 °C) in cui avviene l'essiccazione e l'espansione. Si trova in commercio sfusa e viene impiegata in riempimenti a secco oppure, impastata con legante idraulico, nella realizzazione di sottofondi termoisolanti.

Smaltimento: può essere riutilizzata come inerte o smaltita nelle discariche specifiche per materiali da costruzione.

Precauzioni: indossare la mascherina durante la lavorazione e la posa.



Perlite espansa (EP, EPB)

Norme di riferimento: UNI EN ISO 13169:2013, UNI EN 14316-1:2005 e UNI EN 14316-2:2007

Roccia di origine vulcanica, frantumata e ridotta in granuli espansi in forni a temperature comprese tra 850 e 1000 °C. Ha caratteristiche di idrorepellenza a volte migliorate mediante trattamenti con silicone, paraffina o silicato di potassio. Se ne producono anche pannelli con fibre di vetro, fibre di cellulosa, bitume e amido. Può essere usata in riempimenti a secco, come inerte in sottofondi alleggeriti o, nella tipologia a pannelli, come supporto termoisolante per guaine impermeabilizzanti.

Smaltimento: può essere riutilizzata come inerte o smaltita nelle discariche specifiche per materiali da costruzione.

Precauzioni: indossare la mascherina durante la lavorazione e la posa.



Serlite.it

Vermiculite espansa (EV)

Norme di riferimento: UNI EN 14317-1:2005, UNI EN 14317-2:2007, UNI EN 15501:2013, UNI EN 15600-1:2010, UNI EN 15600-2:2010

Altro minerale di origine vulcanica frantumato e ridotto in granuli espansi con trattamento termico in forni a 1000 °C. Anche la vermiculite espansa può essere impiegata in riempimenti a secco, come inerte in sottofondi alleggeriti.

Smaltimento: può essere riutilizzata come inerte o smaltita nelle discariche specifiche per materiali da costruzione.

Precauzioni: indossare la mascherina durante la lavorazione e la posa.

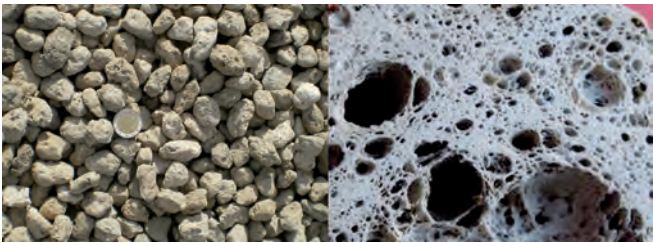


Pomice naturale

Roccia vulcanica a struttura alveolare, estratta dalla cava, macinata e trattata con sostanze idrofughe. La pomice sfusa trova impiego in riempimenti a secco, come inerte in sottofondi alleggeriti.

Smaltimento: può essere riutilizzata come inerte o smaltita nelle discariche specifiche per materiali da costruzione.

Precauzioni: indossare la mascherina durante la lavorazione e la posa.



Calce-cemento Cellulare (Schiuma minerale)

Norme di riferimento: UNI EN 771-4:2011
Benestare Tecnico Europeo (es: ETA-05-0093, ETA - 06/0184)

Composto di sabbia quarzifera, cemento Portland, idrato di calcio, anidrite, schiuma espandente e acqua: con lo stesso procedimento di produzione del calcestruzzo cellulare autoclavato, viene fatto espandere e consolidare in caldaie a pressione di vapore e successivamente essiccato. Da non confondere con il calcio-silicato. Ridotto in granuli può avere gli stessi impieghi di perlite, vermiculite, etc. In pannelli è utilizzato nella coibentazione a cappotto esterno e facciate ventilate.

Smaltimento: sfuso può essere riutilizzato come inerte o smaltito nelle discariche specifiche per materiali da costruzione.

Precauzioni: indossare la mascherina durante la lavorazione e la posa.



Ytong

Calcio silicato (CS)

Norma di riferimento: UNI EN 14306:2013, UNI EN 771-2:2005

Prodotto in pannelli con calcio silicato poroso e cellulosa (-5%). Il suo principale impiego, vista la grande permeabilità al vapore, è nel delicato caso della coibentazione dall'interno, avendo la capacità di assorbire l'umidità per poi rilasciarla negli ambienti. L'alto valore di pH 10,5 ostacola l'attaccamento delle spore della muffa.

Smaltimento: può essere riutilizzato o smaltito nelle discariche specifiche per materiali da costruzione.

Precauzioni: indossare guanti, occhiali e mascherina durante la lavorazione e la posa.



Promat.it

5.2 | Materiali coibenti

Lana di roccia (MW)

Norma di riferimento: UNI EN ISO 13162:2013, UNI EN 14303:2013, UNI EN 14064-1:2010 e UNI EN 14064-2:2010

Consiste per il 98% di basalto, diabase e dolomite. La roccia viene macinata e portata a fusione a 1400 °C e trasformata in fibre con un procedimento simile a quello usato per la produzione dello zucchero filato. Le fibre vengono spruzzate di resine e oli come leganti e idrofughi (fenolformaldeide), successivamente fatte indurire in forni caldissimi e infine tagliate in pannelli. La lana di roccia è particolarmente impiegata in sistemi coibenti a cappotto esterno, in intercapedine e nella protezione antincendio.

Smaltimento: può essere riutilizzata o altrimenti smaltita nelle discariche specifiche per materiali da costruzione.

Precauzioni: indossare guanti, occhiali e mascherina durante la lavorazione e la posa.



Flumroc

Lana di vetro (MW)

Norma di riferimento: UNI EN ISO 13162:2013, UNI EN 14303:2013, UNI EN 14064-1:2010 e UNI EN 14064-2:2010

La lana di vetro è prevalentemente ottenuta da vetro di recupero (ca. 60%), tramite fusione a 1350 °C con sabbia, poi viene trasformata in fibre, come la lana di roccia, e addizionata con un legante (resine melamminiche e fenoliche) per aumentarne la coesione. Successivamente le fibre sono sottoposte a calandratura a 200 °C e infine ridotte in materassini, pannelli e feltri. Adatta per sistemi di coibentazione a cappotto, in intercapedine, etc.

Smaltimento: può essere riutilizzata, altrimenti deve essere smaltita nelle discariche specifiche per materiali da costruzione.

Precauzioni: indossare guanti, occhiali e mascherina durante la lavorazione e la posa.



Vetro cellulare (CG)

Norma di riferimento: UNI EN ISO 13167:2013, UNI EN 14303:2013

Dalla fusione di sabbia quarzifera, calcio, feldspato, soda e vetro riciclato si ricava una massa di vetro fuso che viene estrusa e macinata fino a ottenere una polvere di vetro. La miscela, dopo l'aggiunta di carbonio, viene posta nuovamente a 1000 °C per la fase di espansione. Il vetro cellulare può essere utilizzato per tutti gli impieghi, e soprattutto in presenza di umidità e acqua, essendo completamente impermeabile a vapore e acqua. È prodotto anche sotto forma di ghiaia, particolarmente adatta per isolamenti di fondazioni.

Smaltimento: i pannelli possono essere riutilizzati se posati a secco; il vetro cellulare potrebbe inoltre essere recuperato e rifuso ma il processo è per ora antieconomico.

Precauzioni: indossare guanti, occhiali e mascherina durante la lavorazione e la posa.



Foamglas, fanrisparmio.com

5.2.2 Materiali di origine animale

Lana di pecora

Benestare Tecnico Europeo (Es: ETA - 05/0087, 07/0214, 05/0021)

La lana viene lavata con sapone naturale, sciacquata con carbonato di sodio, trattata con sali di boro come trattamento antiparassitario, cardata in strati successivi pressati e agugliati meccanicamente senza utilizzo di colla o resine sintetiche, a volte miscelata con poliestere (20%), e asciugata a 200 °C: l'operazione garantisce una maggior durata nel tempo. Per aumentare la rigidità dei pannelli è uso anche impiegare 70% lana di pecora, 20% fibra di canapa e 10% fibra di poliestere. Se è di origine locale europea e priva di materiali sintetici, la lana ha parametri di sostenibilità ambientale ottimi; molto meno se viene importata dalla Nuova Zelanda e rinforzata con fibre sintetiche.

Smaltimento: riutilizzabile solo se pulita e non affetta da parassiti; compostabile se non trattata con sali di boro e se non rinforzata con fibre sintetiche.

Precauzioni: nessuna.



lanadipecora.com, klimalan.de, isolena.at

Piume animali

Non sono stati reperiti ETA in corso di validità

Le piume animali sono un sottoprodotto dell'allevamento e successivo abbattimento di oche, anatre e altri volatili a scopo alimentare, in particolare legati alla produzione del cosiddetto foie gras. In Francia vengono prodotti rotoli di piume, previa miscelazione con lana di pecora e fibre sintetiche di rinforzo: disinfettati e legati a una temperatura di circa 150 °C sono poi trattati con sali di boro per renderli imputrescibili e inattaccabili dai parassiti.

Benché il materiale sia di per sé "naturale", non può essere considerato sostenibile dal punto di vista ambientale l'abbattimento di animali per ottenere la materia prima.

Precauzioni: nessuna.

5.2.3 Materiali di origine vegetale

Canna palustre

Benestare Tecnico Europeo (Es: ETA - 13/0518)

È una graminacea che cresce presso laghi e zone paludose. Le canne vengono raccolte già secche, compresse e legate meccanicamente con fil di ferro zincato o nylon senza rompere le cavità interne. Può essere utilizzata per l'isolamento termoacustico in cappotti interni ed esterni, rivestiti di intonaco o legno, in intercapedine, in solai e coperture. **Smaltimento:** i pannelli possono essere riutilizzati se integri, altrimenti una volta eliminato il fil di ferro o nylon possono essere inceneriti o compostati. **Precauzioni:** nessuna.



leobodner.it

Fibra di Typha Latifolia (Stiancia)

Non sono stati reperiti ETA in corso di validità.

Pianta monocotiledone della famiglia delle Typhaceae, è caratterizzata da spighe cilindriche marroni a forma di salsiccia lunghe fino a 30 cm, e cresce spontaneamente in zone umide e paludose fino a raggiungere anche 250 cm di altezza. Le canne seccate vengono trasformate in pannelli rigidi di densità che varia tra 200 e 300 kg/m³; la disposizione delle fibre a strati incrociati conferisce ai pannelli un ottimo comportamento meccanico (resistenza a compressione fino a 80 N/mm² per pannelli da 320 kg/m³), tanto da essere stato felicemente impiegato in Germania nella ristrutturazione/riqualificazione energetica di edifici storici in graticcio di legno per la realizzazione dei tamponamenti delle pareti esterne, successivamente intonacate. Esiste anche una variante in cui le fibre sono disposte in tutte le direzioni e sono compattate e saldate con magnesite: in tal caso il comportamento termico è isotropo. **Smaltimento:** i pannelli integri possono essere riutilizzati, altrimenti inceneriti o compostati solo se non trattati con magnesite. **Precauzioni:** nessuna.



Fraunhofer IBP

► 5.2 | Materiali coibenti

Paglia

Benestare Tecnico Europeo (Es: ETA - 10/0032)

Il materiale è lo scarto agricolo delle coltivazioni dei cereali, in particolare degli steli che dopo la trebbiatura vengono compattati e ridotti in balle di densità variabile da 90 a 180 kg/m³. Le balle sono poi cordate con spaghi molto tesi e costituiscono veri e propri blocchi da costruzione con cui vengono erette intere strutture secondo varie tecniche. Il comportamento termico dipende molto dal grado di densità e dalla coltivazione di origine. Le proprietà di sostenibilità ambientale particolarmente spiccate ne fanno la regina dei materiali coibenti e costruttivi eco-sostenibili.

Smaltimento: se non intonacata può essere compostata, altrimenti incenerita.

Precauzioni: nessuna.



Materialisostenibili.it, architetturaecosostenibile.it

Fieno (graminacee)

Benestare Tecnico Europeo (Es: ETA 06/0274)

I pannelli sono costituiti dalla parte cellulosa del fieno di graminacee e sono addizionati con fibra in polietilene quale supporto. Il materiale non è allergenico perché il taglio avviene prima della stagione di fioritura, inoltre è privo di spore di funghi. La base cellulosa ed il trattamento ignifugo cui è sottoposto, rendono il materiale poco appetibile ai parassiti e inalterabile nel tempo.

Smaltimento: il materiale di scarto di posa è recuperato e interamente riciclato per la produzione di altri pannelli.

Precauzioni: nessuna.



Gramitech SA

Fibra di canapa

Benestare Tecnico Europeo (Es: ETA 05/0037, ETA - 01/0016)

Deriva dalla pianta della canapa da fibra tessile. Dopo l'essiccazione in appositi forni e la macerazione in vasche d'acqua per distaccare le fibre, queste vengono trattate con soda o sali di boro e sottoposte a termofissaggio dopo l'aggiunta, come supporto, di fibra di poliestere, o, nei pannelli più naturali, con fibre di mais. I pannelli possono essere utilizzati in tutti i casi che non prevedano presenza di acqua, in particolare nelle costruzioni in legno.

Smaltimento: è riutilizzabile e riciclabile a cascata, nel tessile, nella produzione di carta e cartone a sua volta riciclabile, e infine utilizzato come combustibile. Può essere compostata solo la canapa pura priva di poliestere.

Precauzioni: nessuna.



Architetturaecosostenibile.it, NaturaliaBau

Fibra di kenaf

Benestare Tecnico Europeo (Es: ETA - 07/0213)

Si ricava da una pianta simile alla canapa, che viene lasciata seccare: gli steli sono quindi tagliati, raccolti e sfibrati. Le fibre mediane, da cui viene eliminata la parte legnosa, sono pulite e ridotte in fiocchi con cui vengono prodotti pannelli semirigidi previa l'aggiunta di prodotto naturale ignifugo e poliestere e termofissaggio finale. I pannelli possono essere utilizzati in tutti i casi che non prevedano presenza di acqua, in particolare nelle costruzioni in legno.

Smaltimento: riutilizzabile e riciclabile. Il compostaggio è possibile se i pannelli sono privi di componenti sintetici.

Precauzioni: nessuna.



Ecosalon.com, ecologiaedesign.com, edilio.it

Fibra di cotone

Benestare Tecnico Europeo (Es: ETA - 10/0311)

Coltivato in numerosi paesi del mondo, il cotone occupa circa l'1% delle superfici coltivabili. Purtroppo la sua coltivazione è responsabile del 20% dell'utilizzo di pesticidi e necessita di enormi quantità di acqua. È molto sensibile all'umidità e viene prodotto in materassini o fornito sfuso. I pannelli possono essere impiegati come coibentazione dei tetti, in intercapedine. Il cotone di riempimento sfuso può essere un'alternativa naturale alle schiume usate in cantiere per sigillare i controtelai di finestre e porte.

Smaltimento: può essere riutilizzato se pulito. Il compostaggio è possibile quando è puro.

Precauzioni: nessuna.



Casaenergetica.it

Fibra di cocco

Non sono stati reperiti ETA in corso di validità.

È ricavata dalla parte fibrosa che ricopre la noce di cocco. Le fibre, dopo la macerazione in acqua salmastra e fango per eliminare le parti putrescibili, sono lavate, essiccate e impregnate con sali di boro, silicato di sodio o solfato di ammonio. Con processi di cardatura e agugliatura si producono feltri, rotoli e pannelli. Per migliorarne l'idrorepellenza può essere trattata con lattice. È utilizzabile in intercapedini di strutture in legno, in muratura, cappotti interni, cappotti esterni ventilati, coperture ventilate e sottotetti. Non teme l'umidità.

Smaltimento: è riutilizzabile e riciclabile.

Precauzioni: nessuna.



Fibradicoccopannelli.com, innotec Naturdämmstoffe

Fibra di lino

Benestare Tecnico Europeo (Es: ETA - 12/0037)

Deriva da coltivazioni biologiche. Le piante vengono estirpate ed essiccate, quindi macerate per isolare le fibre e dividerle in lunghe, per l'industria tessile, e corte adatte per la produzione di pannelli termoisolanti. Per renderle ignifughe, le fibre sono trattate con sali di boro e come legante sono a volte utilizzate fibre di poliestere. Molto traspiranti e igroscopici, i pannelli termoisolanti in fibra di lino possono essere impiegati in intercapedine, cappotti interni ed esterni ventilati, coperture ventilate, pareti divisorie interne.

Smaltimento: se non sono presenti fibre di poliestere, la fibra di lino è riutilizzabile e riciclabile.

Precauzioni: nessuna.



Casaenergetica.it

Fibra di mais

Non sono stati reperiti ETA in corso di validità.

Deriva dalla pannocchia di mais ed è ricavata dall'estrazione e filatura dell'acido polilattico che si ottiene dalla fermentazione dei chicchi di mais. Le fibre così ottenute sono sottoposte a cardatura, faldatura e termoregolatura in appositi forni alla temperatura di 160 °C. I pannelli di fibra di mais sono utilizzabili in intercapedini, in cappotti interni ed esterni ventilati, pareti divisorie interne, controsoffitti, solai e sottopavimenti.

Smaltimento: i pannelli possono essere riadoperati se integri, altrimenti il prodotto è biodegradabile al 100%.

Precauzioni: nessuna.



Biofiber, O.R.V. Manufacturing

► 5.2 | Materiali coibenti

Fibra di cellulosa

Norme di riferimento: UNI EN 15101-1:2013, UNI EN 15101-2:2013
Benestare Tecnico Europeo (Es: ETA - 05/0226, 05/0186)

Dalla carta di quotidiani selezionata, sminuzzata, trattata con sali di boro per renderla ignifuga e inattaccabile dai parassiti, si ottengono i fiocchi che dopo un ulteriore trattamento termico con fibra di poliestere possono essere composti in materassini. La fibra di cellulosa si trova anche in granuli simili a pellet. Sotto forma di fiocchi può essere impiegata per l'insufflaggio meccanico a secco o a umido in intercapedini di pareti e solai, coperture o sottotetti non praticabili. È molto usata nella prefabbricazione di case passive. Purtroppo tende, come tutti i materiali insufflati, ad assestarsi nel tempo, soprattutto nelle pareti verticali e nelle falde del tetto. In pannelli può essere impiegata in intercapedine, cappotti interni, cappotti esterni ventilati e non, in solai e sottopavimenti. Recenti studi hanno evidenziato la capacità di regolazione dell'umidità nel caso di coibentazione dall'interno, come per i pannelli di calcio silicato.

Smaltimento: è riutilizzabile e riciclabile. Se i fiocchi sono umidi possono essere fatti essiccare e insufflati nuovamente. Non è possibile il compostaggio a causa del trattamento coi sali di boro.

Precauzioni: uso della mascherina durante la posa (soprattutto in caso di insufflaggio).



Isofloc.ch, thermofloc.com, homatherm.com

Fibra di legno (WF)

Norma di riferimento: UNI EN ISO 13171:2013

Viene ottenuta dagli scarti di lavorazione del legno di conifere e latifoglie, tramite taglio, sfibratura meccanica o a vapore. Con le fibre impastate con acqua calda, emulsioni idrorepellenti e solfato di alluminio vengono formati dei pani fatti asciugare in forni a 120-180 °C, leggermente compressi. Il legante principale è la lignina, resina naturale del legno. La fibra viene commercializzata sfusa e in pannelli. Ha buone proprietà di isolamento termo acustico ed è particolarmente adatta per la protezione estiva dal calore nelle coperture. I pannelli sono impiegati in intercapedine, cappotti interni ed esterni, ventilati e non, in sottotetti e sottopavimenti. Mantengono buone proprietà termoisolanti anche in presenza di umidità interna.

Smaltimento: possono essere impiegati come combustibile (se non trattati con bitume) o riciclati per produzione di nuovi pannelli coibenti.

Precauzioni: uso della mascherina, taglio con appositi segacci.



Pavatex.ch, hofatex.ch, steico.com

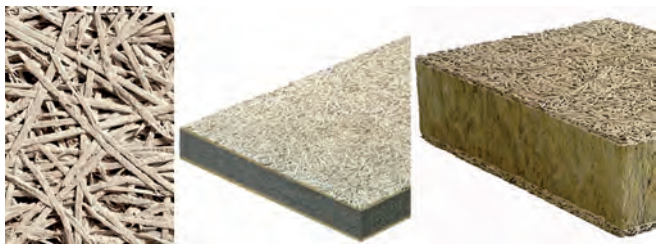
Lana di legno mineralizzata (WW)

Norma di riferimento: UNI EN ISO 13168:2013, UNI 9714:1990

Deriva da legname di scarto di segheria. Le fibre vengono macerate e sfibrate meccanicamente, impregnate di magnesite o cemento e con leganti minerali che ne determinano la mineralizzazione. La mineralizzazione con magnesite avviene per assorbimento nelle fibre del legante e i pannelli sono ottenuti con alte temperatura e pressione. La mineralizzazione con cemento avviene tramite il rivestimento delle fibre con il legante durante la stagionatura a temperatura ordinaria. Pur avendo da soli buone capacità termoisolanti, sono impiegati nella correzione dei ponti termici e come complemento dello strato coibente delle coperture per l'ottimo comportamento estivo. Sono commercializzati anche in pannelli compositi con coibenti tipo EPS, fibra di legno, schiuma minerale, lana minerale.

Smaltimento: se integri possono essere riutilizzati, ma la mineralizzazione ne impedisce la combustione. Se non combinati con altri coibenti, possono essere rimacinati per essere impiegati come inerte per calcestruzzo.

Precauzioni: mascherina.



Celenit, Heraklith, Eraclit

Sughero (ICB)

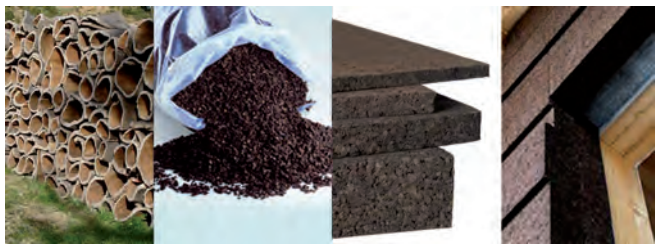
Norma di riferimento: UNI EN ISO 13170:2013

Si ottiene dalla corteccia della quercia da sughero coltivata principalmente in Portogallo, Spagna, Africa nord-occidentale e Sardegna. La prima decorticazione può essere fatta solo intorno al ventesimo anno di età della pianta: se ne ottiene un sughero ruvido e nodoso che ridotto in granuli viene utilizzato sia sfuso sia in pannelli di varie tipologie in base al tipo di lavorazione:

- pannelli di sughero agglomerato espanso ottenuti tramite cottura dei granuli in forni a pressione senza aggiunta di collanti;
- pannelli di sughero compresso senza utilizzo di resine e collanti: sono ottenuti con trattamento a microonde e compressione dei granuli;
- pannelli di sughero compresso, con utilizzo di collanti: sono ottenuti con la compressione a caldo dei granuli miscelati a resine e collanti. Sfuso, il sughero viene utilizzato come riempimento a secco di intercapedini di pareti solai o sottotetti non praticabili. I pannelli, di spessore non maggiore di 12 cm, sono utilizzati nella coibentazione in intercapedine, in cappotti interni ed esterni, pareti divisorie, coperture piane e a falda, sottopavimenti.

Smaltimento: può essere riciclato, o compostato se non trattato con collanti.

Precauzioni: nessuna.



Agraria.org, tecnosugheri.it, molinas.it

► 5.2 | Materiali coibenti

5.2.4 Materiali di origine sintetica

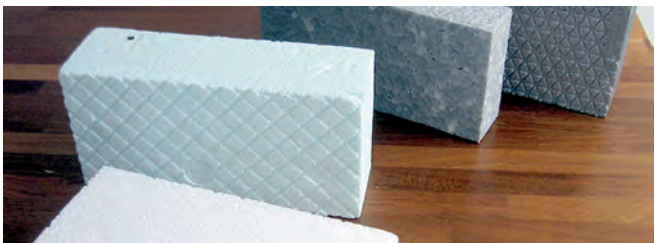
Polistirene espanso (EPS)

Norma di riferimento: UNI EN ISO 13163:2013,

Il polistirene è un polimero termoplastico ottenuto dalla polimerizzazione dello stirene o stirolo derivato del petrolio. Dopo processi di produzione piuttosto complessi il polistirene espanso (le palline sfuse) viene sinterizzato per la produzione di pannelli rigidi. Si presenta solitamente di colore bianco, di recente se ne trova di colore grigio, dovuto all'aggiunta di polvere di grafite che ne migliora la capacità coibente. È utilizzabile per tutti i tipi di impiego, ma in caso di esposizione prolungata all'umidità assorbe acqua, quindi se ne evita generalmente l'uso in luoghi umidi. Non ha un buon comportamento estivo e in caso di applicazione a cappotto può peggiorare il comportamento acustico della parete.

Smaltimento: è riciclabile solo nella sua forma pura e non è biodegradabile; a fine vita deve pertanto essere incenerito.

Precauzioni: il taglio con filo caldo deve avvenire all'esterno o in locali ben aerati perché si sprigionano sostanze tossiche, in ogni caso va fatto uso della mascherina.



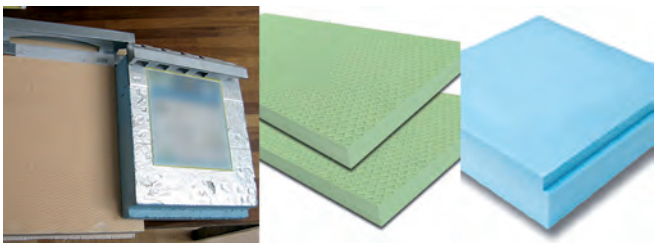
Polistirene espanso estruso (XPS)

Norma di riferimento: UNI EN ISO 13164:2013

Il polistirolo estruso viene prodotto con procedimento del tutto simile a quello espanso, solo al termine della lavorazione le perline di stirolo vengono estruse con gas propellenti. Dopo l'uso sconsigliato di CFC come gas propellente, da alcuni anni questo processo avviene in maniera relativamente ecocompatibile, ad esempio con l'impiego di CO₂ estratta dall'atmosfera quale gas propellente. In breve tempo l'aria va a sostituirla negli alveoli del materiale, in seguito a processi di scambio. La struttura a cellule chiuse, contrariamente all'EPS, lo rende particolarmente resistente all'umidità. Lo si trova in commercio in pannelli rigidi con o senza "pelle" e viene principalmente usato in luoghi umidi: zoccolature dei cappotti, tetti piani, sottofondazione.

Smaltimento: come per l'EPS.

Precauzioni: il taglio con filo caldo deve avvenire all'esterno o in locali ben aerati perché si sprigionano sostanze tossiche, in ogni caso con uso della mascherina.



Basf, Dow

Poliuretano (PUR) e poliisocianurato (PIR) espanso

Norma di riferimento: UNI EN ISO 13165:2013, UNI EN 14308:2013, UNI EN 14315-1:2013, UNI EN 14315-2:2013

Il poliuretano espanso è un polimero termoisolante derivato dal petrolio. Si ottiene tramite processi complicati e molto dispendiosi dal punto di vista energetico. Lo si trova in lastre rigide solitamente rivestite, in particolare con alluminio, su ambo i lati. In edilizia è molto usato anche in forma di schiuma espandente in loco per sigillature (ad esempio controterzi dei serramenti). Teme i raggi UV e non è insensibile all'umidità. Fra i coibenti più comunemente usati è quello che ha conduttività termica più bassa.

Smaltimento: non riciclabile, a fine vita va incenerito.

Precauzioni: indossare la mascherina durante il taglio dei pannelli, aerare gli ambienti durante l'uso delle schiume espandenti in loco.



Isotec, Corafoam, Ediltec, Stiferite

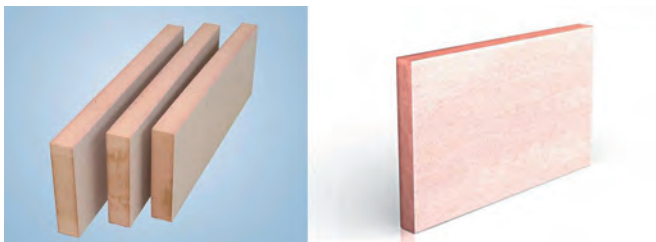
Resine fenoliche espanse (PF)

Norma di riferimento: UNI EN ISO 13166:2013

Le resine fenoliche espanse hanno aspetto simile al poliuretano espanso: si presentano infatti come una schiuma rigida e fragile. Il materiale base è costituito da resine fenoliche, un tipo di polimeri ottenuti dalla reazione di fenolo e formaldeide, e l'utilizzo di pentano quale agente espandente. Una volta polimerizzate le resine di per sé hanno grado di tossicità bassissimo ma spesso al loro interno rimangono sostanze di lavorazione tossiche, come ad esempio il fenolo; per questo motivo è consigliabile l'utilizzo solo per ambienti esterni (cappotto). Hanno prestazioni termiche eccezionali ma caratteristiche di impatto ambientale piuttosto negative.

Smaltimento: non riciclabili, a fine vita vanno incenerite.

Precauzioni: indossare la mascherina durante la posa.



STO, Weber.therm, Baumit

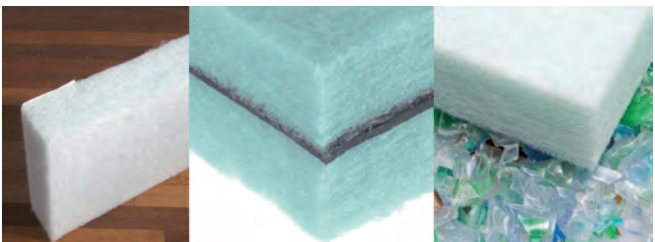
Fibra di Poliestere (PET)

Benestare Tecnico Europeo (Es: ETA - 08/0136)

Le materie prime sono costituite da fibre di poliestere e fibre co-poliestere termoleganti. Le fibre vengono miscelate, cardate e stratificate. Il velo di fibra cardato subisce un processo di faldatura, fino a raggiungere la grammatura desiderata. Successivamente, in forno a circa 180 °C, avviene il processo di termolegatura, in cui le fibre co-poliestere termoleganti vengono fuse con aria calda e successivamente raffreddate. L'operazione finale è quella della calibratura/finitura per ottenere un prodotto finito di un determinato spessore. Durante questo processo elementi differenti o strati di finitura possono essere accoppiati senza l'ausilio di collanti. Pur non essendo di provenienza naturale è considerato un prodotto termoisolante ecosostenibile perché prodotto con fibra poliestere ottenuta dal riciclo di bottiglie in PET provenienti dalla raccolta differenziata. Le fibre sono inoltre idrorepellenti.

Smaltimento: i pannelli possono essere riutilizzati se integri, altrimenti sono completamente riciclabili perché realizzati unicamente in poliestere.

Precauzioni: nessuna in nessuna delle fasi di produzione, montaggio e utilizzo.



Mappy Italia, Ecozero

► 5.2 | Materiali coibenti

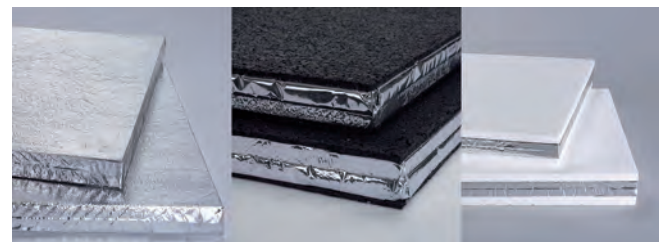
Pannelli sottovuoto (VIP)

Benestare Tecnico Europeo (Es. ETA 13/0515)

I pannelli sottovuoto o VIP (Vacuum Insulation Panels) sono costituiti da un involucro protettivo multistrato (alluminio, nylon, PET) ad alta tenuta, resistente alla pressione, impermeabile all'aria e al vapore acqueo, che racchiude un nucleo di acido silicico microporoso (silice pirogena o aerogel), da cui è stata sottratta l'aria, molto simile nell'aspetto alle confezioni di caffè sottovuoto. La caratteristica principale dei pannelli VIP è la bassissima conduttività termica, sono però molto delicati. Per questo motivo sempre più spesso si trovano in accoppiamento sandwich con altri materiali coibenti che li proteggono meccanicamente. Sono prodotti in spessori che vanno da 1 a 5 cm. Vengono impiegati in situazioni dove la mancanza di spazio non permette grandi spessori di coibentazione e per la risoluzione di particolari ponti termici o nodi architettonici. Il costo molto alto ne fa un prodotto di nicchia.

Smaltimento: sono troppo delicati per essere riutilizzabili e non sono riciclabili.

Precauzioni: nessuna.



Porextherm, Va-Q-vip F

Isolanti sottili riflettenti

Norma di riferimento: UNI EN 16012:2012

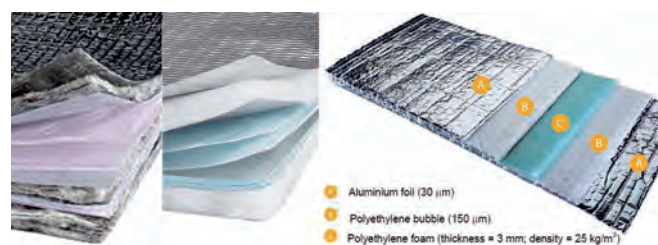
Questi tipi di isolanti sottili hanno essenzialmente la funzione di ostacolare la trasmissione del calore per irraggiamento. Sono formati da più superfici riflettenti, in genere fogli in alluminio plastificati dai bassissimi valori di emissività, alternati a feltri sottili di materiali sintetici e naturali o da strati di aria incapsulata in cuscinetti (realizzati generalmente con polietilene rinforzato) a formare materassini di 1-3 cm di spessore complessivo. L'accoppiamento dei materiali avviene con diverse tecniche di saldatura o agugliatura, a seconda dell'impiego. Per sfruttare al meglio le caratteristiche di questi prodotti la posa deve prevedere, su ambo i lati, intercapedini sigillate di aria ferma di 2 cm di spessore, e le superfici riflettenti non devono essere impolverate. Per quanto riguarda le loro qualità coibenti, le prove tecniche previste dalle norme armonizzate europee forniscono una resistenza termica $R \leq 0,85$ ($\text{m}^2\text{K}/\text{W}$) propria del solo materassino e $R \leq 2$ ($\text{m}^2\text{K}/\text{W}$) comprese le due lame di aria ferma, per un valore equivalente di $\lambda_{\text{eq}} = 0,030-0,035$ $\text{W}/(\text{mK})$; in nessuno degli ETA di prodotti di questo tipo consultabili sul sito EOTA si dichiarano prestazioni superiori.

Alcuni produttori sostengono di essere oggetto di discriminazione commerciale dovuta alle lobby dei produttori di coibenti tradizionali, e hanno elaborato proprie prove tecniche alternative non conformi alle norme armonizzate europee: queste prove forniscono valori molto alti di resistenza termica (ribattezzata "Efficacia Termica"), intorno addirittura a $6,1$ ($\text{m}^2\text{K}/\text{W}$) per un valore equivalente di $\lambda_{\text{eq}} = 0,010$ $\text{W}/(\text{mK})$.

L'ANIT ha pubblicato già nel 2010, e aggiornato nel 2012, un ottimo approfondimento sull'argomento, intitolato *Corretta Progettazione con Materiali "Isolanti Riflettenti"*.

Smaltimento: non sono riutilizzabili né riciclabili.

Precauzioni: occhiali da sole per la posa sui tetti.



KdB Isolation, Actis

Aerogel

Benestare Tecnico Europeo (ETA - 11/0471)

Questo materiale si crea dalla gelificazione della silice in un solvente. Con l'eliminazione del solvente ciò che rimane è in pratica "sabbia gonfiata", con una porosità fino al 99%. I nanopori così ottenuti sono tanto fitti e numerosi da rallentare il trasporto di calore e massa, fornendo in tal modo un valore di conduttività termica molto basso. Prima considerato una curiosità di laboratorio, è stato di recente introdotto in campo edilizio grazie alla produzione sotto forma di feltri flessibili con l'impiego di lana di vetro e altre fibre come supporto, oppure di granulato opalino con cui sono costipate pareti vetrate esterne particolarmente luminose e molto coibenti. Si vedano al proposito alcuni progetti dell'architetto statunitense Steven Holl. Sono già anche presenti in commercio sistemi di coibentazione a cappotto che utilizzano come coibente feltri in aerogel anche accoppiati con altri materiali coibenti (es. sughero).

Smaltimento: come altri materiali sintetici e minerali.

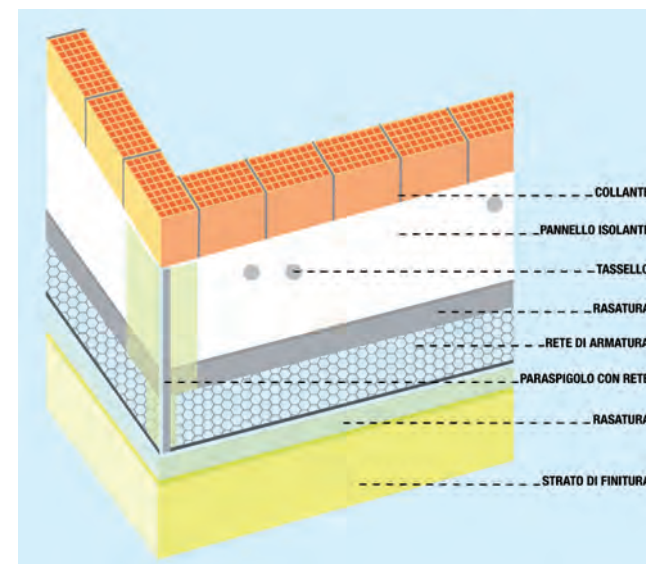
Precauzioni: indossare guanti, occhiali e mascherina durante la lavorazione e la posa.



Aspen Aerogels, ecofine.it

SIKKENS RENOVATHERM-sistema a cappotto

LE AZIENDE INFORMANO



AkzoNobel Coatings è presente in Italia con il marchio Sikkens dal 1958.

Nel rispetto dei principi della sostenibilità l'azienda ha sviluppato, negli anni, una gamma di prodotti e sistemi vernicianti sempre più performanti e tecnologicamente avanzati, formulati in base alle più restrittive normative vigenti, rispettosi dell'ambiente e finalizzati al miglioramento della qualità di vita negli spazi costruiti.

AkzoNobel Coatings, socio di Green Building Council Italia, nella sua gamma annovera prodotti rispondenti a criteri LEED per la certificazione di progetti innovativi e sostenibili.

Sikkens ha sviluppato il **Sistema Renovatherm**, una gamma completa di prodotti e componenti specifici per interventi d'isolamento termico a cappotto su edifici nuovi e fabbricati esistenti.

L'applicazione di un sistema d'isolamento termico a cappotto all'esterno dell'edificio consente di sfruttare al meglio l'inerzia termica della muratura, limitare i consumi energetici e le emissioni di anidride carbonica in un'atmosfera.

Il sistema a cappotto è un sistema complesso che comprende vari componenti: malte collanti e rasanti, pannelli termoisolanti in EPS, accessori per la posa e prodotti di finitura.

Il **Sistema Renovatherm** consente la realizzazione di differenti cicli rispondenti alle esigenze di calcolo dei progettisti, definite in base ai valori di trasmittanza termica, previsti dalla normativa vigente.

Sikkens in partnership con Eni Versalis, società del Gruppo

Eni, adotta tecnologie di ultima generazione per offrire innovativi pannelli in Polistirene Espanso Sinterizzato (EPS) ad elevate prestazioni isolanti, additivati con speciali polimeri in grado di innalzare ai massimi livelli l'effetto coibente.

Caratteristiche tecniche

I componenti del sistema Renovatherm:

Pannelli termoisolanti in EPS:

- Energy: $\lambda=0,032$ $\text{W}/(\text{mK})$ - EPS classe 100
- White PLUS: $\lambda=0,035$ $\text{W}/(\text{mK})$ - EPS classe 80
- Black: $\lambda=0,031$ $\text{W}/(\text{mK})$ - EPS classe 100



Prodotti di finitura:

- Fondi:
 - Renovatherm Grond: fondo pigmentato al solvente
 - Renovatherm Primer: fondo impregnante acril-silossanico all'acqua
 - Renovatherm Primer Extra: fondo riempitivo acril-silossanico all'acqua
- Finiture a pennello per manutenzioni:
 - Renovatherm Extra: Finitura silossanica
 - Renovatherm Farbe: Finitura acrilica Renovatherm Flex: Finitura elastomerica acril-silossanica
 - Renovatherm Regenerate: Finitura organica
- Finiture a spessore per interventi ex-novo:
 - Renovatherm Putz: rivestimento acril-silossanico granulometria 1,2 mm/1,5 mm



AKZO NOBEL COATINGS S.p.A

Via G. Pascoli, 11 - 28040 Dormelletto (NO)
Tel. 0322 401611 - Fax 0322 401607

Numero Verde 800 826 169

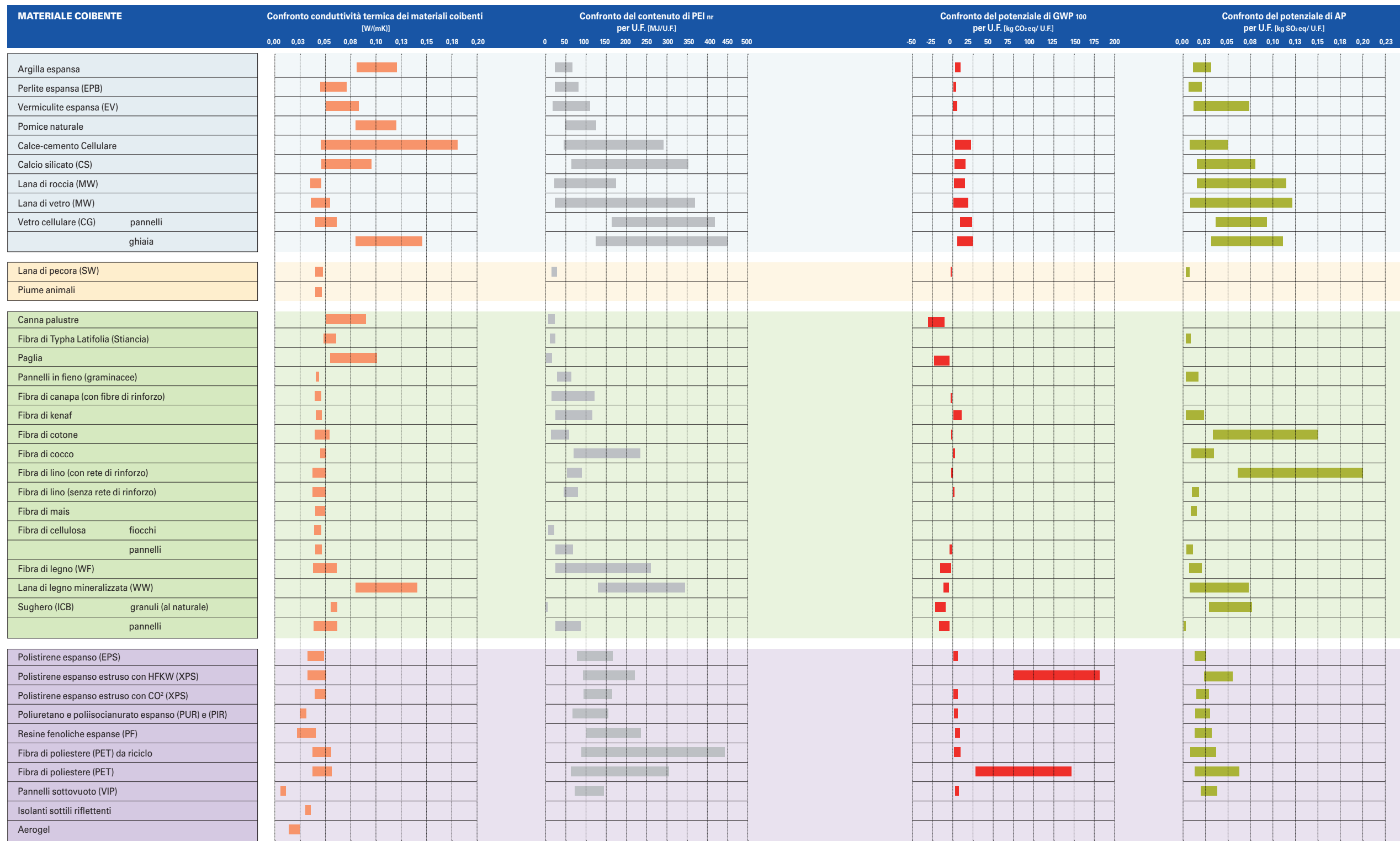
www.sikkens.it
servizio.clienti@akzonobel.com

5.2 | Materiali coibenti

MATERIALE COIBENTE		Massa volumica ρ [kg/m³]		Conduttività termica λ [W/(mK)]		Calore specifico c [kJ/(kgK)]		Diffusività termica a [10⁻⁶ x m²/s]		Resistenza al vapore μ [-]	Energia primaria non rinnovabile* PEInr [MJ/kg]	Potenziale di riscaldamento globale* GWP 100 [kg CO₂ eq/ kg]	Potenziale di acidificazione* AP [kg SO₂ eq/ kg]	Comportamento al fuoco UNI EN 13501-1 Classe	Spessore per avere resistenza termica R = 1 [m² K]/W] [m]		Unità Funzionale U.F. [kg/m²]		Contenuto di PEInr per U.F. [MJ/U.F.]		Potenziale di GWP100 per U.F. [kg CO₂ eq/ U.F.]		Potenziale di AP per U.F. [kg SO₂ eq/ U.F.]	
Argilla espansa		260	500	0,080	0,120	0,9	1	0,277		3-9	1,140	0,164	0,0005	A	0,080	0,120	20,80	60,00	23,712	68,400	3,411	9,840	0,010	0,030
Perlite espansa (EPB)		80	180	0,045	0,070	1	1	0,442		3-8	6,450	0,295	0,0015	A-C	0,045	0,070	3,60	12,60	23,220	81,270	1,062	3,717	0,005	0,019
Vermiculite espansa (EV)		50	200	0,050	0,082	0,8	1,08	0,562		1-3	6,724	0,306	0,0045	A-B2	0,050	0,082	2,50	16,40	16,809	110,269	0,765	5,017	0,011	0,074
Pomice naturale		400	700	0,080	0,120	1	1	0,182		3-6	1,480	-	-	A-B2	0,080	0,120	32,00	84,00	47,360	124,320				
Calce-cemento Cellulare		80	130	0,045	0,180	1,3	1,3	0,824		5-10	12,340	1,006	0,0021	A	0,045	0,180	3,60	23,40	44,424	288,756	3,622	23,540	0,008	0,049
Calcio silicato (CS)		115	300	0,045	0,095	0,86	1	0,363		2-20	12,340	0,574	0,0028	A1	0,045	0,095	5,18	28,50	63,860	351,690	2,972	16,366	0,014	0,080
Lana di roccia (MW)		30	180	0,035	0,045	0,9	1,3	0,346		1 2	21,360	1,935	0,0141	A1	0,035	0,045	1,05	8,10	22,428	173,016	2,032	15,674	0,015	0,114
Lana di vetro (MW)		15	150	0,035	0,053	0,9	1,03	0,553		1 2	46,250	2,454	0,0153	A2	0,035	0,053	0,53	7,95	24,281	367,688	1,288	19,509	0,008	0,122
Vetro cellulare (CG)	pannelli	100	170	0,040	0,060	0,9	1	0,390		∞	40,990	2,433	0,0090	A1	0,040	0,060	4,00	10,20	163,960	418,098	9,732	24,817	0,036	0,092
	ghiaia	200	400	0,080	0,145	0,9	1	0,395		-	7,720	0,429	0,0019	A1	0,080	0,145	16,00	58,00	123,520	447,760	6,864	24,882	0,030	0,110
Lana di pecora (SW)		20	30	0,040	0,046	1,2	1,5	1,274		1-5	19,740	0,537	0,0041	E	0,040	0,046	0,80	1,38	15,792	27,241	0,430	0,741	0,003	0,006
Piume animali		25	35	0,040	0,045	-	-	-		1-5	-	-	-	-	0,040	0,045	1,00	1,58	0,000	0,000				
Canna palustre		130	210	0,050	0,090	1,2	1,6	0,294		2-5	1,150	-1,589	0,0004	E	0,050	0,090	6,50	18,90	7,475	21,735	-10,329	-30,032	0,003	0,008
Fibra di Typha Latifolia (Stiancia)		220	320	0,048	0,060	1,5	1,5	0,133		2-5	1,150			E	0,048	0,060	10,56	19,20	12,144	22,080	0,000	0,000	0,000	0,000
Paglia		60	180	0,054	0,100	2	2	0,321		2-5	0,800	-1,246	0,0009	-	0,054	0,100	3,24	18,00	2,592	14,400	-4,037	-22,428	0,003	0,016
Pannelli in fieno (graminacee)		40	80	0,040	0,043	1,7	1,7	0,407		1-2	18,500			E	0,040	0,043	1,60	3,44	29,600	63,640	0,000	0,000	0,000	0,000
Fibra di canapa (con fibre di rinforzo)		15	100	0,039	0,045	1,6	1,6	0,457		1-3	26,680	0,077	0,0047	E-B2	0,039	0,045	0,59	4,50	15,608	120,060	0,045	0,347	0,003	0,021
Fibra di kenaf		20	80	0,040	0,045	1,6	1,7	0,515		1-2	31,600	3,140	0,0417	B2	0,040	0,045	0,80	3,60	25,280	113,760	2,512	11,304	0,033	0,150
Fibra di cotone		20	60	0,040	0,053	0,84	1,3	1,086		1-2	18,100	0,020	0,0105	B-s2, d0 - E	0,040	0,053	0,80	3,18	14,480	57,558	0,016	0,064	0,008	0,033
Fibra di cocco		50	150	0,045	0,050	1,6	1,6	0,297		1-2	31,050	0,428	0,0267	B2	0,045	0,050	2,25	7,50	69,863	232,875	0,963	3,210	0,060	0,200
Fibra di lino (con rete di rinforzo)		40	50	0,037	0,050	1,5	1,5	0,644		1-2	35,270	0,497	0,0066	B-s2, d0 C-s2, d0	0,037	0,050	1,48	2,50	52,200	88,175	0,736	1,243	0,010	0,017
Fibra di lino (senza rete di rinforzo)		40	50	0,037	0,050	1,5	1,5	0,644		1-2	31,540	0,218	0,0055	B-s2, d0 C-s2, d0	0,037	0,050	1,48	2,50	46,679	78,850	0,323	0,545	0,008	0,014
Fibra di mais		10	80	0,040	0,050	1,9	1,9	0,526		3	-													
Fibra di cellulosa	fiocchi	20	60	0,039	0,045	1,6	2	0,583		1-3	7,180	0,885	0,0035	B-s2 - E	0,039	0,045	0,78	2,70	5,600	19,386	-0,690	-2,390	0,003	0,009
	pannelli	35	85	0,040	0,045	1,6	2	0,394		1-3	17,520	-0,244	0,0051	B-s2 - E	0,040	0,045	1,40	3,83	24,528	67,014	-0,342	-0,933	0,007	0,020
Fibra di legno (WF)		45	300	0,038	0,060	1,4	2,1	0,162		2-10	14,400	-0,804	0,0040	E	0,038	0,060	1,71	18,00	24,624	259,200	-1,375	-14,472	0,007	0,072
Lana di legno mineralizzata (WW)		400	600	0,080	0,140	1,5	1,8	0,133		5-8	4,070	-0,133	0,0009	B-s1,d0	0,080	0,140	32,00	84,00	130,240	341,880	-4,256	-11,172	0,029	0,076
Sughero (ICB)	granuli (al naturale)	90	200	0,055	0,060	1,6	1,7	0,240		5-20	0,310	-1,695	0,0001	B-C-E	0,055	0,060	4,95	12,00	1,535	3,720	-8,390	-20,340	0,000	0,001
	pannelli	100	220	0,038	0,060	1,6	1,7	0,186		2-10	6,450	-1,224	0,0019	B-C-E	0,038	0,060	3,80	13,20	24,510	85,140	-4,651	-16,157	0,007	0,025
Polistirene espanso (EPS)		25	35	0,032	0,048	1,4	1,5	0,920		20-120	98,900	4,169	0,0149	E	0,032	0,048	0,80	1,68	79,120	166,152	3,335	7,004	0,012	0,025
Polistirene espanso estruso con HFKW (XPS)		30	45	0,032	0,050	1,4	1,5	0,754		70-200	97,840	81,150	0,0240	E	0,032	0,050	0,96	2,25	93,926	220,140	77,904	182,588	0,023	0,054
Polistirene espanso estruso con CO² (XPS)		25	35	0,040	0,050	1,4	1,5	1,034		70-200	93,560	4,205	0,0155	E	0,040	0,050	1,00	1,75	93,560	163,730	4,205	7,359	0,016	0,027
Poliuretano e poliisocianurato espanso (PUR) e (PIR)		30	55	0,024	0,030	1,35	1,45	0,454		30-200	94,040	4,299	0,0177	B-s2, d0 C-s3, d0	0,024	0,030	0,72	1,65	67,709	155,166	3,095	7,093	0,013	0,029
Resine fenoliche espanse (PF)		35	45	0,022	0,040	1,5	1,5	0,517		60	131,000	4,980	0,0174		0,022	0,040	0,77	1,80	100,870	235,800	3,835	8,964	0,013	0,031
Fibra di poliestere (PET) da riciclo		30	100	0,037	0,055	1,25	1,5	0,515		1-3	79,900	1,820	0,0066	B-s2, d0	0,037	0,055	1,11	5,50	88,689	439,450	2,020	10,010	0,007	0,036
Fibra di poliestere (PET)		15	50	0,037	0,055	1,25	1,5	1,029		1-3	109,745	53,795	0,0224	B-s2, d0	0,037	0,055	0,56	2,75	60,908	301,799	29,856	147,936	0,012	0,062
Pannelli sottovuoto (VIP)		180	210	0,006	0,010	0,8	0,8	0,051		∞	67,520	3,615	0,0175	A1-B2	0,006	0,010	1,08	2,10	72,922	141,792	3,904	7,592	0,019	0,037
Isolanti sottili riflettenti		25	30	0,030	0,035	-	-	-		∞	-			B-s1-d0										
Aerogel		150	150	0,014	0,024	1	1	0,127		5	-			C-s1-d0										

* Fonte: www.IBO.at 2013

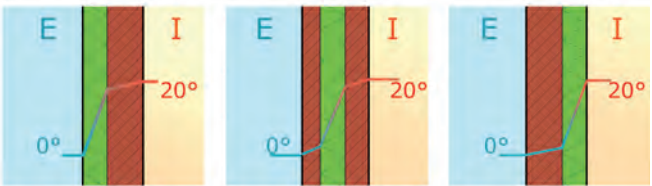
► 5.2 | Materiali coibenti



5.3 Dove e come coibentare

Tenendo sempre presente che per la “regola del pennarello” lo strato coibente non deve mai essere interrotto, si distinguono tre soluzioni a seconda del posizionamento nella stratigrafia delle strutture che costituiscono l’involucro:

- coibentazione dall’interno
- coibentazione in intercapedine
- coibentazione dall’esterno (a cappotto).



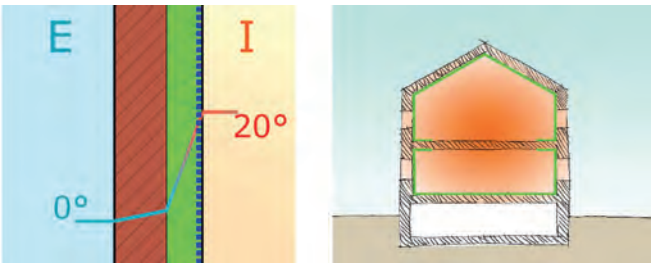
Posizione delle coibentazioni

5.3.1 Coibentazione dall’interno

È la soluzione in assoluto più complicata da risolvere perché non può essere rispettata in maniera rigorosa la “regola del pennarello”. Può essere adottata solo se le altre soluzioni sono escluse per cause di forza maggiore, come nel caso di edifici storici con facciata posta a tutela o nel caso di nuove edificazioni con particolari scelte architettoniche (ad esempio facciate in cemento armato a vista).

Svantaggi:

- ridotti spessori di coibentazione (tipicamente 6 cm, massimo 10 cm, per limitare l’eccessivo abbassamento della temperatura della superficie di contatto tra coibente e lato interno della parete perimetrale);
- riduzione delle dimensioni degli ambienti interni;
- estrema difficoltà di risoluzione dei ponti termici negli incroci



Coibentazione dall’interno.

parete esterna-solai e parete esterna-pareti interne, e intorno ai serramenti esterni: l’unica soluzione è il risolto per almeno 60-100 cm dello strato coibente;

- nel caso di edifici esistenti è indispensabile accertarsi della presenza di impianti, in particolare reti dell’acqua e del riscaldamento, perché prima dell’intervento la parete è riscaldata dalle stesse dispersioni ma dopo l’intervento di coibentazione la temperatura della parete può scendere anche sotto 0 °C e provocare il congelamento delle tubature con conseguenze molto gravi;
- se si utilizzano materiali fibrosi o cellulari, quali fibre minerali o polistirene espanso o estruso, è indispensabile la posa di una barriera al vapore sul lato caldo dello strato coibente per evitare problemi gravissimi di condensa interstiziale che, oltre a diminuire sensibilmente il potere termoisolante del coibente, possono portare con il tempo anche a danni strutturali. La posa di tale guaina deve essere curata alla perfezione (cosa per nulla banale) perché qualsiasi fessura, anche minima, permetterebbe il trasporto di grandi quantità di vapore e grandi quantità di condensa interstiziale;
- se si utilizza il vetro cellulare in pannelli, in quanto completamente impermeabile al vapore, non è necessaria la barriera al vapore;
- se si utilizzano materiali igroscopici quali i pannelli in calcio silicato, in idrati di silicati di calcio, in fibra di cellulosa (a pannelli) o specifici prodotti in fibra di legno per coibentazione interna, non è necessaria la posa di barriera al vapore. Essi infatti hanno la proprietà di assorbire l’umidità degli ambienti, di conservarla e di cederla nuovamente all’ambiente (in presenza di appropriata ventilazione).



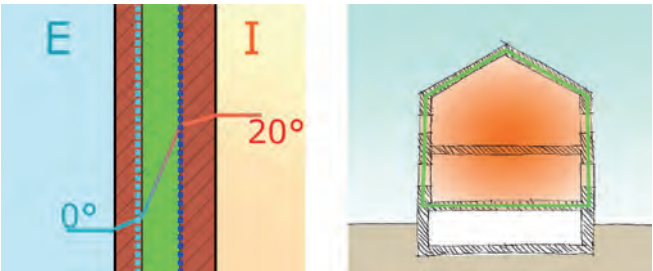
Posa di coibentazione interna in pannelli di idrati di silicato di calcio senza barriera al vapore. Risolto a soffitto per attenuazione ponte termico

Vantaggi:

- posa relativamente semplice (assenza di ponteggi esterni);
- rapido riscaldamento degli ambienti, perché l’inerzia delle murature viene completamente tagliata fuori dallo strato coibente, il che d’altro canto riduce sensibilmente il grado di utilizzo degli apporti gratuiti invernali (non vengono “immagazzinati” nelle strutture) o la possibilità dell’assorbimento temporaneo dell’eventuale surriscaldamento interno estivo.

5.3.2 Coibentazione in intercapedine

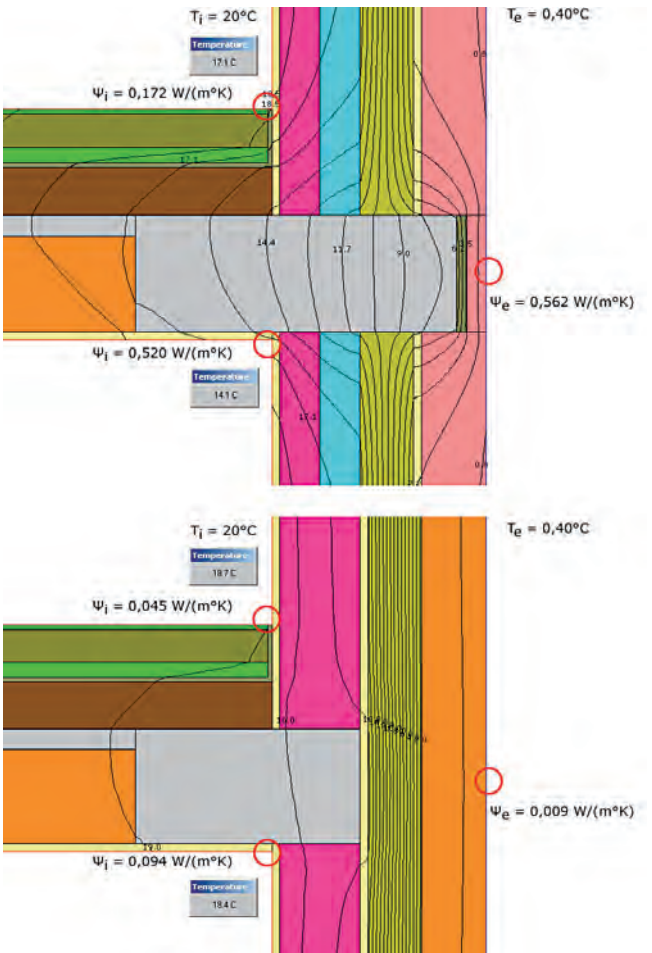
Nelle nuove edificazioni, affinché sia rispettata la “regola del pennarello”, la coibentazione in intercapedine va concepita come un vero e proprio “cappotto” aderente alla muratura interna, di solito più spessa e massiccia, che nel caso di struttura in c.a. include lo spessore dei pilastri (sempre più spessi per normativa sismica) protetto esternamente da una muratura di 8-12 cm, intonacata o a vista (paramano), adeguatamente ancorata alla muratura interna (in media 6 graffe/m²).



Coibentazione in intercapedine.

Poiché la graffatura in materiale metallico che attraversa lo strato coibente ne riduce l’efficacia, bisogna tener conto nei calcoli della trasmittanza totale U della parete, che va quantificata secondo il punto “D.3 Correzioni per fissaggio meccanico” dell’Appendice D della norma UNI EN ISO 6946.

Se il coibente scelto ha valore $S_d < 30-40 \text{ m}^2/\text{K}$ c’è la probabilità di formazione di condensa, per cui è necessario posare una guaina barriera al vapore con valore S_d di almeno 100 m. Nel caso sia prevista un’intercapedine d’aria sul lato esterno freddo del coibente, questa deve essere adeguatamente ventilata per smaltire il vapore in uscita dalla parete e limitarne la condensazione, o addirittura il congelamento nei periodi più freddi invernali; la superficie fredda del coibente, soprattutto se di tipo fibroso, deve inoltre essere protetta con un telo antivento, altamente traspirante. Per consentire l’aerazione dell’intercapedine sono necessarie aperture verso l’esterno realizzate con griglie,



Dettaglio del bordo solaio: sopra dettaglio errato e sotto dettaglio corretto.



Corrette aperture di ventilazione di intercapedine aerata per rivestimento in mattoni faccia vista. Architetti Baumschlager und Eberle.

► 5.3 | Dove e come coibentare

nel caso di pareti intonacate, o realizzando i giunti verticali dei mattoni senza malta, nel caso di pareti faccia a vista.

Negli edifici esistenti privi di coibentazione in intercapedine (tipiche costruzioni dal dopoguerra in poi) è uso insufflare materiale sciolto (vermiculite, argilla espansa, vetro espanso, fiocchi di cellulosa). Così facendo purtroppo si disomogeneizza completamente il comportamento delle pareti: dove il coibente riesce a riempire l'intercapedine questa sarà effettivamente coibentata, ma dove il coibente non arriva (pilastri, sottofinestra, mattoni di collegamento tra paramenti) la situazione sarà invariata, con conseguente moltiplicazione dei ponti termici e il non rispetto della "regola del pennarello". Se non c'è sufficiente ricambio d'aria degli ambienti interni la formazione di muffa è certa. Sarebbe necessario integrare l'insufflaggio con un cappotto interno o esterno di ridotto spessore per riomogeneizzare il comportamento termico della struttura.

Svantaggi:

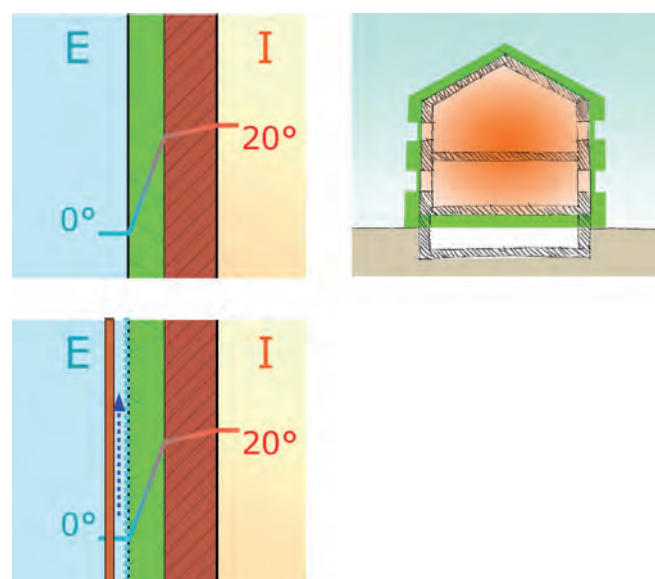
- spessori mediamente elevati delle pareti (45-55 cm e oltre);
- sistema molto costoso per le numerose lavorazioni necessarie, alcune delle quali, nei nodi più complessi, costituiscono dei veri e propri "ricami";
- dettagli molto impegnativi, sia nella progettazione che nella realizzazione, per i nodi intorno alle aperture, in particolare per finestre e tetto.

Vantaggi:

- possibili spessori maggiori di coibentazione;
- possono essere evitati i ponti termici, anche se in maniera non semplice;
- lunga durata dei materiali coibenti perché molto ben protetti dagli agenti atmosferici;
- buon comportamento acustico;
- ottimo comportamento estivo (con la scelta del coibente corretto).

5.3.3 Coibentazione sul lato esterno (a cappotto)

Con questo sistema lo strato di coibentazione è completamente all'esterno della parete, ed è a questa fissato con specifici collanti e tasselli, in ragione di circa 6 tasselli/mq, con finitura a intonaco o incollaggio di listelli in laterizio per la finitura mattone faccia a vista, o ancora a facciata ventilata (che necessita di apposita sottostruttura). È il sistema che permette di rispettare più agevolmente la "regola del pennarello", pur con alcune difficoltà.



Coibentazione sul lato esterno "a cappotto" e con facciata ventilata.

È bene chiarire che la coibentazione a cappotto va intesa come sistema nel suo insieme e non come singoli componenti (collante, tasselli, pannelli termoisolanti, rete porta-intonaco, profili, nastri espandenti di sigillatura, etc.): il sistema deve essere marcato CE ed essere dotato di Benestare Tecnico Europeo (ETA) che stabilisca la conformità del sistema sulla base dell'EAD (*European Assessment Document*, che ha sostituito dal 1° luglio 2013 le ETAG - *European Technical Assessment Guidelines*) emesso dall'EOTA. Nel caso dei sistemi di coibentazione "a cappotto", che nella normativa sono indicati con l'acronimo ETICS (*External Thermal Insulation Composite System*), questi devono attenersi all'ETAG 004, obbligatorio da maggio 2003, e all'ETAG 014 sui sistemi di ancoraggio per i cappotti, obbligatorio quest'ultimo da ottobre 2004, nonché all'ETAG 020 sugli ancoraggi in plastica per usi non strutturali in edilizia, obbligatorio da aprile 2009.

Come il sistema nel suo complesso, anche i singoli elementi che lo compongono devono essere marcati CE.

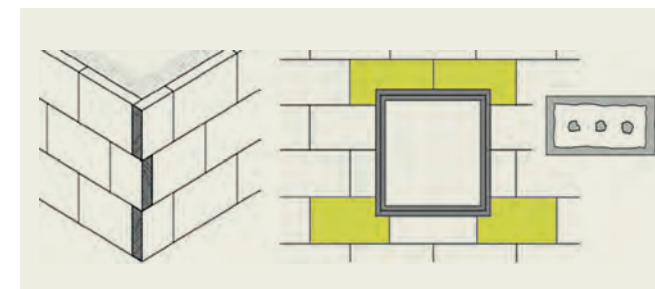
Nella progettazione e realizzazione della coibentazione a cappotto esterno bisogna rispettare alcune regole essenziali:

- il supporto deve essere stabile e piano: nel caso di vecchi edifici con intonaco ammalorato questo deve essere rimosso;
- bisogna fare prove di trazione per decidere quale tassello è più adatto al supporto;
- è necessario predisporre prima tutti i collegamenti alle pareti da coibentare con pezzi speciali coibenti (come aggancio ringhiere, pluviali, cardini persiane, faretti, etc.);
- tutte le parti esposte agli spruzzi della pioggia (nei pressi di marciapiedi, balconi, parti di tetto contro pareti) devono essere realizzate con materiale coibente che non assorba l'umidità (esempio XPS o EPS alta densità con trattamento idrofugo);



Zone esposte agli spruzzi della pioggia realizzate con materiali coibenti e rasanti/collanti specifici per impedire la risalita dell'acqua nello strato coibente.

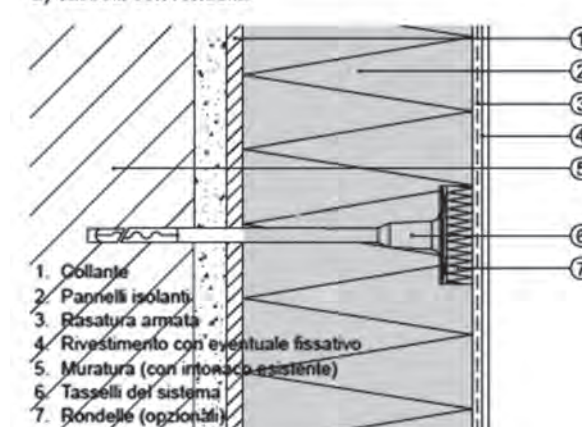
- i pannelli devono essere posati a giunti sfalsati e incrociati sugli spigoli dell'edificio;
- gli angoli delle aperture per finestre o porte non devono coincidere con gli spigoli dei pannelli;
- i pannelli di coibente devono aderire perfettamente al supporto ed essere incollati in maniera tale che non si possano formare intercapedini d'aria in movimento, altrimenti si vanifica l'effetto coibente. Il collante deve sempre ricoprire almeno il 40% del pannello ed essere sempre spalmato su tutto il contorno e in mezzo in tre punti o a "W";



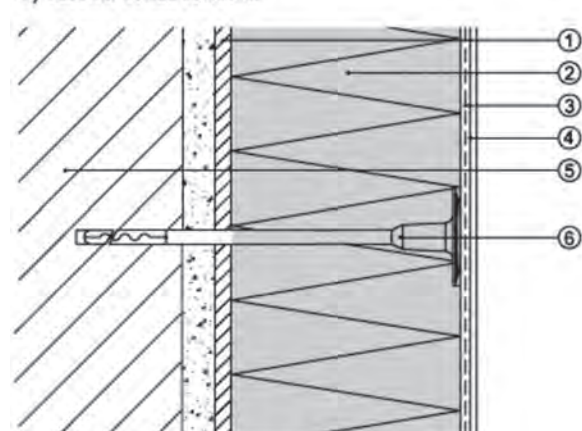
Disposizione e incollaggio pannelli di coibente. Fonte: Manuale CORTEXA.

- i pannelli devono combaciare perfettamente. Se è rimasta qualche piccola fuga, deve essere sigillata con lamelle di coibente, non con schiuma a espansione o peggio ancora con il collante/rasante;
- i pannelli devono essere perfettamente complanari fra di loro;
- la tassellatura deve essere effettuata solo dopo che il collante ha fatto presa, e i tasselli devono avere la testa a fungo perfettamente a filo con la superficie del pannello. Nel caso di successivo incollaggio di listelli in laterizio o Klinker la tassellatura deve essere effettuata sopra la rete di armatura per sopportare il peso aggiuntivo (intorno ai 25 kg/m²);
- lo schema della disposizione dei tasselli dipende dal tipo di

a) Tasselli con rondella



b) Tasselli senza rondella

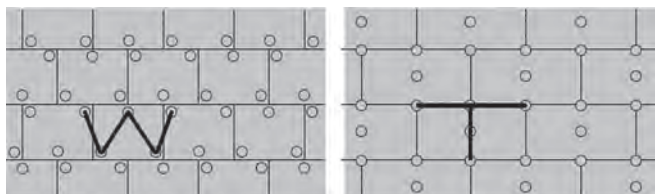


Tipi di tasselli di fissaggio. Fonte: Manuale CORTEXA.

► | 5.3 | Dove e come coibentare

coibente utilizzato: schema a W per materiali fibrosi e sintetici, schema a T per materiali rigidi quali la schiuma minerale (idrati di silicato di calcio) in cui il primo tassello a essere posato deve essere quello centrale;

- la rete di armatura deve sempre essere allettata nel rasante a metà, o meglio nel terzo esterno, dello spessore del rasante e non deve mai essere in aderenza al coibente, altrimenti le sue capacità portanti sono molto limitate e viene impedito il corretto aggrappaggio del rasante ai pannelli di coibente;
- per la sigillatura contro l'infiltrazione di acqua all'interno dello strato coibente, devono essere incollati nastri espandenti attorno ai davanzali, contro i telai fissi delle finestre, attorno ai passa-fuori del tetto e a qualsiasi altra struttura contornata dallo strato di coibente.



Schemi disposizione tasselli. Fonte Manuale CORTEXA.

Svantaggi:

- difficilmente adottabile negli edifici storici;
- nel caso di edifici esistenti può essere complicato e costoso per la contemporanea realizzazione di interventi ausiliari, tipo spostamento soglie e davanzali, impianti in facciata;
- possibili impedimenti per rispetto di distanze da strade e proprietà confinanti.

Vantaggi:

- possibili spessori anche molto elevati di coibentazione;
- il mantenimento della parete perimetrale a una temperatura più costante (calda), la soglia di congelamento è confinata all'interno del coibente;
- assenza dei ponti termici;
- indicato sia per nuove costruzioni che per riqualificazione dell'esistente;
- buon comportamento estivo (se viene scelto il coibente corretto);
- sicuro sfruttamento dell'inerzia termica delle pareti. Alto valore di utilizzazione degli apporti termici gratuiti;
- costi contenuti.



► | 5.4 | Ponti termici

I ponti termici sono discontinuità nel comportamento termico dell'involucro, dovute a perturbazioni locali del flusso termico e caratterizzate dalla deviazione delle isoterme dall'andamento parallelo alle facce interne ed esterne della struttura. Vanno intesi come veri e propri strappi nell'involucro da cui fuoriesce calore in forma concentrata.

Possono essere di tipo geometrico (ad esempio gli spigoli dell'edificio) o strutturale (come il pilastro in cemento armato all'interno della parete perimetrale). Possono essere lineari se estesi per una dimensione (tipicamente i balconi a sbalzo) o puntuali se concentrati in un punto (come ad esempio una mensola metallica ancorata a una parete esterna).

Le conseguenze di un ponte termico non corretto sono:

- aumento delle dispersioni termiche dell'involucro in quel punto;
- temperatura superficiale interna bassa ($<16-17^{\circ}\text{C}$) e conseguente discomfort termico;
- possibile formazione di muffe, che sono particolarmente malsane e fonti di allergie.

La correzione dei ponti termici geometrici avviene, in parte, tenendo sotto controllo la compattezza dell'edificio in fase di progettazione (meno spigoli, meno ponti): si risolvono applicando una buona coibentazione termica all'edificio.

Più complicata e varia è invece la risoluzione dei ponti termici costruttivi.

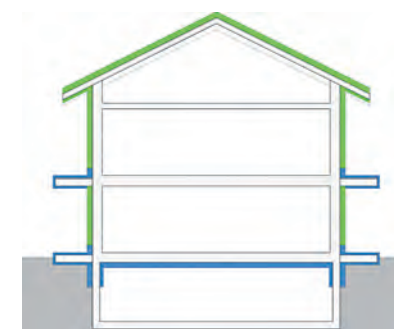
Premesso che ogni progetto deve essere preso singolarmente e non è possibile generalizzare le soluzioni, vediamo alcuni esempi tipici.

5.4.1 I balconi e i marciapiedi

Nella consuetudine costruttiva i balconi e i marciapiedi sono quasi sempre costituiti da una soletta in aggetto solidale con la trave di cordolo del solaio del piano. Questo è un fortissimo ponte termico, sia costruttivo, perché il calcestruzzo armato conduce molto bene il calore, $\lambda = 2,3 \text{ W/(m K)}$, sia geometrico, perché la grande superficie disperdente della soletta aggettante funziona proprio come le alette dei pistoni nei motori raffreddati ad aria.

Alcune possibili soluzioni:

- **Avvolgere completamente la soletta in aggetto con uno strato di coibente** tale che assicuri una resistenza termica $R \geq 1,5 \text{ (m}^2 \text{ K)/W}$. Se il balcone è molto profondo può essere sufficiente isolare fino a 1,5 m: il principio è che, pur se lo strato coibente risulta interrotto ("regola del pennarello" non rispettata), il percorso che il caldo deve fare per uscire è lungo e difficoltoso. Questa soluzione è adatta sia per nuove costruzioni che per l'esistente, pur con qualche difficoltà in quest'ultimo caso perché possono risultare sfalsati i piani fra interno ed esterno.



Rivestimento aggetti con coibente.

- **Uso dei giunti strutturali a taglio termico o disgiuntori termici.** Si tratta di pezzi speciali, prodotti in moltissime varianti, che permettono di collegare strutturalmente la trave di cordolo del solaio con la soletta del balcone con interposta coibentazione ad alta densità (sintetica o minerale) in spessori intorno a 8-10 cm. Il tratto dei tondini di armatura che attraversa lo strato coibente deve essere in acciaio inox (alcune ditte incapsulano il tondino normale in un tubo in acciaio inox sigillato con resina epossidica) per due motivi: primo, potrebbe formarsi condensa all'interno dello strato coibente e ossidare il tondino in acciaio normale; secondo, l'acciaio inox $\lambda = 16 \text{ W/(m K)}$ conduce molto meno il calore rispetto all'acciaio da armatura $\lambda = 60 \text{ W/(m K)}$.

Questi pezzi non si acquistano già fatti ma, in accordo con il progettista strutturale dell'edificio, vengono dimensionati e prodotti "ad hoc" per il progetto specifico. In genere per contenere la freccia massima non possono essere realizzati balconi più profondi di 1,5- 2 metri. Sebbene siano piuttosto cari sono termicamente molto efficaci. Non è esclusa la possibilità di elaborare un dettaglio costruttivo su misura, magari più economico.

- **Separare strutturalmente il balcone dalla parete**, appoggiandolo a terra con pilastri o appendendolo alla struttura



Disgiuntori termici per l'esecuzione di un aggetto.

► 5.4 | Ponti termici

del tetto con tiranti. Il collegamento alla parete può avvenire in pochi punti isolati. Questa è la soluzione migliore ma non sempre adottabile: dipende dalle norme urbanistiche che definiscono la superficie coperta o la distanza fra gli edifici.

- Esiste anche la possibilità di **realizzare il solaio del balcone con orditura parallela alla parete**, con tronconi di travi a sbalzo dal cordolo del solaio. Questo permette di posare prima del getto un pannello di coibente sul filo che poi sarà quello del capotto, di isolare puntualmente le travi o di adottare i giunti termici, e usare per il solaio pignatte in lana di legno mineralizzato.

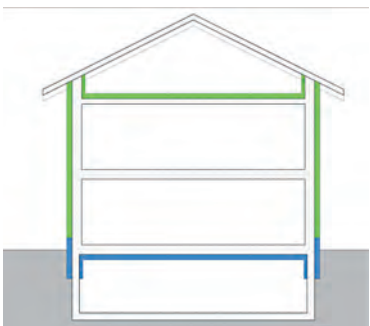
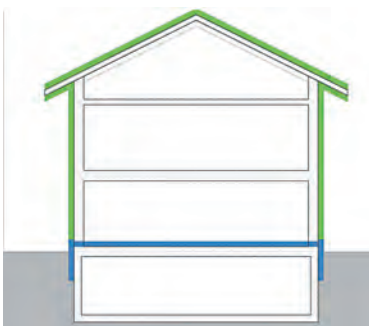
5.4.2 Pareti su solai verso interrati o verso sottotetti non riscaldati

Un altro ponte termico cui dedicare attenzione è costituito dall'appoggio delle pareti, sia esterne che interne, su solai ver-

so locali freddi, soprattutto se si è scelto di isolare il solaio da sopra (estradosso).

Esistono in commercio pezzi speciali coibenti – generalmente a base di vetro cellulare ad alta resistenza meccanica – su cui appoggiare le murature; poiché sono generalmente molto costosi, possono essere anche sostituiti realizzando il primo corso con il più economico calcestruzzo cellulare autoclavato portante, che ha buone caratteristiche termiche, λ circa 0,14 W/(m K), o riempiendo i fori dei blocchi in laterizio del primo corso o due di blocchi con coibente sfuso minerale tipo vermiculite espansa.

Nel caso in cui il solaio verso locali interrati sia coibentato da sotto (intradosso), è necessario eseguire dei risvolti interni di coibente sulle pareti verticali dell'interrato per un'altezza non minore di 1 m, e comunque fino alla quota del coibente esterno a cappotto, con uno strato di coibente tale da assicurare una resistenza termica $R \geq 1,25$ (m² K)/W.



Muri appoggiati su strato coibente in vetro cellulare.



Risvolto della coibentazione sulle pareti verso gli ambienti freddi.

5.4.3 Pilastri su solai verso locali non riscaldati

Altro caso di ponte termico da valutare con attenzione sono i pilastri che poggiano su solai verso ambienti non riscaldati dove, se non sono in falso, si presuppone continuo.

Se si è scelto di coibentare il solaio da sopra (estradosso), i pilastri devono essere avvolti sul lato caldo (ambienti riscaldati) per un'altezza $H \geq 1,0-1,5$ metri dal basso verso l'alto, con uno strato di coibente tale da assicurare una resistenza termica $R \geq 1,25$ (m² K)/W.

Se si è scelto invece di coibentare il solaio da sotto (intradosso) i pilastri devono essere avvolti sul lato freddo (ambienti interrati non riscaldati) per un'altezza $H \geq 1,0-1,5$ metri dall'alto verso il basso, con uno strato di coibente tale da assicurare una resistenza termica $R \geq 1,25$ (m² K)/W.

La situazione è inversa, ma viene risolta con gli stessi principi, in caso di solai che stanno sotto locali non riscaldati (sottotetti).



Coibentazione di solaio verso locali sottotetto non riscaldati: risvolto coibente sui pilastri negli ambienti freddi.

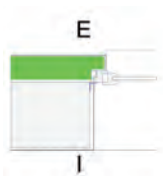
5.4.4 Rampe delle scale

Le rampe delle scale, solitamente non riscaldate, devono essere trattate come i balconi e i marciapiedi. In questo caso è più agevole renderle strutturalmente indipendenti dalle pareti perimetrali, in maniera da poter interporre lo strato coibente.

5.4.5 Installazione dei serramenti

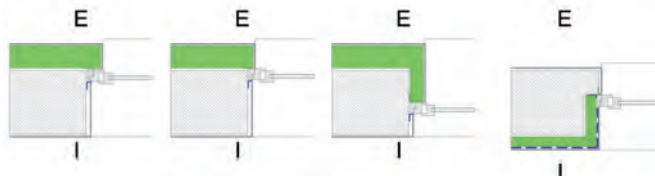
Tutto il perimetro di contatto fra il sistema finestra e la parete (controtelaio, se c'è, o telaio fisso) se non adeguatamente risolto costituisce un ponte termico.

- La situazione ideale è rappresentata dall'installazione del serramento nello spessore dello strato coibente esterno: questo perché le linee isoterme non vengono eccessivamente deviate. Questa soluzione è possibile solo in caso di spessori consistenti dello strato coibente (20-30 cm).



Posizione ideale del serramento nello strato coibente.

- Un'altra buona soluzione è quella che prevede l'installazione del serramento a filo esterno della muratura e la sovrapposizione dello strato coibente sul telaio fisso (ottimo) o almeno del contro-telaio (mediocre).



Posizioni del serramento rispetto allo strato coibente.

- Nel caso in cui sia necessario, per motivi tecnici o scelte architettoniche, installare il serramento arretrato o addirittura a filo interno parete, si dovranno coibentare le mazzette laterali, il voltino e il sotto-davanzale con uno strato di coibente tale da assicurare una resistenza termica $R \geq 1,5$ (m² K)/W, fino a collegarsi con il contro-telaio o il telaio fisso. Si procede allo stesso modo in caso di coibentazione dall'interno delle pareti.
- Se il serramento prevede avvolgibili o veneziane esterne come sistemi di oscuramento e ombreggiamento, il cassonetto dovrà essere coibentato con uno strato tale da assicurare una resistenza termica $R \geq 1,5$ (m² K)/W frontalmente e $R \geq 1$ (m² K)/W lateralmente (testate laterali del cassonetto), preferibilmente con apertura di ispezione esterna.

5.4.6 Tenuta all'aria

Come accennato nel capitolo 4, per ridurre le dispersioni per ventilazione Q_{ven} bisogna progettare l'involucro a tenuta all'aria e, come per lo strato di coibentazione, deve esistere uno strato di tenuta all'aria senza interruzioni ("regola del pennarello").

Per verificare la tenuta all'aria dell'involucro va eseguito il cosiddetto *Blower-door test* secondo la norma UNI EN 13829: "Prestazione termica degli edifici - Determinazione della permeabilità all'aria degli edifici - Metodo di pressurizzazione mediante ventilatore". L'apparecchio di misurazione, dotato di una grossa ventola, viene installato al posto di uno dei serramenti e, una volta acceso, mette in pressione o depressione l'edificio a 50 Pascal [Pa]. Questo permette anzitutto di individuare, sia a mano che con appositi strumenti, se esistono degli spifferi, e poi di risalire al tasso di ricambio di aria n_{50} [1/h] che esprime la frequenza con cui, per una differenza di pressione di 50 [Pa], l'intero volume di aria dell'edificio viene ricambiato ogni ora. Ad esempio, un valore n_{50} di 3,0 [1/h] significa che il volume di aria interna viene ricam-

- i camini, che in un edificio ad alta efficienza devono essere a fiamma chiusa con presa di aria comburente dall'esterno;
- installazione non a tenuta delle finestre e delle porte verso l'esterno;
- attacco pavimento parete esterna;
- posa scorretta della guaina freno/barriera a vapore;
- collegamento pareti esterne tetto inclinato.

Nel caso di costruzioni con tecnologia a secco e in legno i problemi sono amplificati, e ogni giunto a secco deve essere minuziosamente sigillato con appositi nastri presenti in commercio in numerose varietà.

Nel caso delle costruzioni in muratura la tenuta all'aria è assicurata dallo strato di intonaco interno sulle pareti perimetrali: per essere efficace deve essere ininterrotto.

Un errore tipico, nel caso di controsoffittature, è quello di non intonacare la parte di muratura non in vista al di sopra del controsoffitto, perché in quel punto la tenuta all'aria non è assicurata.



Esecuzione del *Blower-door test* e verifica con anemometro durante la prova in sottopressione degli spifferi d'aria in ingresso. Esecutore del BDT ing. Andrea Cagni.



Nastrature negli edifici in legno. Esecutore del BDT ing. Andrea Cagni.

biato completamente 3 volte in un'ora; con un valore n_{50} di 0,5 [1/h] avviene solo mezzo ricambio all'ora. Più è basso il valore n_{50} misurato più l'edificio ha una buona tenuta all'aria.

Edifici a basso consumo energetico: dovrebbero avere tasso di ricambio $n_{50} < 2,0$ [1/h].

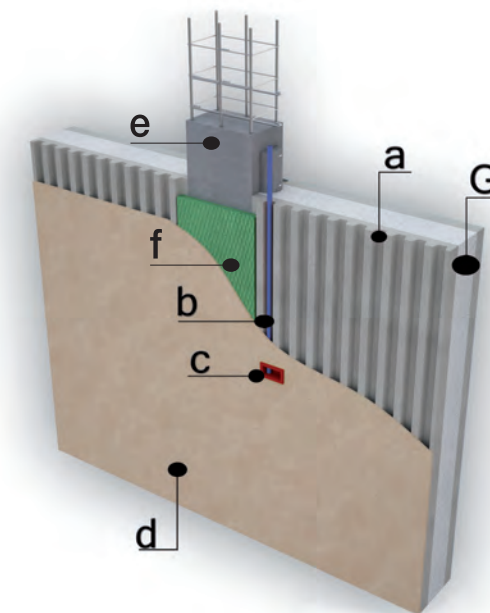
Edifici a bassissimo consumo energetico: devono avere tasso di ricambio $n_{50} < 1$ [1/h].

Gli edifici passivi devono avere tasso di ricambio $n_{50} < 0,6$ [1/h]. I difetti più frequenti di tenuta si riscontrano in:

- tutti gli attraversamenti impiantistici dell'involucro: tubi per il riscaldamento e l'acqua, vani tecnici, condotte di espulsione dell'aria, scatole elettriche nelle pareti esterne;
- cassonetti e cinghie per gli avvolgibili, arganelli manuali per le veneziane;

KLIMASYSMICO - MURO S MODUL5

LE AZIENDE INFORMANO



Klimasismo, sistema costruttivo brevettato, che coniuga tradizione ed innovazione, utilizzando tecniche tradizionali associate ai vantaggi della precostruzione o prefabbricazione, nel rispetto della corretta risoluzione dei ponti termici. Il connubio offre un prodotto, dalle caratteristiche classiche della tipologia edilizia a telaio, con maggiori prestazioni termiche, igrometriche ed antisismiche. La tecnica costruttiva può essere utilizzata per edifici di varia tipologia siano essi monopiano che pluripiano, con qualsiasi destinazione d'uso e caratteristica architettonica.

Muro S32 Modul5 è l'elemento fondamentale che crea l'involucro edilizio (G) ed è costituito da: due lastre (interna cm 4/8 ed esterna cm 6) in calcestruzzo fibrorinforzato ed alleggerito con perle di polistirolo (densità kg/m^3 1500; coibentazione interposta tra le due lastre in EPS (densità kg/m^3 20) di cm 18. La superficie interna del pannello è a rilievi al fine di predisporre il passaggio degli impianti (a). L'estremità delle pareti termina con bassi rilievi al fine di creare la connessione ai pilastri (e) e le battute di posa dell'isolante (f) (cm 4 interno e cm 3 esterno). In opera si procede quindi alla posa degli impianti (b,c) e il successivo rivestimento interno in lastre in cartongesso o similari (d). La parte esterna dalle pareti verrà rifinita con intonaco fibrorinforzato. La connessione tra i muri S32 Modul5 e pilastri, rea-



lizzata con getto in opera, garantisce una salda unione antisismica ed un miglior assorbimento delle sollecitazioni sismiche.

Caratteristiche tecniche

S32 modul5:

Trasmittanza $0,192 \text{ W/m}^2\text{K}$
Massa superficiale 354 kg/m^2
Sfasamento $8,45 \text{ h}$

Sistema costruttivo



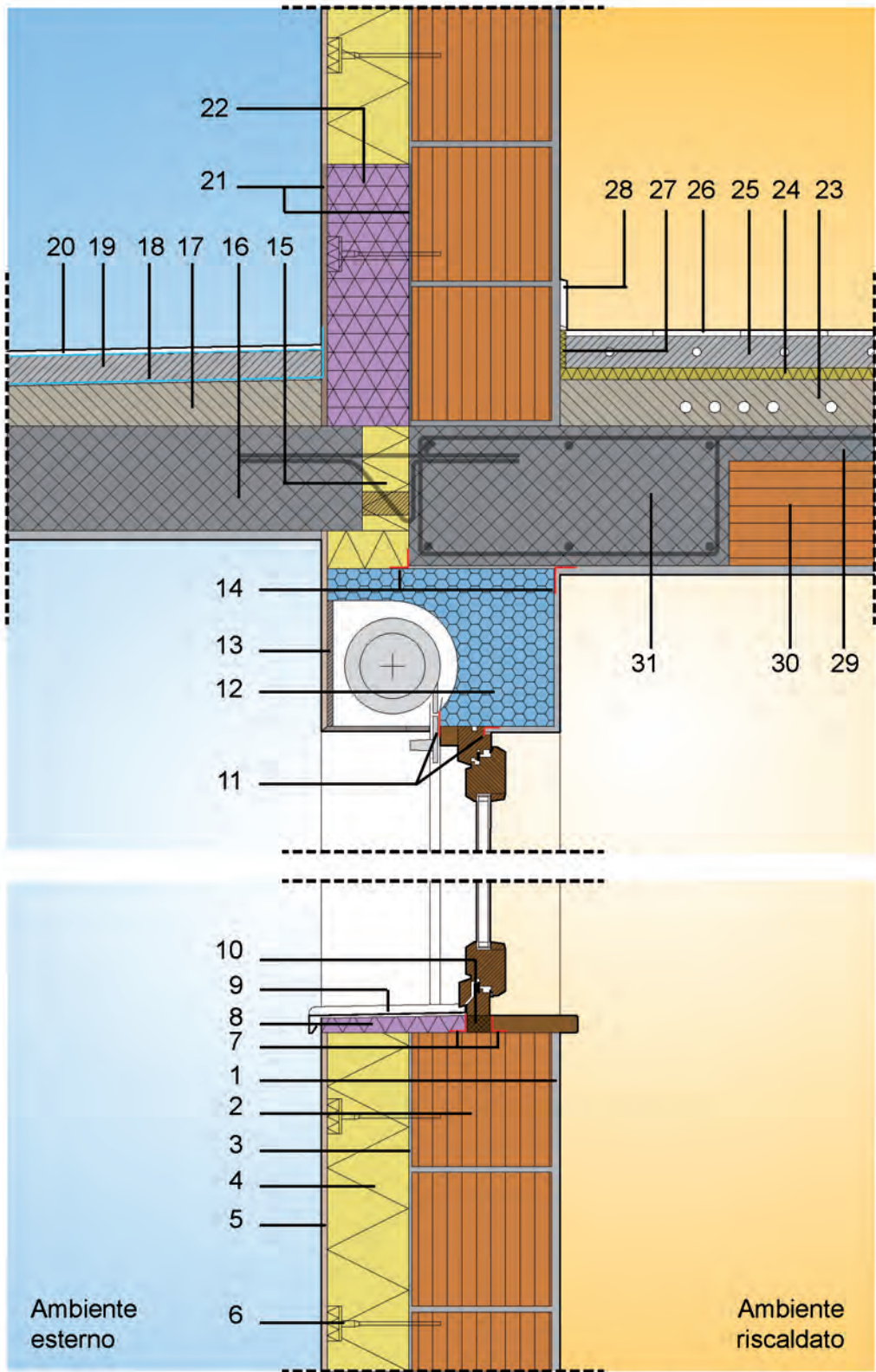
SAROTTO S.r.l.

Via Cuneo, 17 - 12068 Narzole (CN)
Tel. +39 0173 77 162 - Fax 39 0173 77 66 33

Numero Verde 800 826 169

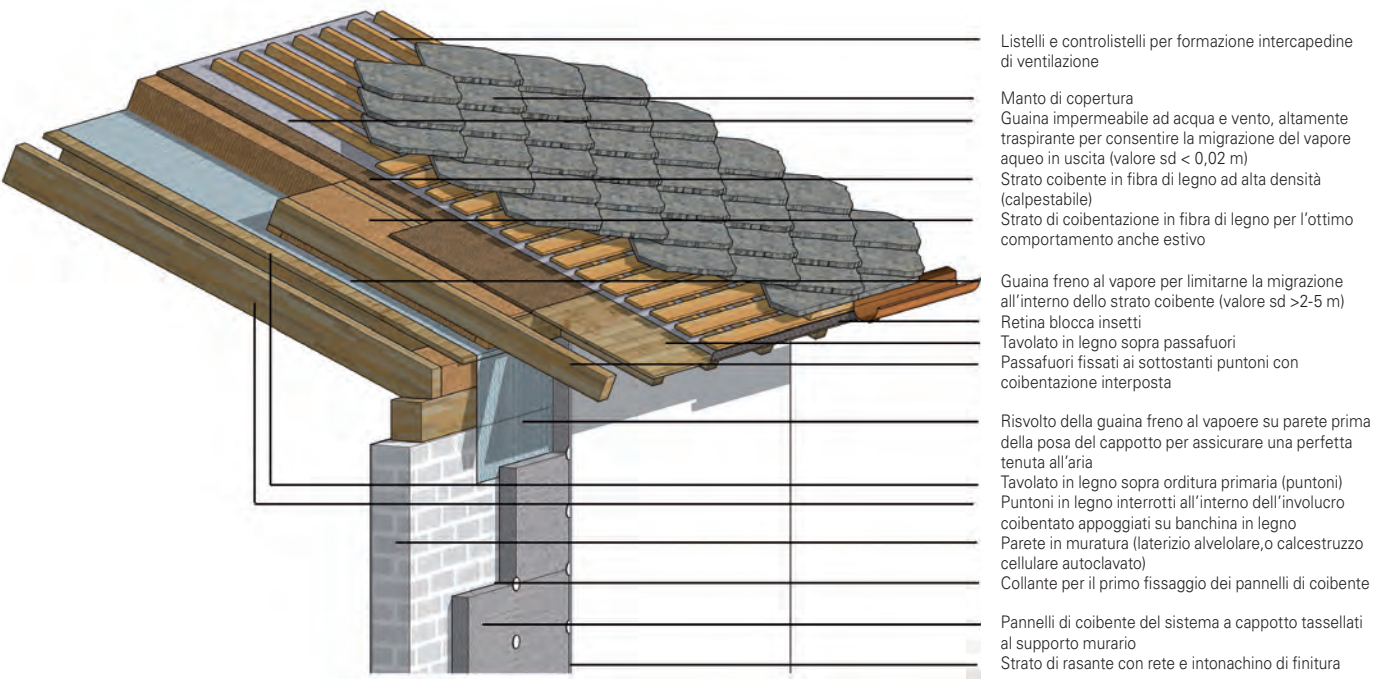
www.sarotto.it
sarotto@sarotto.it

► | 5.5 | Particolari costruttivi

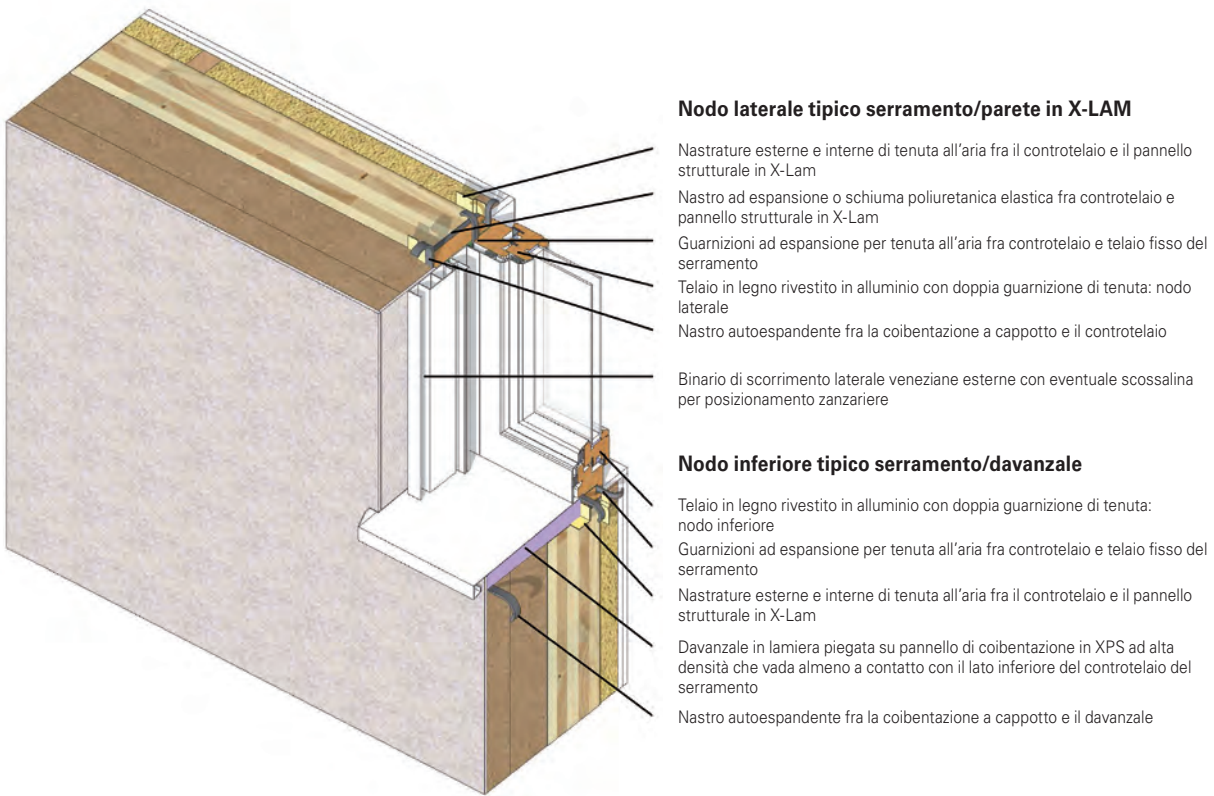


- 1 Intonaco interno
- 2 Blocco in laterizio alveolare
- 3 Collante del sistema a cappotto
- 4 Pannello coibente del sistema
- 5 Rasante con rete di rinforzo
- 6 Tasselli di fissaggio dei pannelli con coppella di copertura
- 7 Nastri interni ed esterni di tenuta all'aria giunto parete/controtelaio
- 8 Coibente ad alta densità sotto davanzale
- 9 Davanzale esterno in lamiera piegata verniciata a polvere
- 10 Lato inferiore del controtelaio (taglio termico)
- 11 Nastri interni ed esterni di tenuta all'aria giunto controtelaio/cassonetto
- 12 Cassonetto coibentato per avvolgibile con ispezione esterna
- 13 Pannello portaintonaco
- 14 Nastri interni ed esterni di tenuta all'aria giunto cassonetto/solaio
- 15 Disgiuntore termico in coibente ad alta densità e tondini in acciaio inox di collegamento tra trave di bordo e balcone
- 16 Soletta del balcone in aggetto in calcestruzzo armato
- 17 Sottofondo di pendenza in c.l.s.
- 18 Guaina di impermeabilizzazione
- 19 Massetto armato
- 20 Pavimentazione esterna
- 21 Rasante e collante impermeabilizzante previsto dal sistema a cappotto per la zona di zoccolo
- 22 Coibente specifico previsto dal sistema a cappotto per la zona di zoccolo: solitamente XPS
- 23 Sottofondo per passaggio impianti in c.l.s. alleggerito
- 24 Isolante acustico (anticalpestio)
- 25 Massetto in c.l.s. (pannello radiante)
- 26 Pavimentazione interna
- 27 Risvolto dell'isolante acustico sul perimetro
- 28 Battiscopa (non a contatto con pavimentazione)
- 29 Getto di completamento del solaio in latero-cemento
- 30 Pignatta di alleggerimento in laterizio
- 31 Trave di bordo in calcestruzzo armato

Sezione della parete perimetrale



Esempio di nodo tetto a falde e parete esterna in muratura con cappotto



Nodo parete in X-LAM e serramento



NUOVE TECNOLOGIE, MATERIALI ANTICHI

“Solo quando sappiamo abitare, siamo in grado di costruire”

Martin Heidegger, filosofo tedesco

6

Un’alternativa alle costruzioni in cemento armato o in mattoni – e in genere alla costruzione “a umido” – è la costruzione a secco in legno, una soluzione che sta assistendo negli ultimi anni a una sorta di rinascita.

Uno dei vantaggi di questa tecnica è proprio l’ecologicità: la fabbricazione e la lavorazione sono pienamente sicure, la risorsa è rinnovabile e il materiale riutilizzabile in costruzioni successive fin quando, a fine vita, potrà essere impiegato come combustibile. A questo punto riemetterà in atmosfera della CO₂, ma non dobbiamo dimenticare la quantità che ne aveva assorbito durante il periodo di crescita nel bosco. L’uso di legno non locale, soprattutto tropicale, è ben poco ecologico a causa sia dello sfruttamento selvaggio dell’ambiente naturale dove viene tagliato, sia dell’enorme dispendio di energia primaria necessaria al trasporto sui luoghi di impiego.

Il sistema costruttivo basato sul legno può presentare alcune criticità per ciò che riguarda il comportamento estivo dell’involucro: disponendo di massa superficiale limitata si possono avere valori poco soddisfacenti di sfasamento e di attenuazione dell’onda di calore (gran parte del calore presente al di fuori del nostro involucro penetra rapidamente all’interno): occorrerà, quindi, impiegare una corretta sequenza di differenti materiali isolanti a base legnosa, a diversa densità, anche in accoppiamento con altri materiali isolanti.

Per lo stesso motivo (bassa densità del materiale e della massa superficiale delle strutture) anche il comportamento acustico va verificato con attenzione: si preferisce l’utilizzo di pareti multistrato, con l’abbinamento di materiale massiccio e di materiali leggeri, aventi funzione smorzante. In particolare si hanno sistemi a doppia parete in cui due elementi massicci sono separati da un’intercapedine riempita con materiale fonoassorbente oppure pannellature a funzione strutturale in legno, abbinate a elementi interni in cartongesso, con un’intercapedine riempita con materiale fonoassorbente. Tra i suddetti strati vengono realizzate connessioni con materiali smorzanti, senza impiegare avviture dirette sulla parte strutturale.

Per ciò che riguarda la qualità dell’aria in ambienti indoor occorre ricordare che il legno produce naturalmente composti organici volatili (VOC), alcuni dei quali, con esposizioni prolungate e concentrazioni significative, possono essere dannosi per la salute degli occupanti. Inoltre, se si utilizzano collanti, solventi o cere si può riscontrare la presenza di altre sostanze, quali benzolo, toluene, formaldeide, etc. Occorrerà quindi prevedere adeguati impianti di ventilazione meccanica controllata, al fine di diluire la concentrazione negli ambienti di detti inquinanti (adeguati ricambi orari di aria).

6.1.1 Le proprietà del legno

Riguardo la sua composizione chimica, possiamo dire che il legno è composto da carbonio per circa il 50% della sua massa, privata del contenuto di acqua: l’elemento viene fissato, attraverso il processo di fotosintesi clorofilliana, dall’atmosfera. Il legno e le foreste si comportano come un purificatore poiché un metro cubo di materiale legnoso, durante tutta la sua crescita, è in grado di fissare 1 tonnellata di anidride carbonica, rilasciando 0,7 tonnellate di ossigeno.

L’impatto della lavorazione del legno risulta inferiore rispetto alla produzione del cemento o dell’acciaio (per produrre 1 mc di cemento si richiede un apporto di energia 9 volte superiore a quello di un identico volume di legno massiccio, mentre la produzione di 1 mc di acciaio ne richiede uno di 431 volte superiore) e, considerando le emissioni di CO₂ per la fase di realizzazione di un prodotto, in generale i dati a disposizione nella letteratura tecnica forniscono valori, per le latifoglie, di un’emissione negativa pari a circa -1,5 t di CO₂ per mc di prodotto, per le conifere pari a circa -0,5 mentre, nel caso di laterizi e calcestruzzi standard, i suddetti valori variano da +0,2 a +0,5 t di CO₂ per mc e per i metalli superano 4 t di CO₂ per mc.

L’utilizzo di un metro cubo di legno al posto di altri materiali da costruzione consente quindi una riduzione media di emissioni di CO₂ compresa tra 0,75 e 1 t.

Conducibilità termica

Passando alle considerazioni in termini termico-energetici, il legno è caratterizzato da bassa conducibilità – al suo interno il calore ha una velocità di propagazione molto bassa – ed elevata inerzia termica, ossia è necessaria una notevole quantità di calore per innalzare di un grado la temperatura della sua unità di massa. La conduttività termica λ 0,13 W/m×K, è analoga a un buon mattone in laterizio di ultima generazione. Questo valore varia in funzione del contenuto di acqua e di aria presenti nella specie legnosa considerata ma, con un’umidità del 20%, possiamo avere valori compresi tra 0,10 e 0,20 W/m×K.

Massa volumica

La massa volumica (g/cm³) rappresenta la massa contenuta nell’unità di volume di un campione di legno ed è influenzata dal contenuto di umidità, dalla struttura cellulare e dal tipo di essenza: può variare da 300 a oltre 1000 kg/m³.

Durabilità

In condizioni ambientali favorevoli il legno può mantenere le proprie caratteristiche per lungo tempo. Viceversa, se esposto alle intemperie si instaurano differenti fenomeni di degrado. Il legno è un materiale poroso e capillare, in grado di scambiare velocemente con l’esterno l’umidità dell’aria ma anche eventuali sostanze presenti in forma liquida. Secondo il tasso di umidità rilevato, il legno non trattato può

subire anche deformazioni permanenti indesiderate (imbarcamento, deformazione o fessurazione della tavole). Lo stesso comportamento meccanico è influenzato dal tenore di umidità: il suo modulo elastico si mantiene pressoché costante per valori di umidità del 7-8%, mentre decade rapidamente qualora si raggiungano valori di umidità prossimi al 30%.

Il legno può essere aggredito da funghi e da alcuni tipi di insetti che si nutrono di cellulosa: in particolare i primi si possono sviluppare in presenza di temperature comprese tra 15 °C e 20 °C e con un contenuto di acqua nel legname del 20% circa. Diventano quindi fondamentali il corretto trattamento con opportune sostanze protettive e l’adozione di particolari accorgimenti costruttivi.

Infine va ricordato che la durabilità delle costruzioni in legno viene garantita da una corretta manutenzione programmata e occorre dunque dotare l’edificio, già in sede di progettazione, di un dettagliato piano di manutenzione.

Le specie maggiormente utilizzate in edilizia sono l’abete rosso, il larice, il pino, il rovere e la robinia per gli esterni, e il faggio per gli interni.

Resistenza al fuoco

Il legno è un materiale infiammabile, in cui si instaurano i fenomeni di combustione a temperature intorno ai 200 °C: grazie alla bassa capacità di conduzione termica e al processo di carbonizzazione della superficie, subito dietro il fronte di combustione si hanno temperature non significativamente alte, per cui le strutture possono mantenere nel tempo buone caratteristiche strutturali e meccaniche. Si preferisce, comunque, trattare il legno con adeguate sostanze ignifughe o comunque ritardanti il processo di combustione. Come appena detto, il legno brucia ma con velocità controllata, ed è isolante, quindi trasmette calore con velocità ridotta: pertanto, con spessori >90 mm si avrà una buona resistenza al fuoco, e il legno potrà essere lasciato a vista, altrimenti andrà protetto con pannellature in gesso.

Rapporto resistenza-peso

Se paragoniamo il legno ad altri materiali da costruzione quali l’acciaio e il calcestruzzo risulta che il rapporto resistenza ammissibile/peso specifico è simile all’acciaio: si tratta cioè di un buon materiale da costruzione che abbina alla leggerezza un buon grado di resistenza.

Proprietà	Legno	Acciaio	Calcestruzzo
Tensione ammissibile σ_{adm} [Mpa]	10	160	10
Peso specifico γ_m [daN/m³]	600	7850	2400
Rapporto γ_m / σ_{adm}	60	50	240

Il punto debole del materiale è rappresentato dalla sua igroscopicità, ossia dall’attitudine ad assorbire più o meno umidità anche dopo l’essiccazione. Il legno tende ad assorbire umidità dall’ambiente rigonfiandosi, se è invece troppo umido rilascia questa umidità all’ambiente ritirandosi e provocando a volte fessurazioni.

Al fine di limitare questo fenomeno si possono adottare alcuni principi protettivi, ossia:

- evitare l’aumento dell’umidità e comunque ritardarne l’assorbimento
- ventilare per consentire l’emissione dell’umidità
- ridurre le variazioni di volume dovute a rigonfiamenti e ritiri
- adottare misure protettive contro l’infestazione di funghi e parassiti del legno
- diminuire le tensioni dovute a rigonfiamenti e ritiri mediante scanalature di sicurezza
- evitare superfici frontali orizzontali a rischio d’acqua.

Per la riduzione dei fattori di degrado, quindi, occorre:

- adottare tetti sporgenti per ridurre il contatto con le precipitazioni atmosferiche
- proteggere le strutture lignee dalle acque meteoriche attraverso idonei profili, protezioni, gocciolatoi, etc.
- impermeabilizzare correttamente la copertura per evitare la penetrazione dell’acqua nei giunti costruttivi, evitando o rivestendo gli angoli, le scanalature e i giunti stessi
- evitare gli spruzzi d’acqua (distanza dal terreno > 30 cm, previsione di rivestimenti, realizzazione di spazi porticati, etc.)
- proteggere dall’umidità di risalita proveniente dal terreno o dal manufatto, impermeabilizzare la platea di fondazione dalla parete esterna applicando strati isolanti
- evitare la formazione di condensa interstiziale tramite un corretto dimensionamento dell’elemento costruttivo
- provvedere a un’adeguata ventilazione degli ambienti e dei singoli elementi tecnici
- proteggere le superfici in legno dai raggi ultravioletti e dalle sollecitazioni termiche mediante rivestimenti.

Un altro punto debole del legno, materiale naturale per eccellenza, è la sua grande variabilità, da cui deriva una forte anisotropia (si hanno caratteristiche e comportamento diversi nelle tre dimensioni spaziali): è un materiale disomogeneo, vista anche la possibile presenza di anomalie e difetti localizzati (nodi). In particolare, a causa dell’anisotropia:

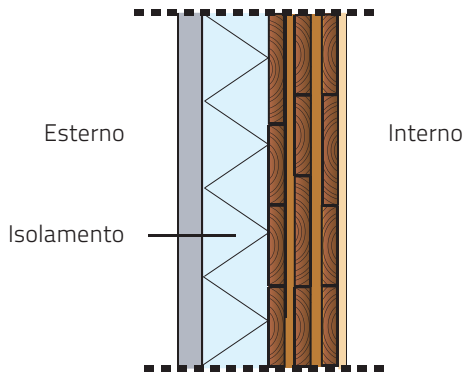
- si avrà un maggior assorbimento di acqua nella direzione parallela alle fibre di legno
- si avrà una maggiore resistenza a trazione e a compressione nella direzione parallela alle fibre stesse.

► 6.1 | Costruzioni in legno

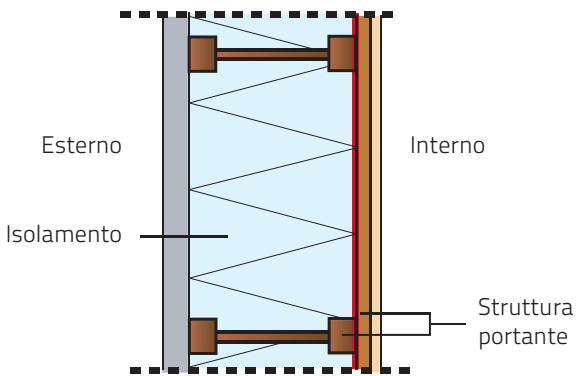
6.1.2 | sistemi costruttivi in legno

Con le recenti innovazioni tecniche nella produzione di nuovi sistemi di costruzione in legno, insieme allo sviluppo della tecnologia delle giunzioni per il legno, diventa possibile anche realizzare costruzioni a più piani: recentemente è stato ad esempio testato con successo, nel più grande simulatore di terremoti presente in Giappone, un edificio di 7 piani interamente realizzato con compensato di tavole e giunzioni metalliche. A Berlino è stato portato a termine un edificio di abitazioni di 5 piani fuori terra, interamente in legno, e interamente costruito a secco, rispondente in pieno alla severissima normativa antincendio tedesca, oltre che alle norme strutturali.

Vi sono diversi modi di suddividere i vari tipi di costruzioni di legno: avremo classificazioni in funzione della stratigrafia della parete, e quindi costruzioni di tipo leggero e di tipo massiccio, e classificazioni in funzione della tipologia strutturale che considerano l'assorbimento dei carichi (e quindi con elementi piani e con elementi lineari).



Esempio di strutture massicce in legno

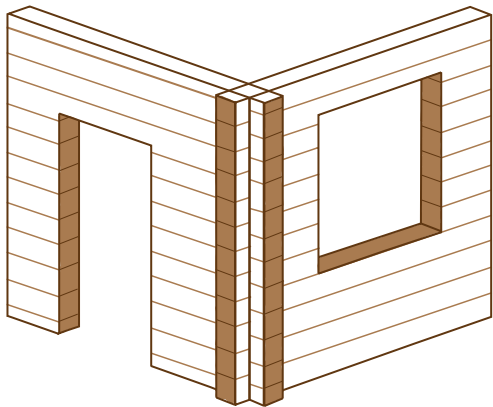
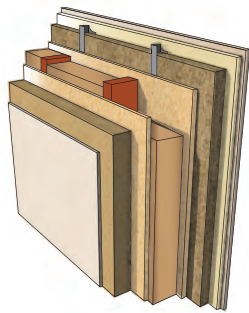


Esempio di strutture leggere in legno

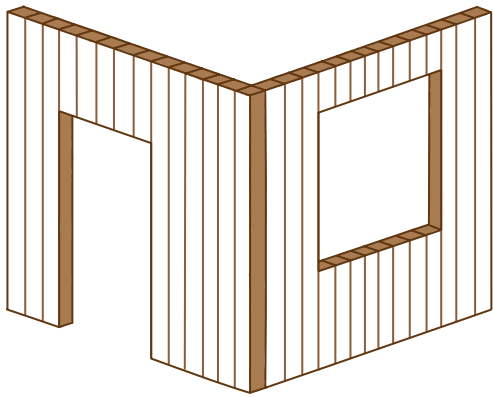
Stratigrafia delle pareti

Nelle costruzioni di tipo massiccio lo strato isolante è separato dalla struttura portante, mentre nelle costruzioni di legno di tipo leggero, isolamento e struttura portante si trovano nello stesso piano.

A loro volta le costruzioni massicce, in funzione della tipologia strutturale e quindi dell'assorbimento dei carichi, si suddividono in strutture in cui il carico viene assorbito da elementi lineari, posizionati perpendicolarmente rispetto alla direzione di azione dei carichi (Blockhaus) e strutture in cui il carico viene assorbito da elementi piani (tipo X-LAM).

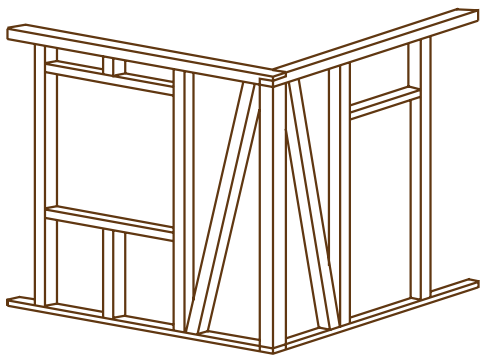


Sistema Blockhaus

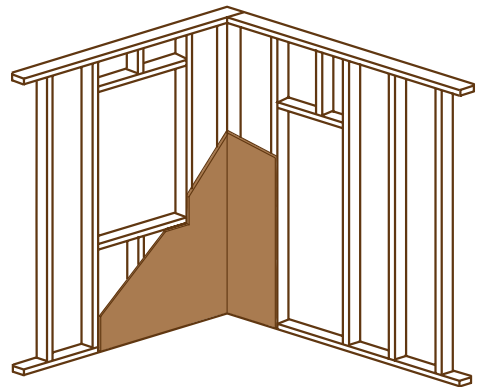


Sistema X-LAM

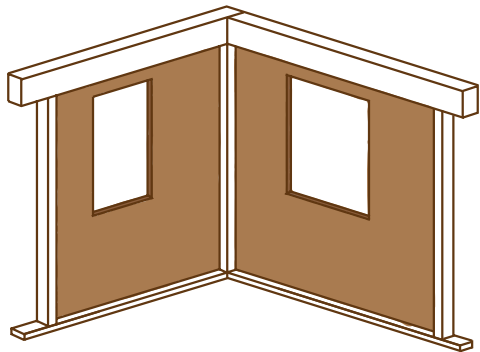
Nel caso delle costruzioni leggere l'assorbimento dei carichi avverrà tramite elementi lineari (e quindi sistemi a traliccio o a ossatura portante), tramite elementi lineari che presentano anche elementi piani di irrigidimento (a intelaiatura o Timber Frame) e tramite elementi piani e tamponamenti (a telaio portante).



A traliccio di legno



A intelaiatura di legno



A telaio portante

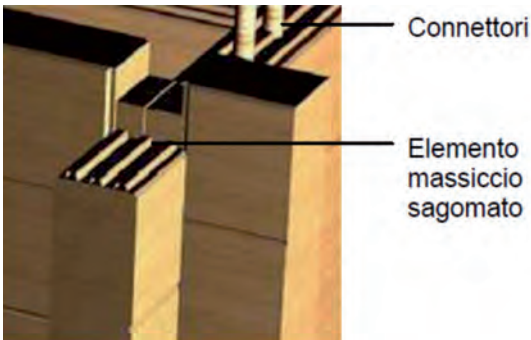
Nel caso delle costruzioni intelaiate si realizzano lastre per le quali non c'è alcuna separazione tra elementi portanti e di tamponamento. Nelle costruzioni a ossatura portante, invece, i carichi vengono assorbiti da elementi strutturali di tipo lineare, che possono rimanere a vista indipendentemente dagli elementi di tamponamento.

A seconda del tipo di costruzione, le luci delle travi principali sono comprese tra 3 m e 8 m. Luci comprese tra 3,5 m e 4,5-5 m si sono rivelate economicamente convenienti in relazione ai carichi che normalmente agiscono su solai di edifici adibiti a civile abitazione o ufficio.

Sistema costruttivo massiccio tipo Blockhaus

Si tratta del sistema costruttivo maggiormente diffuso nei paesi del Nord-Europa, dove c'è presenza di grandi quantità di legname: si utilizzano elementi in legno di varia lunghezza, disposti orizzontalmente e sovrapposti tra di loro a formare la parete portante, che assolve quindi funzioni sia portanti che di irrigidimento. Gli elementi orizzontali utilizzati possono essere tronchi di legno massiccio oppure prodotti ottenuti da legno incollato, come il legno lamellare, ricavato per incollaggio di strati di legno naturale ottenendo sezioni composte con elevate caratteristiche meccaniche.

Il collegamento degli elementi massicci allo spigolo dell'edificio viene effettuato mediante incastri o connessioni che si possono anche realizzare tramite intagli veri e propri.



Esempio di connessioni

In questa tipologia costruttiva sono le caratteristiche del materiale legno, in particolare la sua fibratura, a influenzare molto la progettazione. In particolare quando siamo in presenza di strutture orizzontali, la sollecitazione a compressione avviene perpendicolarmente alla fibratura e, siccome il modulo elastico E perpendicolare alla fibratura è molto ridotto, si instaurano assestamenti importanti causati dalle deformazioni. I problemi connessi agli assestamenti possono, tuttavia, essere ridotti o eliminati completamente mediante accorgimenti costruttivi, come per esempio:

- prevedere zone di deformazione a scomparsa oppure cavità d'aria di alcuni cm in prossimità di architravi ed elementi simili,

► | 6.1 | Costruzioni in legno

- che non possono adattarsi all’assestamento;
- evitare colonne portanti collegate direttamente e rigidamente con le pareti;
 - considerare l’assestamento della parete massiccia nella progettazione e nella posa in opera di impianti (condotte elettriche, tubazioni per il riscaldamento e per l’acqua).

Gli elementi costruttivi devono essere trattati con opportuni impregnanti protettivi a base acquosa, nonché essere sottoposti a saturazione del tenore di umidità. La resa estetica ricorda edifici “primordiali”, con una connotazione legata all’ambiente alpino: è il tipico sistema costruttivo delle baite.

Sistema costruttivo tipo massiccio con X-Lam
Questa tecnica costruttiva risulta molto sfruttata in Europa, anche grazie alla sua flessibilità ed economicità. Prevede l’impiego di pannelli multistrato in legno, realizzati tramite l’incollaggio a strati incrociati di un numero dispari di tavole dello spessore medio di circa cm 2 (variabilità tra 15 e 40 mm). In sezione trasversale si hanno pannelli monostrato disposti di solito alternativamente ad angolo retto l’uno rispetto all’altro. Si impiega legno a strati incrociati essiccato artificialmente, per evitare l’attacco di funghi e parassiti. Per ridurre le problematiche di rigonfiamento e di ritiro delle pannellature in legno si preferisce la suddetta disposizione incrociata, tecnica che permette di avere una migliore resistenza strutturale e maggiore stabilità meccanica. A seguito della capacità di ripartizione trasversale dei carichi, che dipende dalla struttura

della sezione, è possibile in ogni punto l’assorbimento di carichi concentrati. Con questa tecnica è possibile la costruzione di edifici multipiano. Le fondazioni vengono realizzate a partire da una platea di fondazione in calcestruzzo armato, dove vengono fissati, tramite speciali staffe e viti inclinate, dei cordoli in legno su cui saranno montate le pareti in X-LAM. I pannelli, in genere, sono rivestiti internamente con una controparete in lastre di gesso rivestito o pannellature in legno, con intercapedine isolata, ed esternamente con un sistema “a cappotto” e rivestimento protettivo di finitura, e idoneo strato decorativo. Gli elementi massicci di parete, solaio e copertura possono essere prodotti esattamente e singolarmente in base alle indicazioni di progetto e possono essere collegati con sistemi di connessioni semplici e standardizzati. Solitamente nelle operazioni di incollaggio dei differenti strati si impiegano adesivi strutturali, privi di solventi e di formaldeide. Le pannellature risultanti vengono poi tagliate secondo le dimensioni commerciali richieste, avendo cura di prevedere già le aperture per finestre, porte e vani scala, che verranno poi collegate tra di loro in opera in cantiere tramite opportuni elementi metallici. Si tratta di strutture a comportamento meccanico molto rigido, in cui è posta attenzione alla progettazione dei differenti giunti, per arrivare a un’ottimale dissipazione dell’energia. In generale questa tecnologia costruttiva, caratterizzata da una buona massa areica, consente spesso valori di sfasamento migliori di quelle a telaio: ciò è utile in zone con climi estivi caldi. È inoltre facilmente ottenibile una buona tenuta all’aria.



Esempio di costruzione tipo Blockhaus



Esempio di pareti in X-LAM



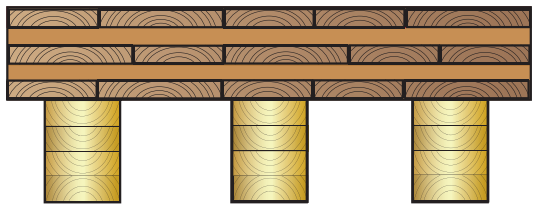
Posa in opera delle pareti



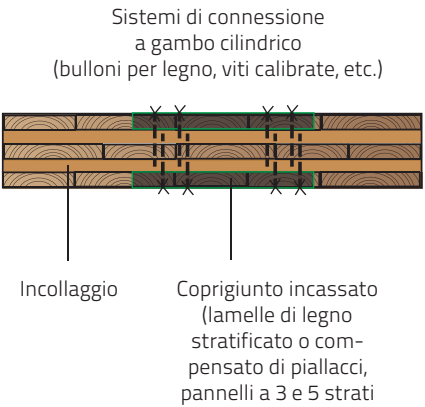
Posa in opera dei solai



Interni

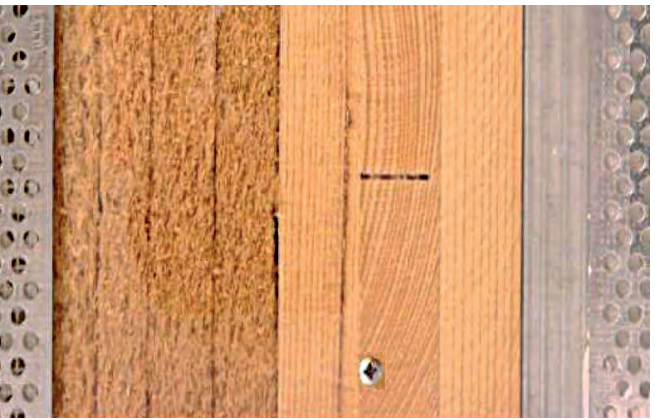


Pannello nervato, compensato di tavole a 5 strati + lamellare incollato



Alcuni dettagli costruttivi tipologici

Sistema costruttivo a traliccio di legno
Questo sistema impiega una minore quantità di legname rispetto alle costruzioni massicce e si è sviluppato quindi in molte regioni europee in cui il legno non era così abbondante. Esso è caratterizzato da un vero e proprio scheletro in legno che può essere rivestito da entrambi i lati o rimanere a vista da un lato solo. La disposizione di pilastri e travi in legname deve essere fissa per tutti i piani in pianta e l’avanzamento della costruzione si ha piano per piano. In generale si impiegano prevalentemente connessioni senza elementi meccanici di collegamento (connessioni di carpenteria) con incastri e sovrapposizioni. Occorre notare che tali costruzioni si rivelano economicamente competitive.



Particolare di parete in X-LAM

► | 6.1 | Costruzioni in legno

Sistema costruttivo a intelaiatura di legno

Nelle costruzioni intelaiate i carichi vengono assorbiti da elementi che sviluppano comportamento a lastra (gli elementi portanti non sono separati da quelli di irrigidimento e tamponamento).

La definizione di “costruzione intelaiata di legno” deriva dall’inglese *timber frame*, ossia telaio di legno.

La funzione statica viene assorbita da un telaio strutturale in legno, composto da elementi a sezione contenuta, con una disposizione caratterizzata da un passo ravvicinato, che viene irrigidito esternamente tramite operazioni di placcaggio con lastre di controventatura e irrigidimento.

Per ciò che riguarda il collegamento dei suddetti pannelli – che svolgono la funzione di parete – con il basamento, spesso in cemento armato, e con il solaio del piano sottostante, questo avviene tramite strutture in carpenteria metallica, mediante semplici mezzi di collegamento come chiodi, cambrette e bulloni. Il legno utilizzato deve essere stato essiccato artificialmente, per evitare l’attacco di funghi e parassiti.

Sempre esternamente, si ha una struttura a cappotto con funzioni di isolamento termico e di rivestimento di facciata ma, spesso nel caso di edifici a destinazione terziaria, anche realizzata tramite la tecnica della facciata ventilata.

All’interno vi sono i supporti per la posa in cantiere delle necessarie canalizzazioni delle varie reti tecnologiche.

Per la coibentazione dei vari vani e la chiusura interna si utilizzano pannellature in gesso rivestito o gesso fibra.

Gli elementi che costituiscono le pareti, i solai e le coperture, realizzati in stabilimento, vengono poi assemblati rapidamente in cantiere.

È possibile disporre le aperture in differenti posizioni all’interno del pannello che costituisce la parete: una finestratura non allineata con il reticolo di base verrà poi irrigidita da ulteriori montanti e architravi.

Sistema costruttivo a ossatura portante di legno

Si tratta di un sistema costruttivo molto antico: ai nostri giorni, grazie all’utilizzo del legno lamellare, si possono realizzare costruzioni con grandi interassi tra le colonne, che permettono un agevole sfruttamento degli spazi interni.

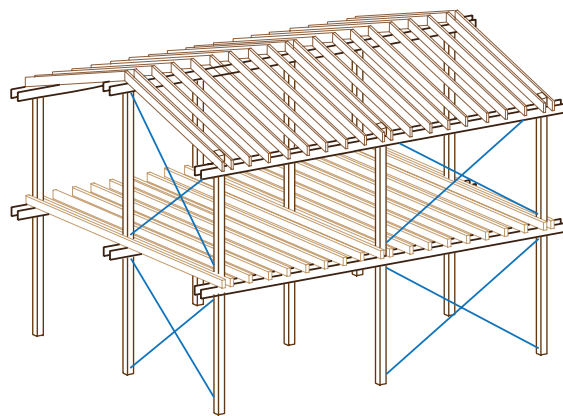
Nelle costruzioni a ossatura portante i carichi vengono assorbiti da elementi strutturali di tipo lineare: questi possono anche non essere inglobati all’interno dei tamponamenti e quindi rimanere a vista. I tamponamenti possono essere realizzati con sistemi costruttivi a piacimento come murature, elementi in vetro strutturale o elementi intelaiati.

L’irrigidimento della struttura viene realizzato tramite solai progettati secondo un comportamento a lastra, oppure con l’ausilio di diagonali di acciaio o di legno o, ancora, con lastre di parete.

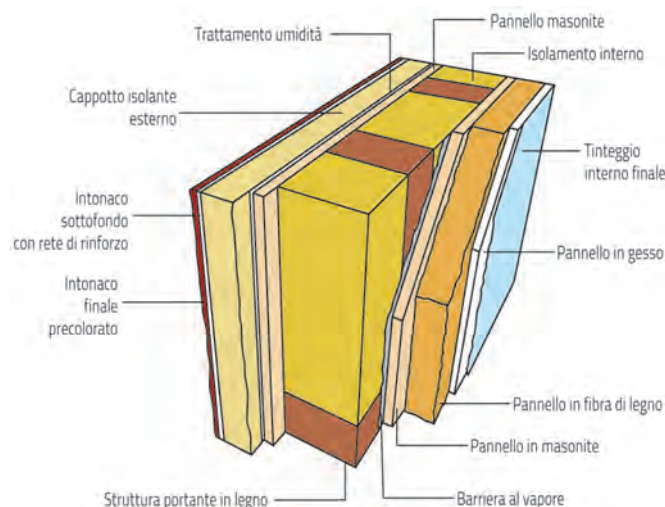
Le pareti non assorbono, di regola, funzioni portanti e gli elementi di connessione sono spesso realizzati con elementi metallici.

Combinazioni di diversi sistemi costruttivi di legno

È possibile combinare le differenti tipologie costruttive sin qui illustrate: di regola, soprattutto in abitazioni a più piani fuori terra, le pareti possono essere realizzate con il sistema costruttivo a intelaiatura, mentre si preferisce la tipologia costruttiva massiccia per i solai, anche per considerazioni sull’isolamento acustico, che risulta più economico rispetto ad altre soluzioni.



Il sistema costruttivo a ossatura portante



Esempio di particolare costruttivo. www.geoclimasrl.com. Adattamento

► | 6.2 | Costruzioni in paglia

La paglia, prodotto naturale rinnovabile, è un sottoprodotto dei cereali (grano, orzo, avena, segale, riso, miglio, etc.) che viene raccolto per essere consumato come alimento dagli animali ed è reperibile in tutto il mondo, in quanto i cereali sono alla base dell’alimentazione umana.

Si tratta di un materiale abbastanza inerte, con una composizione chimica simile al legno, difficile da decomporre, che richiede l’aggiunta di nitrati perché ciò avvenga.

Analizzando l’impatto sulla sostenibilità ambientale della paglia possiamo dire che per realizzare 1 mq di parete, con un valore prefissato di trasmittanza termica U pari a 0,17 W/mq×K, occorrono 94,82 MJ di energia primaria, a fronte di valori pari a 1300 MJ necessari per la costruzione di una parete in laterizio e polistirene espanso con le medesime caratteristiche termoisolanti. Raffrontando le emissioni di CO₂ delle due suddette tipologie costruttive si osserva che per quella realizzata in paglia esse sono addirittura negative (– 58,39 kg di CO₂ equivalente) contro i 69,71 kg di CO₂ della parete tradizionale in laterizio e EPS.

Inoltre la paglia è un materiale biodegradabile, aspetto utile da considerare nella dismissione finale del costruito.

Occorre però dire che il materiale risulta molto sensibile alla presenza di umidità ed è per questo che necessita di una protezione dagli agenti atmosferici e dall’umidità di risalita.

Al tempo stesso la costruzione deve essere più permeabile alla diffusione del vapore dall’interno verso l’esterno, con un idoneo rivestimento interno a tenuta all’aria.

Per questo si impiegano intonaci in argilla, per la capacità di regolazione dell’umidità interna: sono in grado di assorbire velocemente eventuali picchi di umidità che vengono poi restituiti all’ambiente interno quando l’aria diventa più secca.

Per incrementare l’inerzia termica di queste costruzioni, problema noto soprattutto nei periodi estivi caldi, si abbina un rivestimento interno in mattoni di argilla cruda, migliorando così lo sfasamento dell’onda di calore e la sua attenuazione.

Per evitare la presenza di roditori la paglia viene pressata in balle, inserendo reti di protezione all’altezza della zoccolatura.

La pressatura influisce, inoltre, sulla riduzione di ossigeno, elemento comburente negli incendi: le balle diventano così materiali poco infiammabili, ancor più se dotate di un consistente strato di argilla o di intonaco (alcune configurazioni permettono di raggiungere una resistenza al fuoco di oltre 90 minuti).

In genere le balle di paglia commercializzate hanno dimensioni 32-35 x 50 x 50-120 cm.

La completa biodegradabilità del materiale rappresenta un ulteriore vantaggio per l’ambiente in fase di dismissione dell’edificio. Secondo studi condotti dall’ADEME (Agence de l’Environnement et de la Maîtrise de l’Energie) e dalla FFB (Fédération Française du Bâtiment) le balle di paglia utilizzate per le costruzioni sono caratterizzate da una densità di circa 80-200 kg/mc e hanno una conduttività termica di 0,07 W/m×K. La conduttività dipende dalla conformazione della palla e può diminuire con la

diminuzione della densità. I valori forniti dall’Agenzia CasaClima della Provincia Autonoma di Bolzano, invece, definiscono una conduttività termica pari a 0,09 W/m×K per paglia della densità di 340 kg/mc. Il calore specifico del materiale è di 1500 J/kg×K e permette un’ottima inerzia termica.

Una parete in paglia di 36 cm di spessore, con un intonaco classico in calce di 2 cm da un lato e un intonaco in canapa e calce di 2 cm dall’altro, presenta una trasmittanza U di circa 0,25 W/mq×K, considerando la struttura in legno e gli interstizi tra le balle. I valori di sfasamento e smorzamento dell’onda termica per balle di paglia con densità di 100 kg/mc e conduttività termica di 0,07 W/m×K sono pari a circa 13 ore e 0,23 (onda termica smorzata del 77%).

La paglia è un materiale traspirante che permette il passaggio impercettibile del vapore acqueo e dell’aria, e pertanto gli elementi di finitura devono presentare simili caratteristiche di traspirabilità. Come anticipato si utilizzano quindi gli intonaci tradizionali a base di calce o quelli di argilla.

All’interno la pittura finale può essere di calce o di olio di semi di lino, a seconda dell’effetto desiderato. All’esterno, invece, come protezione dalle intemperie servono diversi strati di latte di calce, che devono essere ripetuti dopo qualche anno.

Anche per le fondazioni occorre valutare la similarità di traspirabilità dei materiali: pertanto è buona norma progettare le fondazioni senza l’impiego di cemento oppure, se utilizzato, proteggere la paglia con un materiale intermedio, in genere legno, insieme a una guaina impermeabile al vapore, e abbinare un vespaio alle fondazioni stesse.

Il problema principale delle costruzioni in paglia è l’isolamento delle balle dall’umidità e pertanto le balle devono essere realizzate su cordoli di basamento, la cui parte superiore deve essere impermeabilizzata, e che a loro volta poggeranno su fondazioni. Inoltre le balle devono essere rialzate da terra di almeno 20 cm. Per evitare interruzioni dello strato di tenuta che potrebbero compromettere seriamente la durabilità del materiale paglia, le installazioni elettriche e impiantistiche vengono inserite generalmente nei solai, in apposite cavità realizzate nello zoccolo o nelle intercapedini delle pareti interne.

► | 6.2 | Costruzioni in paglia

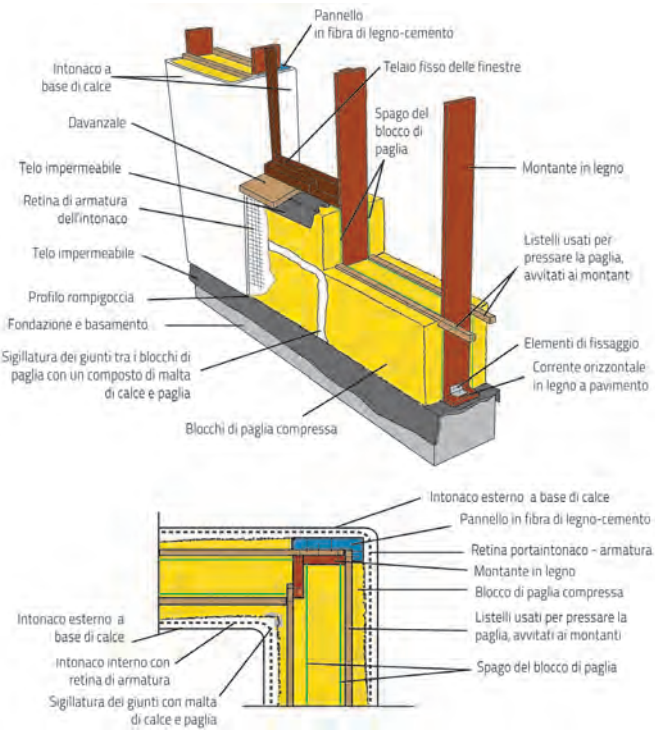
6.2.1 Le tecniche di costruzione

Nebraska o autoportante

Tale metodo deve il suo nome al fatto che è lo stesso utilizzato dai coloni nello stato americano del Nebraska. I carichi verticali della struttura di copertura sono assorbiti direttamente dalle balle di paglia, che vengono poste in opera quali veri e propri elementi da costruzione, muniti di idonei collegamenti alle strutture di fondazione, irrigiditi da picchetti di nocciolo ceduo. Superiormente vengono collocati cordoli in legno che fungono da ripartitori dei carichi, al fine di evitare eccessive sollecitazioni: anche in questo caso gli elementi di collegamento sono rappresentati da cinghie e picchetti. Le aperture sono ricavate all'interno di idonei controtelai, posti tra le varie balle di paglia, ma non devono essere superiori al 50% della superficie dei muri stessi, per evidenti problemi statici.

Struttura di legno leggera e autoportante

Vengono collocati pilastri di legno agli angoli della struttura e ai lati delle finestre e delle porte mentre le balle di paglia vengono posizionate come murature autoportanti soggette a compressione. La struttura è resa più resistente e stabile grazie al posizionamento di elementi in legno (stecche) all'esterno degli elementi in paglia, fissate alle strutture di base ed al cordolo superiore in legno allorquando le balle abbiano completato il



Parete perimetrale in paglia: edificio con struttura portante in legno e schema esemplificativo degli elementi angolari

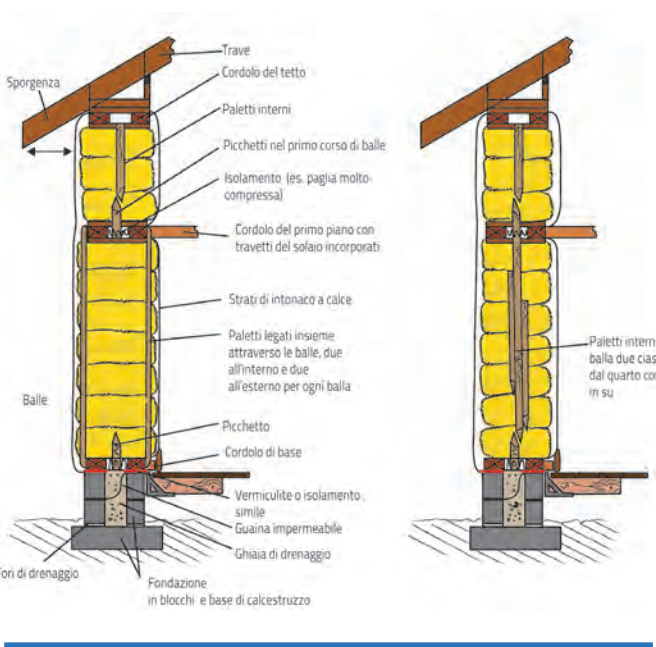
proprio assestamento sotto l'azione di compressione dei vari carichi. Con tale tecnica è possibile realizzare subito la struttura di copertura, sorretta dalla struttura lignea, permettendo al materiale di non bagnarsi in caso di precipitazioni atmosferiche.

Post and Beam

Con questa tecnica i carichi trasmessi dalle coperture sono assorbiti dalla struttura a pilastri, realizzata in legno ma anche in acciaio o calcestruzzo: le balle di paglia sono collocate tra la struttura come tamponamenti, fungendo da blocchi di isolamento. Le costruzioni intelaiate sono generalmente più costose delle costruzioni con balle portanti, ma garantiscono una maggior stabilità strutturale. Di contro, se la paglia non è ben pressata, può subire assestamenti rilevanti nel tempo (si parla di 3-5 cm in media per ogni piano di edificio nel primo anno) determinando pericolosi ponti termici dove si creano i vuoti. Impiegando invece la tecnica con balle di paglia portanti, il peso dell'edificio va a comprimere il materiale, evitando l'insorgere dei suddetti inconvenienti.

Matrix

Con questa tecnica si realizza la struttura portante con balle di paglia legate tra loro con malta di cemento. Questo metodo richiede elevate quantità di cemento e la struttura è soggetta all'umidità, proprio a causa del cemento.



Sezione di muro con struttura leggera (con secondo piano autoportante) e sezione di muro autoportante (primo e secondo piano)
Fonti: per entrambe le rappresentazioni, Gallauziar T., Fedullo D., *Manuale pratico dell'isolamento termico e acustico*, Sistemi Editoriali, 2011 – Barbara Jones, *Costruire con le balle di paglia. Manuale pratico per la progettazione e la costruzione*, Aam Terra Nuova, 2007.

► | 6.3 | Costruzioni in terra cruda

La terra, insieme alla pietra e al legno, fu fin dall'antichità il primo materiale utilizzato dall'uomo per costruirsi ripari artificiali. Resti di costruzioni in terra cruda si trovano nell'architettura egizia e in quella greca antica e sono citate dagli storici romani, i quali però preferirono utilizzare terra cotta a pietra per costruire. In ogni continente, Europa compresa, si trovano esempi di costruzioni antiche in terra cruda e ancora ai giorni nostri più di un terzo della popolazione mondiale, circa il 40%, vive in case di terra cruda.

Anche in molte zone dell'Italia ci sono costruzioni in terra cruda nell'architettura rurale e vernacolare: principalmente in Abruzzo, nelle Marche, in Emilia-Romagna, in Sardegna e in Piemonte. Qui in particolare in provincia di Alessandria, nel territorio denominato "Fraschéta", compreso nei comuni di Alessandria, Novi Ligure e Bosco Marengo sono stati censiti un migliaio di edifici costruiti sia a blocchi (adobe) che in terra battuta (pisé) tuttora in uso.

L'utilizzo del materiale del luogo, il più delle volte dello scavo stesso di fondazione, la semplice essiccazione senza la cottura in forno che richiede grandi quantità di energia (la fabbricazione di un mattone in terra cruda richiede infatti il 15% dell'energia necessaria per fabbricare un mattone in terra cotta), la possibilità di essere riusato e riciclato all'infinito, fanno della terra cruda il materiale sostenibile per eccellenza. La terra cruda ha inoltre buone caratteristiche termiche, ottime qualità igroscopiche, grande capacità di assorbimento degli inquinanti interni, buon comportamento strutturale anche in occasione di terremoti, e grande durabilità nel tempo se le strutture con essa realizzate sono progettate e edificate correttamente.



Diffusione del crudo in Italia tratto da: O. Baldacci, *L'ambiente geografico delle case di terra in Italia*, in "Rivista Geografica italiana", vol. LXV, Firenze 1958



Casa in terra cruda, Novi Ligure - Frazione Merella. Fonte: archivio Comune di Novi Ligure (AL)

► | 6.3 | Costruzioni in terra cruda

6.3.1 Il materiale e principio costruttivo

La terra che si utilizza è una miscela composta di ghiaia, sabbia grossa, sabbia fine, limo e argilla che si trova a 80-100 cm di profondità, al disotto dello strato superficiale detto di coltivo o arabile, in quanto non adatto come materiale costruttivo per l'alto contenuto di sostanze organiche putrescibili e la scarsa resistenza meccanica.

Spesso viene direttamente utilizzato il materiale di scavo delle fondazioni dell'edificio o, in alternativa, proveniente da cave della zona. La miscela viene vagliata per eliminare il pietrisco di dimensioni eccessive, viene macinata e bagnata per renderla plasmabile e, prima di essere utilizzata per l'edificazione, viene sottoposta a prove di resistenza per determinarne le caratteristiche meccaniche e fisiche. Per far questo si realizzano dei provini cilindrici, in tutto simili ai provini per il calcestruzzo armato, e se ne determina tipicamente la massa, la resistenza alla compressione, la resistenza alla trazione e al taglio, il grado di ritiro da asciutta, la dilatazione e la conducibilità termica da asciutta. Tali valori variano molto in funzione delle rispettive quantità dei componenti che formano la miscela.

È importante che questa fase di test sia condotta in maniera rigorosa perché purtroppo per ora – contrariamente ad esempio a Francia, Germania e Svizzera – in Italia le lacune normative e legislative in materia potrebbero costituire un ostacolo a nuove edificazioni in terra cruda. Infatti solo la regione Abruzzo e la regione Piemonte hanno leggi sulla salvaguardia e recupero delle costruzioni in terra.

Il mix di argilla, limo e sabbia è plasmabile finché umido; una volta essiccato acquista capacità portanti variabili a seconda delle proporzioni e della qualità dei componenti, tali comunque da sopportare il peso di solai e coperture e di raggiungere altezze anche considerevoli. Molto importante ai fini della stabilità è verificare il grado di umidità residua nel nocciolo delle strutture, in particolare quelle realizzate con la tecnica del pisé descritta oltre, prima di caricarle con i solai e le coperture.

Assai spesso la terra è impastata con fibre naturali tipo la paglia, per aumentarne le prestazioni meccaniche e termiche. Per ovviare alla solubilità in acqua della terra cruda essiccata in alcuni casi viene aggiunta una modesta quantità di cemento o calce nell'impasto, ma tale tecnica se da un lato la "stabilizza" dall'altro la priva di una delle sue qualità più apprezzate, l'igroscopicità, che ne fa un regolatore naturale e salubre dell'umidità degli ambienti abitati.

6.3.2 Le tecniche di costruzione

Nella storia, e tutt'oggi, si contano almeno una quarantina di tecniche diverse di costruzione di strutture portanti in terra cruda, che possono essere sostanzialmente raggruppate in due tipi:

- **pisé**, ossia erezione delle strutture direttamente tramite getto e battitura dell'impasto di terra leggermente umida a strati successivi in casse forme
- **adobe**, ossia erezione delle strutture con blocchi in terra cruda precedentemente fabbricati ed essiccati all'aria.

Se le strutture sono erette senza casseforme, utilizzando un impasto piuttosto compatto di terra e paglia modellato e impilato a mano la tecnica è detta **bauge**; tecnica utilizzata in centro Italia dove prende il nome di *massoni*.

Se la costruzione in terra cruda non ha caratteristiche portanti ma è associata ad una struttura intelaiata in legno, a graticcio o *colombage*, la tecnica prende il nome di **torchis**, le cui antiche origini vanno ricercate nella tecnica romana delle pareti a graticcio (cfr. J.P. Adam). Fu diffusamente impiegata in epoca medioevale nel nord Europa: basti citare la città di Rouen in Normandia, il cui centro storico è interamente costruito con questa tecnica.

Il pisé

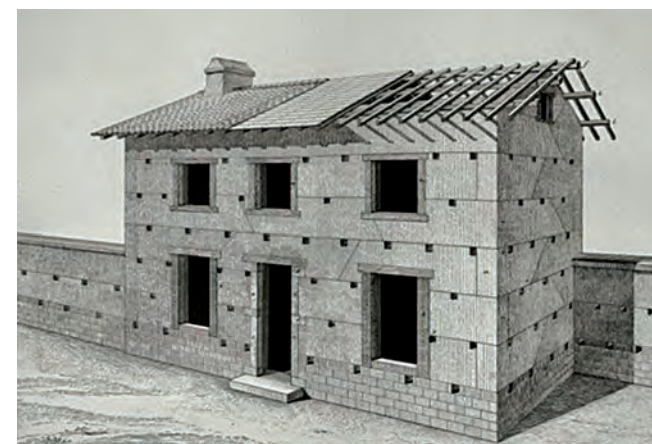
Già ampiamente trattata nel 1791 dall'architetto François Cointeraux nel suo *Traité sur la construction des manufactures et maisons de campagne*, la tecnica del pisé consiste come già accennato nell'erezione delle strutture portanti monolitiche tramite il getto, la vibratura e il costipamento per battitura della



Fotografia di Mariana Correia tratta da: Maddalena Achenza e Ulrico Sanna (a cura di), *Il manuale tematico della terra cruda*

terra leggermente inumidita in casseforme di legno o metallo. Si procede a strati successivi di circa 12-15 cm di spessore e ogni 3 strati viene interposto uno strato di malta o di lastre sporgenti verso l'esterno di laterizio o pietra con la doppia funzione di distribuire i carichi e proteggere dagli agenti atmosferici la superficie esterna della struttura.

In passato le costruzioni in pisé spesso prevedevano pilastri d'angolo in mattoni cotti per irrigidimento o catene lignee direttamente immerse nel getto in terra per contenere gli sforzi orizzontali.

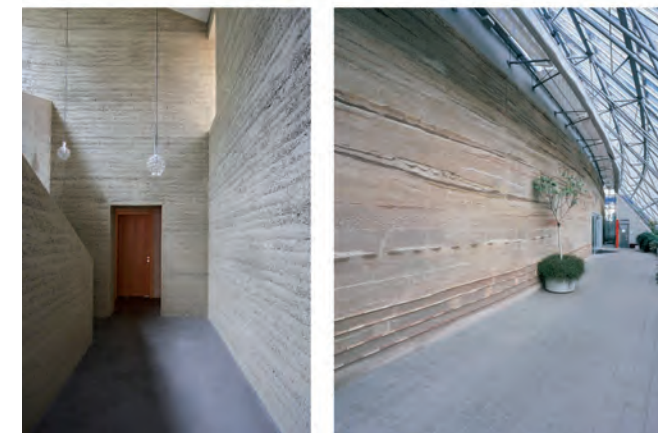


Maison en pisé, da Jean-Baptiste Rondelet (1802-17)



www.lehmtonerde.at

La tecnica del pisé raggiunge attualmente in Europa le sue massime espressioni strutturali e architettoniche nelle opere dell'austriaco Martin Rauch, autore e costruttore, oltre a diverse murature interne con finalità di regolazione del microclima interno, come ad esempio l'atrio dell'ospedale di Feldkirch, anche di numerosi edifici completi in Austria, Svizzera, Germania e Italia (Haus Rauch 2008, Haus in Flims 2011, Azienda vinicola La Raia a Novi Ligure 2005).



www.lehmtonerde.at: sopra Haus Rauch, sotto a sinistra Casa a Flims, a destra il lungo muro dell'atrio dell'ospedale di Feldkirch

► | 6.3 | Costruzioni in terra cruda

Adobe

Le strutture portanti sono realizzate con blocchi di varie dimensioni in terra cruda mescolata a paglia, fabbricati per compressione in stampi o per estrusione. La fabbricazione in stampi può avvenire sia in maniera artigianale che industriale, con o senza compressione meccanica; la fabbricazione per estrusione è quasi esclusivamente effettuata con procedure industriali. I blocchi sono solitamente legati con malta costituita dallo stesso materiale in terra, e le murature così erette sono protette con uno strato di intonaco generalmente in calce aerea o con la stessa terra impiegata per i blocchi, a volte stabilizzata con una parte di calce. Questa tecnica è la più diffusa al mondo, in particolare nelle zone climatiche tropicali secche, e non manca neppure in Italia, soprattutto in Sardegna.



Cantiere Mauro Coni. Immagine tratta dal volume *Il manuale tematico della terra cruda - I manuali del recupero dei centri storici della Sardegna*, Maddalena Achenza e Ulrico Sanna (a cura di), pubblicazione ITACA, 2006.

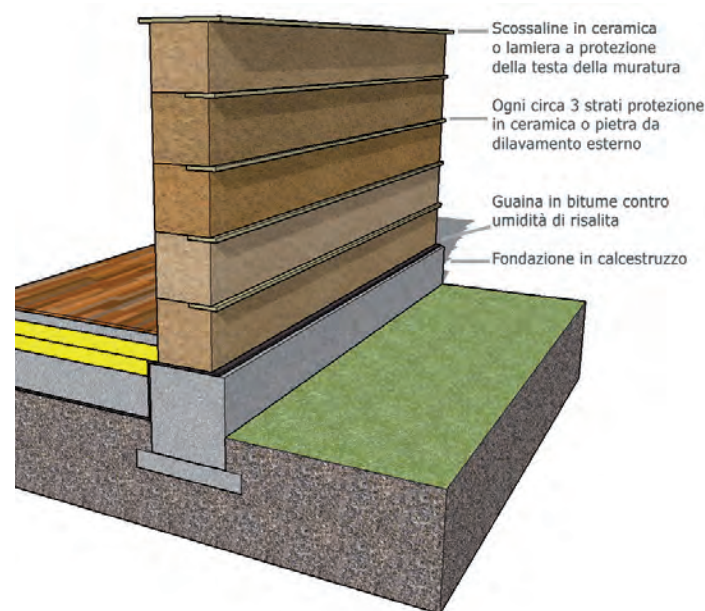
Durabilità e manutenzione

L'invecchiamento del materiale è naturale, resiste ai raggi UV e il colore in facciata non solo non cambia nel tempo ma molto spesso migliora con gli anni (aumento della saturazione della tonalità). La composizione del materiale stesso privo di sostanze organiche, il pH leggermente basico, la grande secchezza e igroscopicità lo rendono inattaccabile da microorganismi e funghi. Le superfici esterne, se correttamente realizzate (ad esempio con sbalzi in terra cotta o pietra contro il dilavamento), hanno bisogno di manutenzione quanto una muratura tradizionale e, in caso di erosione eccessiva, possono essere riparate con lo stesso materiale di cui sono fatte. Ovviamente il problema maggiore da risolvere è il permanere della solubilità in acqua della terra essiccata: per assicurare la durata nel tempo delle strutture esterne in terra cruda è quindi necessario proteggerle dall'umidità e in particolare dagli effetti della pioggia battente. Tralasciando gli esperimenti di stabilizzazione della mescola con piccole parti di cemento, che come già detto danneggiano la qualità principale della terra cruda, le soluzioni sono esclusivamente di tipo costruttivo. Pertanto è necessario elaborare appropriati dettagli costruttivi per proteggere i "piedi" delle strutture

dall'umidità di risalita e la "testa" dal dilavamento della pioggia. Per evitare l'umidità di risalita dal terreno di fondazione le strutture in terra cruda, siano esse realizzate con la tecnica del pisé o in adobe, devono comunque sempre essere appoggiate su cordoli in calcestruzzo armato più alti del piano di campagna di almeno 35-40 cm, con interposta guaina bituminosa impermeabilizzante. In passato erano utilizzati muretti in pietra come fondazione anti-umidità di risalita.

Per la protezione dell'estremità superiore delle murature e dei parapetti in terra cruda sono generalmente utilizzate scossaline in lastre metalliche o lastre in pietra o ceramica sporgenti di 5-15 cm a seconda dell'altezza libera della parete.

Contro il dilavamento da pioggia delle superfici esterne, come già detto, è uso interporre nel caso della tecnica a pisé lastre in pietra o ceramica ogni circa 3 strati di costipamento. In ogni caso sul lato esterno delle strutture monolitiche realizzate con la tecnica del pisé bisogna sempre considerare una certa erosione e prevederla in fase di dimensionamento. Nel caso di strutture erette con la tecnica dell'adobe, è in genere adottata l'intonacatura con lo stesso materiale di cui sono fatti i blocchi, stabilizzato con calce aerea



Sezione schematica dei sistemi di protezione della superficie esterna della muratura dalle intemperie, in particolare dal dilavamento della pioggia.

Nella pagina a lato: un esempio maestoso di costruzioni in adobe è il villaggio-fortezza di Ait-Ben-Haddou, a Ouarzazate in Marocco, dichiarato Patrimonio Mondiale dell'Umanità UNESCO.



ENERGIA

“La radiazione solare è la fonte primaria di energia rinnovabile.
Oltre a costruire una fonte di energia diretta,
regola il clima terrestre consentendo di ricavare energia
dal vento, dall’acqua, dalle maree (insieme alla luna)
e da una serie di fonti biologiche...”

Peter F. Smith, architetto

7

“È urgente liberare le nostre economie dalla schiavitù degli idrocarburi. L'energia solare è la soluzione, non solo per la via relativamente semplice del riscaldamento degli edifici ma anche per la generazione di elettricità che costituisce una parte rilevante degli usi energetici.”

Così Matteo Leonardi e Pippo Ranci introducono il libro di Travis Bradford *La rivoluzione solare* ^(a), uscito per la prima volta nel 2006, dove viene descritta in modo chiaro e sistematico la possibilità di attuare un nuovo modello di sviluppo della società, basato sull'impiego dell'energia solare, dimostrando quanto sia possibile, efficace e sostenibile, anche dal punto di vista economico, dare una svolta alla direzione che l'umanità ha preso quando ha fondato il suo sviluppo economico sull'impiego delle fonti fossili. Le due minacce che incombono sul futuro del nostro pianeta sono appunto l'una di carattere economico, l'altra di carattere ambientale. La prima si fonda sull'osservazione della progressiva riduzione delle fonti fossili a disposizione, specialmente in rapporto alla crescente domanda che proviene, oltre che dai paesi industrializzati, anche e sempre di più da quelli emergenti e in via di sviluppo, i quali vedono nei primi un modello da seguire, giustificato dal diritto alla crescita sociale e al benessere. La seconda minaccia è quella della crisi ambientale a cui il pianeta va incontro, con gravissime ripercussioni economiche su scala globale. Le crisi che investono ora il settore energetico, ora quello economico o finanziario non sono altro che gli effetti dei processi di cambiamento che l'umanità intraprende nel tentativo di migliorare la propria condizione: nel passato attraverso lo sfruttamento dell'intelligenza e dell'abilità dell'uomo nel ricercare nuove fonti di sussistenza, più recentemente nell'impiego di nuove fonti energetiche.

Il sistema uomo-ambiente si regge su una sorta di equilibrio dinamico, tipico dei sistemi aperti, che si rimodula continuamente ma che negli ultimi tempi inizia a dare segni evidenti della difficoltà di elaborare feedback che consentano di correggere gli errori di percorso intrapresi, con il rischio di far imboccare all'umanità la strada del non ritorno. Travis Bradford individua l'energia solare quale unica e ineluttabile scelta per modificare il percorso di sopravvivenza dell'umanità, generando nuove economie basate sul miglioramento delle tecnologie di produzione fotovoltaica e sul potenziamento dei sistemi a rete che consentono di superare il problema dell'immagazzinamento dell'energia che, come è noto, può essere prodotta solo durante le ore di luce.

Alla base di questo sviluppo Travis Bradford pone l'accento sul Sistema Energetico Decentrato, ossia un paradigma tecnologico secondo cui l'energia, anziché essere prodotta da grandi impianti e poi trasportata localmente attraverso una rete, viene prodotta in loco con una miriade di piccole unità produttive interconnesse e vicine all'utilizzatore finale; tutto ciò grazie appunto alla tecnologia solare, che consente la coincidenza spaziale tra produttore e consumatore.

I sistemi incentivanti che possono dar luogo a una crescita del mercato delle energie rinnovabili si basano sul presupposto dell'obbligatorietà, posta a carico delle società elettriche, di accettare l'immissione in rete di energia prodotta da questi sistemi a tariffe preferenziali prefissate, modulate in maniera tale da garantire a colui che ha installato un impianto a energia rinnovabile di poter beneficiare di vantaggi economici a compensazione parziale del costo dell'impianto. Parallelamente alle politiche di beneficio economico (anche generato attraverso crediti di imposta sull'investimento o sulla produzione, e sulla deducibilità fiscale per i consumatori), un altro strumento molto incisivo per generare competitività tra le produzioni energetiche a fonti fossili e quelle a fonti rinnovabili risiede nel principio della penalizzazione dell'inquinamento prodotto.

Questo principio si basa sulla negoziabilità dell'emissione, ossia la “messa a mercato dell'inquinamento” tra soggetti che, attraverso particolari sistemi produttivi e tecnologici, hanno ridotto le emissioni di biossido di carbonio e di altri gas serra, e altri che per svariate ragioni non lo hanno fatto; tutto ciò entro regole economiche governative basate sul raggiungimento di obiettivi generali di “disinquinamento” dell'atmosfera.

Esistono poi altri sistemi che possono essere attuati dai Governi per incentivare la riduzione delle emissioni di gas climalteranti: ad esempio fare leva su politiche fiscali come quelle definite nella *carbon tax*, ossia un sistema di imposte basato sull'unità di carbonio emessa che valorizza l'impiego di sistemi di produzione eco-compatibili. Risulta evidente che l'adozione di misure di favore per chi riduce le emissioni e di penalizzazione per chi invece non lo fa – se gestito responsabilmente e se seriamente verificato da parte di chi è deputato a farlo – ingenera nel mercato della tecnologia virtuosi processi di ricerca e di sviluppo scientifico e applicativo, che si palesano come una nuova economia alternativa a quella attuale, basata sul falso assioma della perenne disponibilità energetica a basso costo.

Occorre a questo punto sottolineare che il ricorso a sistemi di produzione energetica alternativi agli attuali basati sull'uso di carbone, petrolio e gas naturale, da soli non bastano a ricondurre il livello di emissioni a valori tali da garantire la messa in sicurezza del pianeta rispetto agli scenari e agli effetti del suo surriscaldamento nei prossimi 50 o 100 anni. Serve soprattutto un'inversione di tendenza sul piano del consumo energetico, agendo laddove questo può essere drasticamente ridotto con azioni che, all'apparenza complicate, si rivelano alla luce dei fatti molto semplici. Tra queste ricordiamo l'importanza del risparmio energetico in edilizia, attuato soprattutto con la riqualificazione del patrimonio esistente, fortemente energivoro.

Per tornare al tema che sta alla base delle nuove prospettive energetiche non si può non richiamare quanto recentemente analizzato con grande lucidità dai due economisti Nicholas Stern e Guido Viale ^(b). Nicholas Stern, su incarico del Ministero del Tesoro britannico, ha elaborato uno studio rivolto non già a

specialisti e accademici interessati dei problemi ambientali ma al mondo della politica e dell'economia, agli imprenditori e, in generale, a tutti coloro che occupano posizioni di responsabilità nel panorama della *governance* di processi che hanno relazioni con questi temi. Il Rapporto si conclude con la considerazione che i costi di un'azione tempestiva ed efficace per il contenimento delle emissioni climalteranti sarebbero inferiori a quelli da sostenere nell'ipotesi di non agire in tale senso. Detto in maniera più chiara: “ignorare il cambiamento climatico potrebbe portare a effetti negativi sulla crescita economica in tutte le regioni del mondo” ^(c).

L'attuazione delle azioni, secondo Stern, dovrà avvenire attraverso modelli cooperativi, sia in ambito finanziario che tecnologico, a livello globale, stabilendo limiti locali di emissione; dopo il 2020 la Comunità Internazionale dovrà essere parte di un vero e proprio sistema di *cap and trade* basato su accordi di tipo tecnologico. Nelle istruzioni per l'attuazione dei piani d'azione del suo Rapporto, Nicholas Stern pone l'accento sulla necessità di

un'intensa attività di monitoraggio, di verifica e di certificazione dei risultati conseguiti, con il fine di creare un clima di fiducia nelle iniziative intraprese.

Guido Viale fonda la sua analisi sul principio secondo il quale l'economia degli idrocarburi e del carbone rappresenta un sistema centralizzato, in cui la questione del decentramento tra il luogo di produzione o estrazione della materia prima e l'utente finale è il nodo cruciale della criticità del sistema stesso. Con logica opposta, suggerisce invece l'impiego di sistemi energetici a fonte rinnovabile, con luoghi di produzione e di consumo connessi da un sistema che sarà tanto più efficiente quanto più risulterà distribuito sul territorio.

Le nuove prospettive energetiche, sempre secondo Viale, basate sulla riconversione ecologica del mondo produttivo, della missione della politica, dell'economia e della società, si fondano pertanto su una nuova visione locale e territoriale del problema, dove responsabilità e azione si fondono in un unico obiettivo ecologico.



Copertura con pannelli fotovoltaici

Note

a) Travis Bradford è stato il fondatore nel 2003 del Prometheus Institute for Sustainable Development di New York, di cui è presidente e direttore. L'Istituto è un'organizzazione no-profit per lo studio dello sviluppo delle tecnologie sostenibili. Bradford, esperto di economia e manager di numerose compagnie pubbliche e private, ha tenuto lezioni presso le maggiori Università degli Stati Uniti tra cui la Columbia University e Harvard.

b) Nicholas Stern è stato ai vertici della Banca Mondiale e consulente economico del governo inglese. Presidente del Grantham Research Institute on Climate Change and the Environment, oltre che del Centre for Climate Change Economics and Policy presso la Leeds University, è diventato

famoso per aver curato la pubblicazione nel 2006 di quello che viene denominato “Rapporto Stern”, uno studio sull'individuazione delle misure da attuare in campo economico e sociale per far fronte al problema del riscaldamento globale.

Guido Viale, economista, giornalista e scrittore, da tempo propugna con forza una riconversione dell'industria produttiva e dell'economia in generale che ponga al centro la questione ambientale quale motore di sviluppo; è esponente dell'associazione A.l.b.a. (Alleanza lavoro beni comune ambiente).

c) Carlo Carraro, in “La Stern Review (...)”, prefazione a: Nicholas Stern, *Clima è vera emergenza*, pag. 11.

► | 7.2 | Fonti di energia alternative e rinnovabili

Se anche nel comparto dell'edilizia occorre ragionare sull'energia prodotta da fonti alternative, è ancor più importante impegnarsi sul fronte della riduzione dei consumi degli edifici, obiettivo certamente possibile e di gran lunga auspicabile. Per energie rinnovabili intendiamo quelle fonti di produzione energetica che, dopo aver utilizzato la materia per la generazione energetica, non lasciano condizioni di irreversibilità all'ambiente, contribuendo piuttosto alla rigenerazione delle sue parti. Con la definizione di "rinnovabile" intendiamo qualcosa che si rende nuovo (dal latino "re-novare"): ci piace sottolineare questo concetto di "nuovo", ricordando come per ricavare energia da fonti rinnovabili si utilizzino oggi sistemi tecnologici innovativi rispetto a quelli sperimentati e usati nel passato.

Oggi l'alternativa energetica in ambito edilizio è legata al ciclo fossile: carbone, petrolio e gas naturale sono i vettori energetici di gran lunga più utilizzati grazie al loro basso costo rispetto al



potere energetico erogato, e questo nonostante i notevoli costi di estrazione, trasporto e distribuzione. La tendenza verso la riduzione della loro disponibilità è un fatto conclamato e a un dato momento si esauriranno, ma fino a quel momento i costi per il loro utilizzo subiranno le inesorabili regole del mercato: ciò che è raro è caro. Ecco allora che il problema di una scelta alternativa all'impiego delle riserve fossili potrà trovare maggiori motivazioni se alla mera questione economica si aggiungerà il problema ancora maggiore dell'innalzamento della temperatura del pianeta e del clima in generale.

L'energia "alternativa" non è quindi solo un'alternativa ma diventa un'esigenza, e forse sarebbe molto più opportuno definir-la "energia ineluttabile, inevitabile, imprescindibile".

7.2.1 La geotermia

Anzitutto occorre premettere che vengono definiti due tipi di geotermie: quella che si basa sullo sfruttamento del calore naturale della Terra dovuto all'energia termica rilasciata in processi geologici vulcanologici, e quella definita a "bassa entalpia" e cioè che sfrutta il sottosuolo quale serbatoio termico da cui estrarre calore durante la stagione invernale e al quale cederne durante la stagione estiva.

Il primo tipo di geotermia è normalmente destinato alla produzione di energia elettrica, come per esempio nella zona delle colline metallifere in provincia di Pisa dove, in località Lardarello, un impianto dell'ENEL produce circa il 10% dell'energia elettrica mondiale da fonte geotermica^(d). Vi sono poi altri usi del primo tipo, quali quelli a scopi termali (Acqui Terme in Piemonte, Abano Terme in Veneto) ma anche quelli per l'utilizzo diretto del calore a fini di riscaldamento, che però richiede l'investimento di ingenti capitali a causa dei costi iniziali di trivellazione e di distribuzione e controllo.

Il secondo tipo di geotermia, definito a "bassa entalpia", consente a qualsiasi edificio, in qualsiasi luogo della terra e con qualsiasi tipo di sottosuolo, di riscaldarsi e raffreddarsi. La condizione prioritaria per scegliere un impianto a produzione di calore geotermico a bassa entalpia è che il fabbisogno energetico dell'edificio sia sufficientemente basso, e che quindi l'impianto richieda bassi costi di realizzazione contenuti. Analizziamo sommariamente il funzionamento dell'impianto geotermico a bassa entalpia: si tratta di un impianto di climatizzazione per gli edifici che sfrutta lo scambio termico con il sottosuolo superficiale, per mezzo di un accessorio chiamato "pompa di calore"; la pompa di calore permette di scambiare il calore tra il terreno e l'interno dell'edificio, sia in modalità di riscaldamento che in modalità di raffreddamento. Nella modalità di riscaldamento, l'edificio (ovvero il circuito dei terminali di riscaldamento) rappresenta il "pozzo caldo"; viceversa, nella modalità di raffreddamento l'edificio è la "sorgente fredda" dalla quale viene estratto il calore.

Il vantaggio economico ed energetico della pompa di calore è dato dal rapporto tra il calore immesso o estratto dall'edificio e il consumo di energia (solitamente elettrica) necessario per rendere attivo l'impianto; questo rapporto è detto COP (*Coefficient Of Performance*) e per le pompe di calore geotermiche è normalmente compreso fra 3 e 6.

Note

(d) Fonte: Unione Geotermica Italiana, in: Mary H. Dickson and Mario Fanelli, *Cos'è l'Energia Geotermica?*, Istituto di Geoscienze e Georisorse, CNR, Pisa, Italy, 2004

7.2.2 L'energia eolica

L'energia eolica è quell'energia che dalla conversione dell'energia cinetica prodotta dal movimento di pale mosse dal vento si trasforma in altra forma di energia, prevalentemente elettrica. Per lo sfruttamento intensivo di questo tipo di energia vengono realizzati i cosiddetti "parchi eolici" che consistono nell'insieme di installazioni collocate in posizioni favorevoli dal punto di vista meteorologico, ossia in luoghi dove le correnti d'aria siano il più possibile costanti. Spesso vengono realizzate installazioni in piccola scala, dette *stand-alone*, allo scopo di soddisfare singole utenze a limitata richiesta elettrica. Questa fonte energetica può considerarsi una valida alternativa ai tradizionali combustibili fossili, dal momento che molte zone del pianeta risultano ventose e adatte a questa applicazione, che può considerarsi a tutti gli effetti una energia pulita: non vi è infatti produzione di gas a effetto serra durante l'esercizio. Alcune osservazioni critiche possono invece essere avanzate circa i metodi di produzione della componentistica, generalmente in alluminio. Uno svantaggio degli impianti eolici è rappresentato dalla possibile intermittenza di produzione, dovuta alla variabilità delle condizioni meteorologiche: ciò nonostante questo sistema è in continua evoluzione e la sua adozione in rapido aumento. La produzione dell'energia elettrica avviene per mezzo di un generatore ad asse verticale od orizzontale, e con potenza prodotta sino a 5-6 Mw nei casi di maggiore efficienza. La velocità del vento minima necessaria per il funzionamento di un impianto eolico è di circa 3-5 m/sec mentre quella di esercizio è intorno ai 12-14 m/sec. Quando il vento raggiunge alte velocità (20-25 m/sec), per ragioni di sicurezza, il sistema di aerogenerazione viene fermato mediante veri e propri freni di bloccaggio del rotore, o con altri metodi detti "di stallo" che annullano l'esposizione al vento delle pale. Vi sono poi alcuni tipi di generatori a pale mobili che consentono di seguire la direzione del vento rendendo più costante la produzione, e altri a doppia elica che permettono di raddoppiare la potenza elettrica.

Un generatore eolico ad asse orizzontale, detto *Horizontal Axis Wind Turbine*, è costituito da una torre di acciaio con altezze comprese tra i 60 e i 100 m alla cui sommità è collocata la cosiddetta "gondola", ossia un contenitore dentro il quale è collocato il rotore elettrico che viene messo in funzione dal movimento delle pale. Queste ultime hanno una lunghezza variabile tra i 20 e i 60 m: queste dimensioni sono tipicamente utilizzate per l'impiego a terra, detto *on-shore*, mentre per l'impiego in ambiente marino, detto *off-shore*, si possono raggiungere dimensioni delle pale e altezze della torre anche superiori. Un generatore eolico ad asse verticale, detto *Vertical Axis Wind Turbine*, è costituito nella sua struttura da un numero limitato di parti mobili, il che garantisce una maggior resistenza alle forti raffiche di vento, conferendo a questo sistema la peculiarità di sfruttare l'azione del vento in qualsiasi direzione di provenienza. Questo tipo di generatore risulta molto versatile e particolarmente adatto a un uso residenziale domestico, con una produzione centralizzata di energia elettrica nell'ordine di un megawatt.

7.2.3 Il micro-eolico

Un'applicazione interessante per la produzione di energia eolica è rappresentata dai piccoli impianti cosiddetti micro-eolici: producono energia al di sotto dei 100 kw di potenza e sono adatti per un utilizzo domestico, avendo un rendimento inferiore a quelli di dimensioni maggiori.

La maggior parte dei microgeneratori ad asse orizzontale è realizzata con il sistema a tre pale in poliestere di vetro rinforzato e in carbonio; i timoni direzionali in dotazione consentono al rotore l'orientamento nella direzione del vento. Gli impianti micro-eolici possono essere utilizzati per applicazioni speciali quali la nautica, l'alimentazione di sistemi di pompaggio, la produzione elettrica per singole utenze in zone dove non è possibile portare le linee elettriche. I principali vantaggi di questo tipo di applicazione sono la flessibilità d'uso e la semplicità di installazione.



► 7.2 | Fonti di energia alternative e rinnovabili

7.2.4 Impianti a energia solare

L'energia del sole può essere sfruttata per produrre elettricità o calore; nel primo caso vengono impiegati i pannelli fotovoltaici, nel secondo i cosiddetti pannelli a solare termico.

I pannelli fotovoltaici sfruttano le intrinseche capacità di produrre energia elettrica da parte dei semiconduttori, quando questi vengono sollecitati dalla luce; la produzione elettrica è immediata. Alla base del funzionamento vi è la cella fotovoltaica, costituita da una lamina di materiale semiconduttore (il più diffuso dei quali è il silicio) che si presenta di colore blu o nero e con dimensioni variabili dai 4 ai 6 pollici; il rendimento della cella fotovoltaica si calcola valutando il rapporto tra l'energia elettrica prodotta dalla cella e l'energia della radiazione solare che investe l'intera superficie. I pannelli hanno rendimenti variabili tra il 12% e il 15% a seconda che siano in pellicola sottile o in silicio cristallino, ma sono in commercio anche pannelli realizzati con celle a multipla giunzione e con contatti elettrici sul retro della cella, che raggiungono rendimenti sino al 20%; la durata di vita della cella è di circa 30 anni. I pannelli fotovoltaici non hanno necessità di manutenzione non essendovi parti in movimento; occorre invece un'azione costante di pulizia della superficie esposta al sole per favorirne il rendimento. Il limite di questa applicazione sta nel suo funzionamento limitato solo alle ore di luce e alla difficoltà di immagazzinamento dell'energia elettrica, che però può essere introdotta nella rete di distribuzione con funzione di accumulatore.

I pannelli a solare termico, detti anche collettori termici, funzionano secondo il principio dell'effetto serra, secondo il quale un fluido all'interno di un corpo chiuso da una lastra di vetro esposta all'irraggiamento solare viene riscaldato. Il fluido, così riscaldato, si muove per convezione all'interno in un circuito, producendo uno scambio termico tra il fluido stesso e l'acqua contenuta all'interno di un serbatoio di accumulo. Questo è il caso denominato "a circolazione naturale" o "a termosifone"; l'acqua all'interno del serbatoio, riscaldata dal circuito del pannello solare, si sposta verso l'alto da dove viene estratta per l'impiego domestico, mentre nella parte bassa del serbatoio avviene l'immissione di acqua fredda. Questo sistema richiede la presenza del serbatoio di accumulo in prossimità del collettore, condizione questa non sempre realizzabile. Per ovviare ai problemi di localizzazione del serbatoio di accumulo sono stati prodotti sistemi a circolazione forzata, nei quali il liquido che produce lo scambio termico è mosso fino al serbatoio di accumulo dal lavoro di pompe idrauliche; ciò consente un'ottimizzazione del sistema stesso, potendo utilizzare serbatoi di maggiore capacità e pannelli captanti di più ampia superficie. I pannelli a circolazione forzata presentano il vantaggio di una maggiore flessibilità di impiego, non dovendo essere collocati in prossimità del serbatoio di accumulo, e possono essere resi complementari ad altri sistemi di riscaldamento dell'acqua o integrativi dell'impianto di riscaldamento. La tecnologia per la realizzazione dei collettori termici comprende i tipi piani non vetrati o scoperti, quelli vetrati, quelli selettivi e non selettivi, quelli sottovuoto a tubo U e *heat pipe*.

7.2.5 L'energia dalle maree

L'energia prodotta dalle maree, o energia mareomotrice, viene generata dallo spostamento di grandi quantità d'acqua a causa dall'alternanza delle maree. La produzione di energia avviene secondo quattro tipi di sistemi impiantistici:

- a sollevamento;
- a compressione d'aria;
- a movimento di pale;
- a riempimento e svuotamento di invasi.

Quest'ultimo caso è quello maggiormente utilizzato e funziona grazie all'attraversamento forzato del flusso di marea entro turbine a bulbo reversibili, che producono energia elettrica sia durante la fase di afflusso che durante quella di deflusso dell'acqua.

L'impiego di questo tipo di impianti di produzione energetica ha varie limitazioni: la loro diffusione è limitata alle zone di costa soggette a significative maree, i costi per la realizzazione sono elevati e non si può garantire la produzione energetica in maniera costante. Questi impianti possono provocare fenomeni di erosione delle coste e, se collocati alla foce dei fiumi, la tendenza alla sedimentazione degli inerti a monte dell'invaso, con la conseguente necessità di costanti interventi manutentivi. Vengono inoltre riscontrate condizioni di disturbo agli ecosistemi e alla fauna ittica.



7.2.6 L'energia idroelettrica

L'energia da fonte idroelettrica viene prodotta grazie alla trasformazione dell'energia gravitazionale dell'acqua che, da una certa quota, dopo essere stata canalizzata viene fatta precipitare a una quota inferiore e trasportata alle turbine. L'energia gravitazionale è così convertita in energia cinetica, che muove le pale delle turbine a cui sono accoppiati gli alternatori che a loro volta generano l'energia elettrica. La produzione di energia avviene per mezzo di tre tipi di impianto: quello cosiddetto ad acqua fluente, quello a vaso e quello a pompaggio.

Centrali idroelettriche ad acqua fluente

Questi impianti vengono realizzati lungo fiumi o torrenti, senza deviazione del loro corso ma con opere idrauliche di regolazione. Queste centrali non hanno salti d'acqua particolarmente elevati e sono a funzionamento continuo per soddisfare un fabbisogno energetico di base.

Centrali idroelettriche a vaso

Sfruttano il dislivello tra un lago artificiale alimentato da un affluente naturale – in genere di portata limitata – e una centrale idroelettrica posta a valle di questo. L'acqua viene canalizzata dentro condotte forzate o gallerie, e portata alle turbine collocate all'interno della centrale idroelettrica. Queste centrali non hanno un funzionamento continuo e vengono impiegate per coprire il maggior fabbisogno energetico dei periodi di punta.

Centrali idroelettriche a pompaggio

Le centrali idroelettriche a pompaggio utilizzano due bacini, l'uno superiore e l'altro inferiore. Il funzionamento durante il periodo di richiesta energetica corrisponde a quello degli impianti a unico vaso, ma durante le ore in cui la richiesta energetica è ridotta l'acqua viene pompata dal bacino inferiore a quello superiore al fine di creare un accumulo idrico riutilizzabile; di norma ciò avviene nelle ore notturne. La reversibilità di questo tipo di impianti e i generatori che sono in grado di attivarsi istantaneamente consentono di bilanciare le oscillazioni a cui è sottoposta la rete elettrica.

La realizzazione di impianti idroelettrici, benché producano una considerevole quantità di energia senza l'emissione di gas climalteranti, pone un serio problema ambientale: infatti la necessità di realizzare l'invaso, con relative opere idrauliche di sbarramento e regolazione del corso d'acqua, costituisce un'alterazione irreversibile dello stato dei luoghi, con conseguenti danni all'ecosistema vegetale e animale. La dimensione del problema ecologico, anche se limitato a una ristretta area geografica, dipende dalla grandezza dell'impianto: le valutazioni di impatto ambientale debbono quindi essere accuratamente soppesate in ragione del beneficio energetico prodotto.

7.2.7 Le biomasse

Le biomasse che possono essere impiegate ai fini energetici comprendono i materiali organici utilizzabili direttamente come combustibili, o quelli che sono suscettibili di trasformazione in combustibili liquidi o gassosi, da impiegare in impianti di conversione, per un utilizzo maggiore e più efficiente. Nella definizione di "biomassa" si comprendono i materiali, anche non omogenei, residui della manutenzione boschiva, gli scarti industriali della lavorazione del legno, le deiezioni animali delle aziende zootecniche, gli scarti della produzione del mais (stocchi, brattea, midollo e foglie).

In generale si possono definire biomasse tutti i materiali di origine organica provenienti da reazioni fotosintetiche. L'impiego delle biomasse per la produzione di energia si può considerare, in termini di bilancio di CO₂, pressoché alla pari, in quanto le emissioni in atmosfera a seguito dei processi di combustione sono equivalenti all'assorbimento dell'anidride carbonica da parte della pianta nella sua fase di crescita.

La produzione di energia da biomassa dipende dalle caratteristiche chimico-fisiche della biomassa stessa, da cui deriva la scelta tecnologica più opportuna; le biomasse fermentescibili possono essere convertite in gas attraverso il procedimento di digestione anaerobica, mentre quelle lignocellulosiche possono essere utilizzate direttamente come vettore combustibile oppure gassificate per ottenere il combustibile detto "syngas". Sia il biogas che il syngas si possono impiegare nell'alimentazione di sistemi cogenerativi di piccole dimensioni, per la produzione di energia elettrica e calore. Il biogas, se sottoposto a trattamenti di purificazione e di eliminazione dell'anidride carbonica, può essere anche impiegato per l'immissione nella rete del gas naturale.





TIPOLOGIE DI IMPIANTI TECNOLOGICI

“Il cambiamento climatico è un dato di fatto.
E quando i figli dei nostri figli ci guarderanno negli occhi
e ci chiederanno se abbiamo fatto tutto quello che potevamo
per lasciare loro un mondo più sicuro e più stabile,
con nuove risorse energetiche,
voglio poter dire - sì lo abbiamo fatto -”.

Barack Obama, presidente U.S.A.

8

► | 8.1 | Tipologie di impianti di riscaldamento

Nella progettazione di un edificio energeticamente efficiente l'impianto di riscaldamento merita una particolare attenzione. Contrariamente a quanto avveniva in passato – quando era l'indiscusso "cuore termico pulsante" della casa – oggi l'impianto di riscaldamento (e raffrescamento) ha un ruolo più sottile e integrato: funge infatti da complemento essenziale a tutti gli altri accorgimenti che garantiscono il bilancio energetico dell'edificio contribuendo a mantenere i livelli di comfort interno, previsti dalla legge e ottenuti minimizzando le perdite dell'involucro e massimizzando gli apporti passivi. L'impianto deve essere quindi ben progettato e adattato alla situazione di questo o quell'edificio, con una precisa aderenza ai fabbisogni e agli specifici usi.

Nel vasto panorama dell'efficienza energetica l'impiantistica assume quello che, in ambito medico, è il ruolo della microchirurgia: entrambe intervengono con l'alta specializzazione più che con la grande invasività. Ecco dunque la necessità, per i progettisti di impianti, di acquisire un'approfondita conoscenza dei sistemi di produzione energetica alternativa e rinnovabile, dei sistemi di distribuzione, riscaldamento e raffrescamento non convenzionali, dell'impiantistica elettrica protetta a garanzia dei problemi sanitari indotti dai campi magnetici, dell'illuminotecnica a basso consumo e della domotica per il controllo e gestione dell'efficienza. Senza dimenticare i sistemi per la gestione della ventilazione meccanica controllata che, nell'ambito dell'efficienza energetica, garantiscono anche fondamentali requisiti di comfort ambientale.

Nella progettazione dell'efficienza energetica in edilizia il ruolo dell'impianto di riscaldamento assume una grande importanza poiché, contrariamente a quanto avveniva in passato, esso non deve più essere considerato la forza motrice del sistema edilizio ma semplicemente il componente di garanzia del bilancio energetico dell'edificio nel quale, minimizzate le perdite dell'involucro e massimizzati gli apporti passivi, fornisce l'energia necessaria al mantenimento del livello di comfort interno. L'impianto deve essere quindi ben progettato e adattato alla situazione di questo o quell'edificio; con una precisa aderenza ai fabbisogni e agli specifici usi.

La valutazione dell'efficienza energetica deve tener conto anche dell'efficienza degli impianti e della loro sostenibilità. Come parametro di misurazione dell'efficienza complessiva si può considerare l'indice di emissione di CO₂ in atmosfera.



Per ogni edificio deve essere quindi valutato il fabbisogno di energia primaria, che dipende dai seguenti fattori:

- dal fabbisogno energetico per ciascun utilizzo specifico interno all'edificio (riscaldamento, raffrescamento, ventilazione, produzione di acqua calda sanitaria, illuminazione artificiale, etc.)
- dall'efficienza intrinseca di ciascun sistema impiantistico adottato e quindi dal rendimento dell'intero sistema, tenendo conto delle perdite al momento della produzione, della distribuzione, della regolazione, etc.
- dalla tipologia del vettore energetico utilizzato.

Il minor fabbisogno energetico proprio dei sistemi impiantistici efficienti, in particolare quelli che adottano risorse rinnovabili, contribuisce quindi alla riduzione del fabbisogno di energia primaria e delle conseguenti emissioni di gas climalteranti. Vediamo quale impiantistica può ritenersi coerente con i principi prima esposti, e come i sistemi tecnologici possano essere impiegati nella maniera più efficiente. Prendiamo quindi in esame le due famiglie: quella dei sistemi di produzione e quella dei sistemi di distribuzione.

► | 8.2 | Sistemi di produzione

Caldaia a condensazione

I sistemi per la produzione del calore più noti sono quelli a caldaia; la caldaia è un apparecchio dentro il quale avviene una combustione grazie alla presenza di un vettore energetico e uno scambio termico tra il calore prodotto e il fluido che circola nell'impianto di distribuzione vero e proprio.

Le caldaie in genere più utilizzate sono quelle con alimentazione a gas metano, che oggi vengono prodotte con sistemi ad alta efficienza denominati "a condensazione"; utilizzano una fonte fossile, con produzione di fumi contenenti gas a effetto serra che occorre limitare drasticamente. Vediamo come funzionano questi sistemi.

La tecnologia della condensazione consente di utilizzare, oltre al calore generato per combustione all'interno della caldaia, anche quello recuperato dai fumi di scarico attraverso il raffreddamento degli stessi con un processo di condensazione del vapore acqueo contenuto. Questi tipi di caldaie hanno rendimenti sensibilmente maggiori rispetto a quelle tradizionali, consentendo risparmi energetici dell'ordine del 15%, a parità di funzionamento. Recuperare il calore dal vapore acqueo dei fumi di combustione (circa 1,6 kg per m³ di gas) che vengono dispersi in atmosfera significa riutilizzare un'energia pari a circa l'11% di quella normalmente prodotta dalla combustione, che altrimenti verrebbe sprecata. Durante l'espulsione i fumi di combustione vengono raffreddati al di sotto del punto di rugiada e il calore così recuperato viene impiegato per preriscaldare l'acqua di ritorno dall'impianto.

La temperatura dei fumi in uscita dopo il recupero è prossima a quella dell'acqua di mandata, e notevolmente più bassa rispetto a quella che verrebbe generata con normali procedimenti di combustione, il che consente l'impiego di camini di scarico in materiale polimerico anziché in acciaio coibentato.

Recentemente si è applicata la tecnologia della condensazione anche alle caldaie a gasolio migliorandone sensibilmente il rendimento. Fino ad alcuni anni or sono non era possibile utilizzare questo tipo di apparecchiature in quanto i fumi di scarico della combustione del gasolio contenevano percentuali, seppur piccole, di zolfo che unito all'acqua di condensazione produceva acido solforico, particolarmente aggressivo per i metalli.

Biomassa legnosa

Il legno è un ottimo vettore energetico in quanto rinnovabile: permette la conversione dell'energia solare che è stata assorbita dall'albero durante la sua crescita, in energia termica durante la combustione. Per quanto concerne le emissioni di anidride carbonica in atmosfera la biomassa legnosa può dirsi neutrale: infatti l'emissione rilasciata durante la combustione corrisponde a quella assorbita dalle piante nel corso della crescita. Un altro fattore, di estrema importanza nell'impiego delle biomasse legnose ai fini della produzione energetica, risiede nella possibilità di utilizzo di materia prima locale, con bilancio favorevole rispetto a risorse per le quali sia necessario un forte investimento nei trasporti. Le moderne caldaie a biomassa legnosa garantiscono la riduzione dei fattori inquinanti in emissione grazie all'utilizzo del principio della "combustione e post-combustione", che prevede l'immissione di flussi separati di aria comburente, l'uno per l'alimentazione della combustione principale al braciere, l'altro per la combustione dell'ossido di carbonio CO (post-combustione) presente nei fumi generati dalla combustione principale. In tal modo oltre a ridurre l'emissione inquinante viene aumentato il rendimento dell'apparato. Un'altra condizione essenziale per ottenere alti rendimenti e basse emissioni è che il materiale da ardere sia molto ben essiccato; questa condizione può essere ottenuta, a seconda del prodotto, attraverso procedimenti di essiccazione in serre solari, in tamburi di essiccazione, in essiccatori ad aria calda e ad aria deumidificata, sotto vuoto, a centrifugazione, etc. I prodotti utilizzati in una caldaia a biomassa legnosa sono sostanzialmente di tre tipi: il legname a pezzi, il cippato di legna e il pellet. Il legname a pezzi è un ottimo combustibile, a patto che sia stato privato dell'umidità presente dopo il taglio; un legno stagionato perde infatti oltre il 60% della sua umidità, così se la legna verde può contenere anche il 75% di umidità rispetto alla sua massa, il legno secco ne contiene solo il 12-20%. Il cippato di legna è il prodotto dello sminuzzamento di legna vergine o di scarti di lavorazione ed è normalmente utilizzato per l'alimentazione di impianti automatici. La fonte da cui viene prodotto un cippato di legna può essere molto varia e quindi può risultare assai diverso anche il tenore di umidità presente nel prodotto finale: occorre pertanto un accurato controllo della produzione che verifichi anche l'assenza totale di prodotti dannosi alla salute quali vernici e colle. Il pellet, un prodotto apparso più recentemente, si presenta sotto forma di piccoli cilindri ottenuti in un apposito impianto mediante pressatura della segatura di legno, tenuta assieme dalla capacità legante della lignina. Il pellet ha un bassissimo contenuto di umidità e quindi presenta un elevato potere calorifico con ridotta formazione di cenere; le fasi della produzione di pellet sono la raccolta, l'essiccazione, la miscelazione, la macinatura grossolana o polverizzazione, la pressatura, il raffreddamento del prodotto e l'insacco. I costi di impianto per la produzione di pellet sono considerevoli e possono essere presi in considerazione con ottime economie di gestione quando sono complementari ad altri settori produttivi nella filiera del legno.

► 8.2 | Sistemi di produzione

Caldaia a legname a pezzi

Una caldaia a gassificazione per ceppi di legna è normalmente costituita dalle seguenti parti:

- vano di riempimento della legna a pezzi con sottostanti camere di combustione
- ugelli di immissione dell'aria comburente
- scambiatore di calore
- ventilatore di aspirazione dei fumi
- sonda Lambda per il controllo della combustione
- cassonetto per la cenere
- sistemi di regolazione.

Il funzionamento prevede il carico della legna da ardere dentro il vano di riempimento e la sua accensione; la combustione primaria avviene sulla parte inferiore del vano di riempimento (camera di combustione) con la produzione dei gas di combustione che a loro volta vengono attivati con l'adduzione di aria (combustione secondaria) in ambiente a temperatura elevatissima. Il calore prodotto dalla combustione viene condotto agli scambiatori che permettono di scaldare l'acqua del circuito di riscaldamento. L'immissione dell'ossigeno di combustione avviene mediante la sonda Lambda che consente di controllare e regolare il processo di combustione. Un limite di questa tecnologia risiede nella necessità di alimentazione manuale e a intervalli regolari dell'apparato e nella restrizione del sistema di regolazione.

Caldaia a legname sminuzzato o cippato

L'esigua dimensione del prodotto destinato alla combustione consente il deposito anche di grandi quantità, e la conseguente possibilità di automatizzazione dell'approvvigionamento in caldaia ma anche di regolazione dell'intero sistema. Il cippato da introdurre in caldaia viene normalmente collocato in appositi locali adiacenti alla vera e propria centrale termica e lì condotto mediante un alimentatore meccanico interrotto all'ingresso alla caldaia da un apparato tagliafuoco; l'alimentazione può avvenire anche a caduta. Le caldaie a cippato sono dotate di apparecchiature per l'estrazione della cenere e il suo trasporto in opportuni serbatoi.

Caldaia a pellet

Le caldaie a pellet sono simili a quelle a legname sminuzzato, dalle quali si distinguono per la minore dimensione del materiale di approvvigionamento e per la sua maggiore regolarità dimensionale, unita al basso contenuto di umidità residua. Il pellet, come prodotto per la combustione, garantisce alcuni vantaggi quali un più agevole trasporto alla caldaia dal luogo di deposito, una regolabilità dell'apparecchiatura, una minore possibilità di inceppamento degli organi meccanici, un più agevole approvvigionamento, essendo distribuito anche in sacchi oltre che con autoveicoli a serbatoio.

Pompe di calore

Le pompe di calore sono apparati che, sfruttando l'energia solare accumulata nell'ambiente circostante a un edificio, sono in grado di produrre calore per il suo riscaldamento; in sostanza sono macchine che trasferiscono l'energia termica da una sorgente a bassa temperatura a un'altra a temperatura maggiore, tale da poter essere impiegata per il riscaldamento.

Le pompe di calore si distinguono a seconda del loro metodo di funzionamento, ossia lo sfruttamento del principio del ciclo frigorifero a compressione oppure il metodo ad assorbimento mediante l'impiego di energia termica. Si differenziano inoltre a seconda del tipo di approvvigionamento termico a bassa temperatura, che può essere proveniente dall'acqua (di falda o da bacino), dal terreno o dall'aria.

Una pompa di calore è formata da un circuito chiuso percorso da un liquido frigorifero che, in funzione delle condizioni di temperatura e di pressione in cui si trova, assume lo stato liquido o quello di vapore. Il circuito della pompa di calore è costituito da un compressore, un condensatore, una valvola di espansione e un evaporatore.

Il condensatore e l'evaporatore presenti nella macchina sono apparecchi scambiatori di calore, e cioè una serie di tubi nei quali scorre il fluido frigorifero, posti a contatto con il fluido di servizio che può essere acqua o aria. Il fluido frigorifero cede il calore al condensatore e lo sottrae all'evaporatore. I componenti del circuito possono essere raggruppati in un unico insieme oppure divisi in due parti (sistemi "SPLIT") interconnesse con i tubi nei quali circola il fluido frigorifero. Durante il funzionamento il fluido frigorifero, all'interno del circuito, subisce le seguenti trasformazioni:

- Compressione: il fluido frigorifero che si trova allo stato gassoso e a bassa pressione, e che proviene dall'evaporatore, viene portato ad alta pressione; durante la compressione il fluido si riscalda assorbendo una certa quantità di calore.
- Condensazione: il fluido frigorifero, che proviene dal compressore, passa dallo stato gassoso a quello liquido cedendo calore all'esterno; questo calore alimenta il circuito di distribuzione del riscaldamento.
- Espansione: passando attraverso la valvola di espansione il fluido frigorifero liquido si trasforma parzialmente in vapore, raffreddandosi.
- Evaporazione: il fluido frigorifero assorbe calore dall'esterno ed evapora completamente.

L'insieme di queste trasformazioni costituisce il ciclo della pompa di calore: fornendo energia al fluido frigorifero mediante il compressore esso, all'interno dell'evaporatore, assorbe calore dal mezzo circostante per poi cederlo, attraverso il condensatore, al mezzo da riscaldare.

Durante il funzionamento la pompa di calore consuma energia elettrica nel compressore, assorbe calore nell'evaporatore

dal mezzo circostante (aria o acqua) e cede calore al mezzo da riscaldare nel condensatore (aria o acqua). Nel corso del suo utilizzo, la pompa di calore ha la capacità di fornire più energia (calore) di quella elettrica assorbita per il suo funzionamento: questa caratteristica determina l'efficienza della macchina, che è misurata dal coefficiente di prestazione "C.O.P."; quest'ultimo è il rapporto tra energia fornita (calore ceduto al mezzo da riscaldare) ed energia elettrica consumata.

Il C.O.P. è variabile in funzione del tipo di pompa di calore e delle specifiche condizioni di funzionamento; in genere ha valori prossimi a 3, ciò significa che per 1 kWh di energia elettrica consumata, fornirà 3 kWh (2580 kcal) di calore al mezzo da riscaldare. Il C.O.P. sarà tanto maggiore quanto più bassa è la temperatura a cui il calore viene ceduto (nel condensatore) e quanto più è alta quella della sorgente da cui viene assorbito (nell'evaporatore).

Il mezzo esterno dal quale viene estratto il calore è denominato *sorgente fredda*. In una pompa di calore il fluido frigorifero assorbe il calore dalla sorgente fredda per mezzo dell'evaporatore. Le più consuete sorgenti fredde, come prima già anticipato, sono l'aria esterna o interna al locale dove è installata la pompa e l'acqua di falda, di fiume o di bacino.

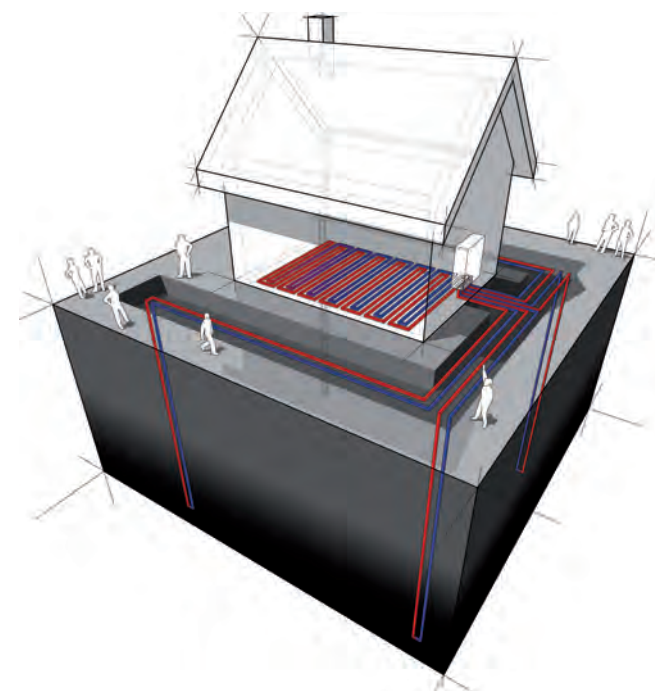
L'aria o l'acqua che la pompa di calore è chiamata a riscaldare sono dette *pozzo caldo*. Il fluido frigorifero cede al pozzo caldo sia il calore prelevato dalla sorgente fredda che l'energia fornita dal compressore per mezzo del condensatore. Il calore può essere ceduto all'ambiente interno attraverso ventilconvettori (apparecchiature nelle quali l'aria viene fatta circolare tra gli elementi scaldanti e poi immessa nell'ambiente), corpi scaldanti quali radiatori, serpentine inserite nel massetto di pavimentazione (pavimento radiante nel quale circola acqua calda), canalizzazioni di trasporto diretto del calore prodotto dalla pompa di calore ai diversi locali.

La denominazione della tipologia delle pompe di calore è in relazione al tipo di sorgente fredda e pozzo caldo utilizzati; avremo pertanto pompe aria-acqua, aria-aria, acqua-acqua, acqua-aria; vediamo alcuni elementi distintivi dei vari tipi:

- L'aria esterna utilizzata come sorgente fredda presenta l'indubbio vantaggio di essere disponibile sempre e ovunque, ma la potenza resa dalla pompa di calore con questa sorgente fredda diminuisce con l'abbassarsi della temperatura esterna, rendendo necessario un sistema di sbrinamento per le basse temperature.
- L'utilizzo di acqua come sorgente fredda ha il vantaggio di garantire maggior costanza nelle prestazioni della pompa di calore, in quanto le condizioni climatiche esterne sono influenti; tuttavia questo sistema richiede un maggior costo di realizzazione dovuto alla necessità di praticare perforazioni per la captazione.
- Il terreno utilizzato quale sorgente fredda presenta il vantag-

gio di consentire minori sbalzi di temperatura rispetto all'aria esterna. Possono essere realizzati circuiti orizzontali o verticali dentro i quali distribuire le tubazioni del liquido frigorifero. Quelle orizzontali devono essere interrate a una profondità non inferiore a 1 metro affinché non si risenta in maniera significativa delle variazioni di temperatura, mantenendo al contempo i benefici del calore prodotto dal soleggiamento. È normalmente necessario stendere le tubazioni su una superficie di terreno da 2 a 3 volte maggiore della superficie dei locali da riscaldare: questo comporta costi superiori proprio per la complessità dell'impianto da realizzare.

Un'importante caratteristica delle pompe di calore risiede nella loro possibilità di essere utilizzate anche nel ciclo inverso per il raffrescamento degli edifici durante la stagione calda.



Schema di un impianto geotermico

► 8.3 | Sistemi di distribuzione

Il calore, una volta generato, viene trasferito all'interno degli ambienti per mezzo di un sistema di distribuzione e quindi rilasciato con opportuni accessori che funzionano secondo i principi della convezione e dell'irraggiamento quali i radiatori e i massetti radianti, oppure ad aria pre-riscaldata all'interno di ventilconvettori. A partire dal generatore di calore, il fluido caldo corre entro tubazioni (in acciaio, rame o in polietilene multistrato) portando il calore ai terminali posti nei vari ambienti di soggiorno; l'insieme delle tubazioni costituisce l'impianto di trasporto che è dotato di particolari elementi per il sezionamento delle varie zone da riscaldare.

La convezione

È uno dei meccanismi di propagazione del calore caratteristico dei fluidi: la convezione avviene con moti macroscopici di materia all'interno del mezzo interessato alla propagazione (correnti convettive). Fornendo calore a un fluido, le molecole più prossime alla fonte del calore si propagano verso quelle più lontane e più fredde a causa della variazione della loro densità e, raggiunte le zone fredde, tornano a dirigersi verso quelle calde creando un moto circolare. La circolazione può essere di tipo naturale o forzato, se il movimento avviene con l'impiego di ausili quali le pompe di circolazione.

L'irraggiamento

Consiste nel trasferimento di energia tra due corpi non in contatto e per mezzo di onde elettromagnetiche, al contrario di quanto accade nella conduzione e nella convezione. Questo fenomeno avviene in qualunque stato della materia, sia essa solida che liquida o gassosa, e a ogni temperatura, ma solamente a quelle più elevate fornisce un contributo significativo allo scambio termico.

Radiatore

Il radiatore è costituito da un terminale in acciaio o in alluminio (un tempo si usava molto la ghisa), formato da una serie di elementi uguali e connessi gli uni agli altri, dentro i quali circola per convezione il fluido caldo (normalmente acqua); gli elementi in acciaio vengono a trovarsi a elevata temperatura e cedono il calore all'aria vicina, la quale, sempre attraverso moti convettivi, si distribuisce all'intero ambiente. I radiatori vengono normalmente collocati all'interno di ogni locale in numero e dimensione tale da soddisfare il mantenimento della temperatura dell'ambiente prevista per legge ($20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$); la temperatura di mandata dell'acqua riscaldante è compresa tra i 55 e i $75\text{ }^{\circ}\text{C}$ mentre quella di ritorno è compresa tra i 45 e i $65\text{ }^{\circ}\text{C}$. L'impianto a radiatori presenta vari vantaggi: flessibilità di adattamento dei terminali e delle tubazioni di distribuzione alle normali condizioni architettoniche e strutturali degli edifici, ridotta

dimensione degli elementi scaldanti e semplicità di regolazione dell'intero impianto. Per contro, gli svantaggi sono determinati soprattutto dall'elevata temperatura del fluido, che genera maggiori perdite termiche durante la distribuzione e la stratificazione verso l'alto dell'aria riscaldata all'interno degli ambienti.

Pavimento radiante

Il pavimento radiante è costituito da una tubazione distesa a serpentina, o a spirale, annegata dentro il massetto di calcestruzzo che sostiene il pavimento. La distanza tra le spire determina la capacità riscaldante del massetto. Dentro la tubazione scorre il liquido caldo che per conduzione riscalda il massetto il quale, grazie alla propria capacità di accumulo termico e di inerzia, rilascia il calore per irraggiamento all'ambiente. Ogni locale dell'edificio viene dotato di un pavimento radiante, dimensionato sulla base del volume da riscaldare. La temperatura di mandata dell'acqua riscaldante è compresa tra i 28 e i $42\text{ }^{\circ}\text{C}$ mentre quella di ritorno è compresa tra i 24 e i $38\text{ }^{\circ}\text{C}$. La temperatura superficiale massima a pavimento prevista dalla legge è di $29\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Tra i vantaggi di questo sistema si annoverano la positiva percezione di benessere all'interno dell'ambiente riscaldato, dovuta alla trasmissione del calore prevalentemente per irraggiamento: ciò si manifesta anche quando la temperatura dell'aria è più bassa di quella riscaldata da impianti a convezione. Inoltre, con il sistema a pavimento radiante non si hanno fenomeni di stratificazione dell'aria calda al soffitto. Questo tipo di soluzione consente poi una maggiore flessibilità nelle scelte di arredamento, non essendoci gli impedimenti e vincoli costantemente presenti invece con i radiatori. Tra gli svantaggi ricordiamo che, data la temperatura di esercizio inferiore rispetto a quella degli impianti a radiatore, è sconsigliabile utilizzare questo tipo di distribuzione per ambienti che abbiano carichi termici elevati (quelli normalmente non ben coibentati). Un altro possibile svantaggio è rappresentato dalla grande inerzia ter-



Posa di un pavimento radiante

mica del massetto, sia in fase di riscaldamento che di raffreddamento, che ne fa un sistema poco adatto a condizioni dove ci sia la necessità di variazioni repentine del carico termico.

Un'ulteriore applicazione del riscaldamento a superficie radiante è quella a parete e a soffitto: presenta una maggiore difficoltà di esecuzione, ma vantaggi e svantaggi sostanzialmente corrispondenti a quelli del sistema a pavimento.

Il solare termico per la produzione di acqua calda sanitaria

Il nostro attuale standard di vita richiede ampia disponibilità di acqua calda negli edifici, per usi igienici e sanitari. Il cospicuo impiego di acqua per usi domestici in una normale abitazione induce a un'attenta riflessione sulle metodologie di produzione e di gestione di questa importante risorsa che, in un edificio realizzato con tecnologie convenzionali non particolarmente efficienti, sono responsabili di una ridotta percentuale del consumo energetico globale di quell'edificio (10-15%). Per contro in un'abitazione ad alta efficienza energetica, nella quale la parte impiantistica è chiamata a contribuire in maniera limitata al fabbisogno di calore, la quota parte di consumo energetico dovuto alla produzione di acqua calda sanitaria cresce, e può essere compresa tra il 40 e l'80% del consumo energetico complessivo dell'edificio. Occorre quindi porre molta attenzione ai metodi di produzione dell'acqua calda sanitaria che, anch'essi, devono essere ispirati a criteri di sostenibilità. Anche in questo caso si può far ricorso all'energia solare in quanto rinnovabile e inesauribile, anche se condizionata dalle condizioni atmosferiche più o meno favorevoli e quindi non costante, dai cicli giorno-notte e dal fatto che non sempre la richiesta corrisponde in termini temporali alla disponibilità. Gli impianti devono pertanto essere provvisti di accumulatori termici atti a soddisfare questi limiti. L'acqua calda sanitaria da fonte solare viene prodotta grazie a pannelli, detti anche collettori solari, entro i quali scorre il fluido che, sottoposto a irraggiamento, si scalda. Il fluido caldo scorre all'interno di un accumulatore nel quale è contenuta l'acqua calda sanitaria, cedendole il calore; in taluni casi si utilizza l'acqua riscaldata dai collettori solari per integrare quella dell'impianto di riscaldamento. Le tecnologie con le quali vengono prodotti i collettori solari sono varie. Vi sono collettori solari che sfruttano l'effetto serra prodotto da una copertura in vetro posta al pannello e altri che si trovano sottovuoto per sfruttare le minori perdite energetiche tra il fluido e l'ambiente che lo circonda. Il prezzo dei pannelli varia sensibilmente in funzione della tecnologia adottata, così come varia il loro rendimento in funzione dell'inclinazione: più questi vengono verticalizzati, maggiore è il rendimento nei mesi invernali e conseguentemente minore quello estivo. Avviene il contrario quando i pannelli vengono distesi in orizzontale, e dal momento che le principali necessità termiche di un impianto di riscaldamento sono quelle richieste durante i mesi invernali, si può affermare che l'inclinazione ottimale dei pannelli solari per una resa bilanciata sia intorno ai 60° rispetto all'orizzontale.

Le tipologie caratteristiche di collettori solari sono sostanzialmente

due: quella a circolazione naturale e quella a circolazione forzata. La prima sfrutta il fenomeno della dilatazione del liquido che, all'interno di un circuito chiuso, tende a salire se surriscaldato. I collettori di questo tipo sono dotati di un accumulatore di piccole dimensioni posto in esterno, nella parte superiore del pannello o nelle sue immediate vicinanze ma all'interno dell'edificio. La circolazione dell'acqua avviene tra il pannello e l'accumulatore per moto convettivo senza l'impiego di pompe di circolazione, e quindi con minor consumo di energia, anche se il rendimento di questi collettori è inferiore a quelli a circolazione forzata.

Alla seconda tipologia appartengono i pannelli a circolazione forzata; sono normalmente abbinati al sistema di riscaldamento in modo tale da creare condizioni di compensazione tra gli impianti che favoriscano un maggiore rendimento globale dell'impianto di riscaldamento e tempi di ammortamento inferiori. Il sistema funziona nel seguente modo: il fluido viene riscaldato all'interno del collettore solare e spinto da una pompa di circolazione applicata al circuito chiuso fino a un accumulatore, dove contribuisce a riscaldare l'acqua lì contenuta e che serve per gli usi domestici. Nello stesso accumulatore viene introdotto il circuito del fluido per il sistema di riscaldamento (radiatori, pavimento radiante, ventilconvettori, etc.) che si scalda dentro una caldaia alimentata in vario modo. L'acqua interna all'accumulatore viene riscaldata ricevendo in questo modo sia il contributo solare (gratuito) che quello della caldaia.

Ventilazione meccanica controllata

Come si è più volte accennato, in un edificio le perdite energetiche si generano:

- per trasmissione attraverso i muri esterni, la copertura e il solaio contro terra;
- per ventilazione attraverso gli innesti dei serramenti nella muratura, le forature prodotte dai passaggi impiantistici e accidentali;
- attraverso i ponti termici puntuali, lineari e geometrici.

In un edificio nel quale siano stati risolti i problemi derivanti dalle perdite di calore diventa molto importante garantire condizioni di salubrità interna grazie al ricambio dell'aria.

In generale, la percezione di benessere da parte di un individuo dipende dallo scambio termico che avviene tra l'individuo stesso e l'ambiente, attraverso fenomeni di conduzione, convezione e irraggiamento che determinano condizioni di evaporazione dell'umidità presente. Il benessere termoigrometrico è quindi influenzato da condizioni specificamente legate all'individuo (metabolismo, abbigliamento) e da altre condizioni di tipo microclimatico quali la velocità e la temperatura dell'aria, l'umidità e la temperatura media radiante delle superfici del contorno. Affinché la percezione del benessere sia positiva, la temperatura dell'aria interna deve essere compresa tra i 20 e i $22\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante la stagione fredda e tra i 24 e i $26\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante la stagione calda;

analogamente l'umidità relativa dell'aria deve essere compresa tra il 40 e il 50% in inverno e tra il 50 e il 60% in estate. Infine, la velocità dell'aria deve essere compresa tra 0,10 e 0,15 m/sec in inverno e 0,25 m/s d'estate. Occorre inoltre specificare che, per le esigenze igieniche relative alla salubrità degli ambienti chiusi con presenza di individui, l'aria presente deve essere ricambiata nella misura minima di 1/3 dell'intero volume d'aria ogni ora.

All'interno di un ambiente, soltanto la temperatura dell'aria è condizionata dal fattore isolamento, mentre gli altri fattori dipendono dalla ventilazione che, in un edificio ad alta efficienza energetica, non può essere ottenuta semplicemente aprendo e chiudendo le finestre, in quanto questa pratica non consente di valutare correttamente portate e tempi del ricambio. Ecco quindi che occorre impiegare un meccanismo che, con la garanzia delle migliori condizioni termoigrometriche interne, possa minimizzare le perdite di calore: questo apparato è l'impianto di ventilazione meccanica controllata VMC.

La ventilazione meccanica controllata è un sistema che consente di introdurre nell'edificio l'aria esterna con lo scopo di sostituire quella interna esausta; questo ciclo avviene grazie a una macchina che aspira e convoglia l'aria nuova negli ambienti in cui è necessario ventilare (soggiorno, camere), e la sottrae dai locali o dalle zone dove è necessario rinnovarla (cucina, bagni): alcuni locali saranno pertanto in lieve sovrappressione e altri in depressione. È importante sottolineare che il passaggio tra ingresso e uscita dell'aria avviene dentro la macchina di ventilazione, la quale consente uno scambio termico tra i due flussi d'aria ma senza mescolanza di particelle tra questi; l'aria in uscita a temperatura ambiente cede un po' del suo calore a quella in entrata più fredda, la quale viene immessa nei locali limitando gli effetti di disomogeneità termica: il sistema è denominato "a recuperatore di calore" e ha un rendimento che, in funzione della conducibilità e delle proprietà dei materiali impiegati e in base alla superficie di scambio dei flussi d'aria, può superare il 90%. La ventilazione meccanica controllata è un sistema complesso, composto di molte parti che ne fanno un impianto vero e proprio il cui impiego deve rispettare alcune fondamentali regole. Anzitutto, in fase di progettazione edilizia devono essere previsti adeguati cavedi per il passaggio verticale delle tubazioni di mandata e ripresa, accompagnando le scelte architettoniche di distribuzione funzionale degli ambienti con la previsione della rete di distribuzione. Queste accortezze preliminari consentono una migliore funzionalità dell'impianto e certamente la limita-

zione degli errori in fase di cantiere. Se queste attenzioni sono pressoché consolidate nelle grandi progettazioni industriali, terziarie o ospedaliere, non sono invece così scontate nell'edilizia residenziale, specie se di piccolo taglio.

Altro aspetto importante riguarda la scelta della tipologia della macchina; in commercio ve ne sono molte con rendimenti del recuperatore di calore assai diversi, dal 30 al 95%. Alcune macchine di piccola portata possono essere installate direttamente all'interno dell'ambiente e servire alla ventilazione in modo diretto, senza l'ausilio di canalizzazioni di distribuzione; presentando però grandi limitazioni sul piano del rendimento e della portata volumetrica, possono essere impiegate favorevolmente per piccoli ambienti e nel caso di ristrutturazioni parziali di fabbricati.

Altre macchine di maggiori dimensioni hanno necessità di essere installate in appositi locali, dove trovano posto altri apparati dell'impianto come ad esempio i motori elettrici dei ventilatori, i filtri e i silenziatori delle tubazioni; spesso le macchine di questo tipo sono dotate di coibentazione per favorire il maggior rendimento dello scambiatore termico.

Nelle condizioni di altissima efficienza energetica dell'involucro (edificio passivo) ottenute con un'adeguata progettazione, è possibile impiegare il sistema di ventilazione meccanica controllata anche per il riscaldamento dell'aria interna.

Per migliorare il rendimento dei sistemi di ventilazione meccanica controllata, spesso si impiegano soluzioni di pre-riscaldamento dell'aria in ingresso: ciò si ottiene attraverso tecnologie che sfruttano la capacità termica del terreno. Questi sistemi consistono in una serie di tubazioni opportunamente dimensionate, introdotte nel terreno al di sotto del piano di campagna mediante scavi poi opportunamente coperti, oppure sfruttando quelli già eseguiti per la realizzazione di piani interrati dell'edificio. Le tubazioni così disposte vengono connesse da un capo alla macchina di ventilazione che si trova all'interno dell'edificio o di un locale dedicato, e dall'altro a un sistema di captazione dell'aria con adeguati filtri. L'aria, passando dentro le tubazioni di sottosuolo, si riscalda velocemente assumendo una temperatura prossima a quella del terreno, che in inverno è maggiore e più costante di quella dell'aria esterna, giungendo poi alla macchina. In estate, al contrario, questo metodo di distribuzione in sottosuolo consente il raffrescamento dell'aria che può essere quindi impiegata per il benessere degli ambienti interni.



Il 2013 è stato l'anno che ha portato alla realizzazione di alcuni importanti progetti in Eurogroup, uno su tutti la sua trasformazione da marchio a società. Si tratta dell'ultima tappa di un percorso iniziato nel 1999, quando la nascita del marchio fu promossa dalla Regione Piemonte per razionalizzare e coordinare le attività di garanzia fidi e di consulenza alle imprese. Da allora il mondo economico-finanziario è profondamente cambiato e, a partire dagli ultimi anni, è alle prese con una lunga crisi da cui stenta a uscire. In tutti questi anni e, ancor più oggi, le società che si riconoscono nel marchio Eurogroup hanno svolto un'importante attività di supporto alle imprese con risultati davvero importanti: al 31 dicembre 2013, le imprese associate a Eurofidi e a Eurocons erano 58 mila e dal 1999 a oggi, sono state seguite quasi centomila aziende.

In più sono nate altre società, Euroenergy nel 2009 e pochi mesi fa Euroventures, con l'intento di completare la gamma dei servizi offerti. Per questo motivo non era più proponibile mantenere Eurogroup come marchio. Come società ora Eurogroup è in grado di mantenere più efficacemente il coordinamento tra le diverse strutture operative.

Tra i traguardi raggiunti in ambito ambientale, a fine 2013 è stato inaugurato a San Giorgio Canavese un innovativo polo tecnologico, frutto delle attività sviluppate da Euroenergy in termini sia di riqualificazione ambientale sia di costruzione di impianti per la produzione di energia da fonti rinnovabili.

La riqualificazione ha interessato una vasta area a destinazione agricola che risultava abbandonata e in condizioni di degrado da anni, consentendo così il riavvio dell'attività storica di quell'area, l'allevamento avicolo. In seguito agli interventi di bonifica dall'amianto, grazie ai quali sono stati smaltiti circa 7.500 metri

quadrati di Eternit, sono stati realizzati un impianto fotovoltaico da 1 MWp e un impianto a biomassa da 165 kWt in grado di produrre energia sia elettrica sia termica. Nella realizzazione degli impianti sono state adottate le migliori tecniche per il benessere degli animali, oltre alla particolare attenzione al risparmio energetico. I due impianti forniranno a regime circa 2.130.000 kilowattora all'anno, corrispondenti al fabbisogno annuo di 800 famiglie italiane, ed eviteranno l'immissione in atmosfera di 676 tonnellate di CO₂.

Grazie alla sua esperienza inoltre, nel settembre scorso Euroenergy ha portato a compimento un altro importante progetto: attraverso la realizzazione di tre impianti fotovoltaici su tetto per una potenza di circa 0,65 MWp, situati in Piemonte, è stata valorizzata una porzione del tessuto industriale piemontese sia in un'ottica di efficienza energetica, riqualificando strutture industriali del territorio, sia dal punto di vista sociale, contribuendo a riqualificare le produzioni industriali interessate dal progetto.

EUROGROUP S.c. a r.l. - Sede Centrale

Via Perugia, 56 - 10152 Torino (Italy)
Tel. +39 011 24191

www.eurogroup.it
info@eurogroup.it

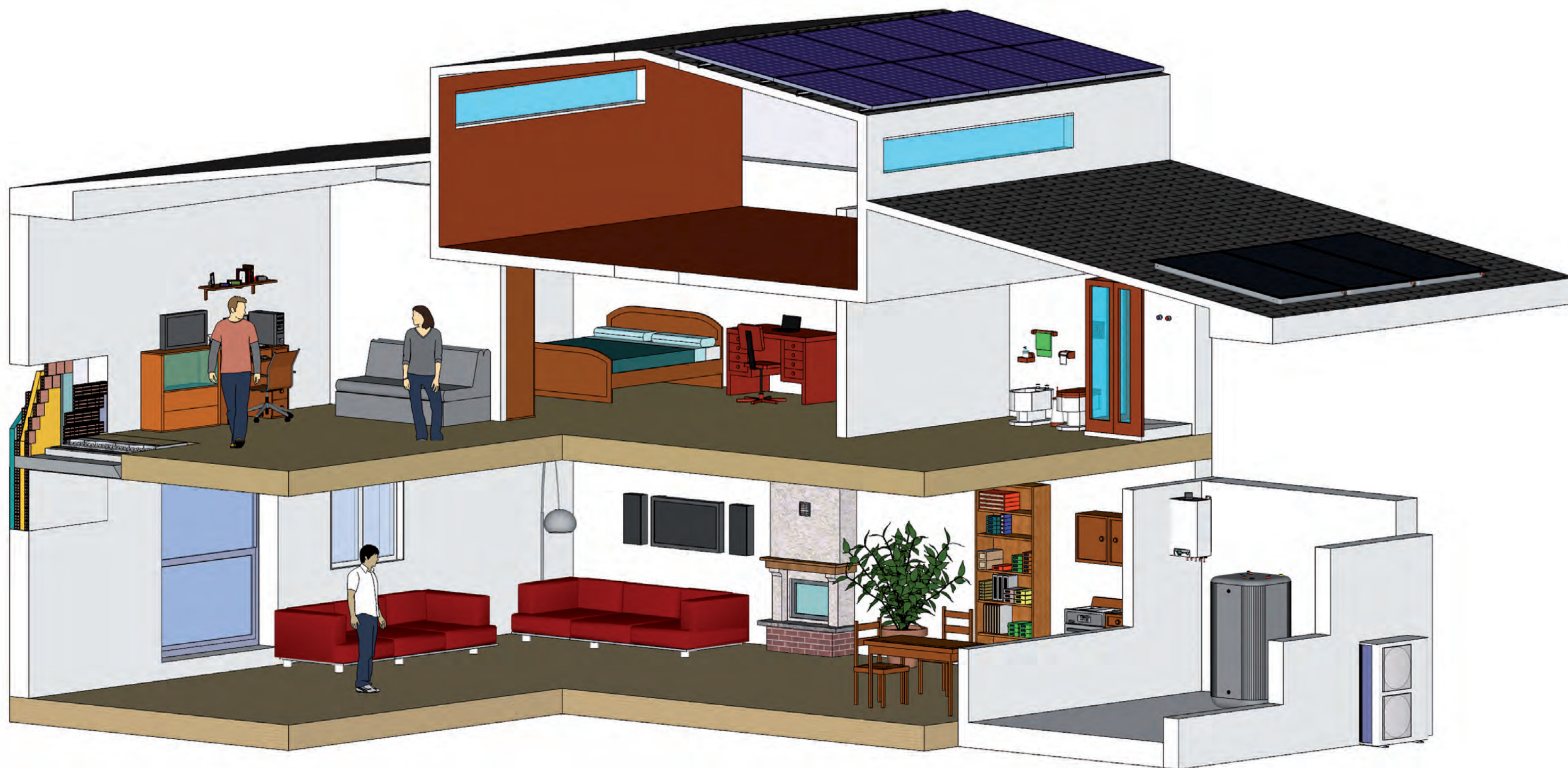
EUROGROUP
La società aderente al contratto di rete con

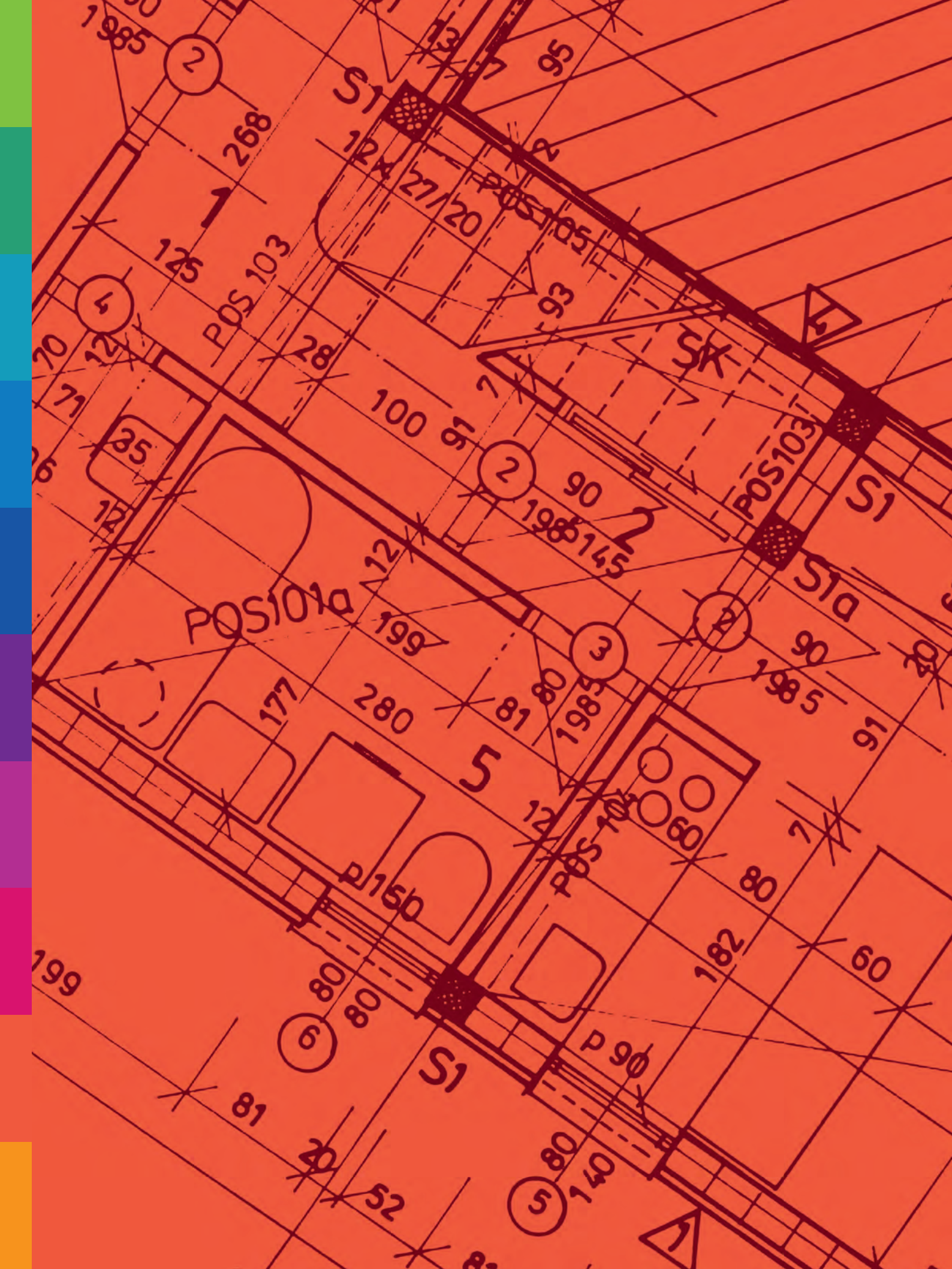
EUROFIDI
garanzia per le imprese

EUROCONS
consulenza per le imprese

EUROENERGY
energia rinnovabili per le imprese

EUROVENTURES
capitali per la tua nuova impresa





RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA DEGLI EDIFICI ESISTENTI

“Noi abbiamo bisogno di una nuova coscienza ambientale su basi globali.
Per fare questo, abbiamo bisogno di educare le persone.”

Mikhail Sergeyevich Gorbachev, politico russo
e Premio Nobel per la Pace nel 1990

9

► | 9.1 | Motivazioni per la riqualificazione

È più impellente rinnovare energeticamente l'esistente che costruire in alta efficienza.

La Direttiva europea 2010/31/UE del 19 maggio 2010 - EPBD *Energy Performance Building Directive* - e la Direttiva 2012/27/UE del 25 ottobre 2012 sull'efficienza energetica, pongono l'accento sul parco edilizio esistente e su quanto si potrebbe risparmiare in termini energetici semplicemente non sprecando, imponendo precise azioni (ad esempio, dal 1 gennaio 2014 riqualificazione obbligatoria di almeno il 3% degli edifici con metratura superiore ai 500 mq posseduti o occupati dal governo centrale degli Stati membri, con riduzione del limite a 250 mq da gennaio 2015).

La situazione è particolarmente grave in Italia dove, per la stragrande maggioranza, gli edifici esistenti sono estremamente energivori. Non bisogna pensare che lo siano solo quelli antichi o di edificazione pre e post bellica, ma anche quelli di recente e recentissima costruzione sarebbero già da riqualificare energeticamente perché, pur essendo alla terza generazione di leggi sul contenimento dei consumi energetici in edilizia, è mancato completamente il controllo sul rispetto di tale legislazione.

La riqualificazione permette di aumentare il comfort sia invernale che estivo all'interno degli edifici, dove, non bisogna dimenticarlo, passiamo la maggior parte del nostro tempo.

Bisogna ridurre di molto l'utilizzo del territorio, diminuendo le nuove edificazioni. In particolare negli ultimi 25 anni le leggi hanno fatto sì che il territorio italiano sia drammaticamente compromesso. Nel solo periodo compreso fra il 1998 e il 2005 è stata edificata in Italia una superficie corrispondente al territorio dell'Umbria e la velocità di erosione del territorio non accenna a diminuire stando alla pubblicazione del 2012 "Terra rubata, Viaggio nell'Italia che scompare" del FAI (Fondo Ambiente Italiano) e al più recente rapporto "Il consumo di suolo in Italia, edizione 2014" dell'ISPRA

(Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale). La Pianura Padana oltre a essere il luogo più inquinato d'Europa è anche quello più edificato: basta sorvolare la Lombardia per constatare l'estensione dell'edificazione di Milano fino alle pendici delle montagne, senza soluzione di continuità: quindi anziché costruire un edificio ad altissima efficienza nel parco di fronte a un vecchio edificio non efficiente è meglio rinnovare il vecchio e mantenere il parco!

L'incondizionata demolizione del parco edilizio inefficiente esistente, escludendo naturalmente gli edifici di valenza storico artistica, e la successiva ricostruzione in alta efficienza energetica, non è d'altro canto un'operazione sostenibile dal punto di vista ambientale perché, pur non compromettendo il territorio, provoca una grandissima produzione di rifiuti indifferenziati e inquinanti: il settore dell'edilizia già così è il maggior produttore di rifiuti. La demolizione di un edificio dovrebbe avvenire unicamente nel caso in cui insormontabili problemi tecnici, quali la sicurezza statica delle strutture, ne impediscano la riqualificazione.

La concentrazione del settore edilizio sulla riqualificazione dell'esistente sarebbe al tempo stesso l'occasione per superare la grave crisi che sta attraversando, causata appunto dalla saturazione bulimica del mercato per over-costruzione. In paesi come la Germania il settore edilizio, sia per le imprese che per i progettisti, grazie alla riqualificazione energetica degli edifici ha avuto un enorme impulso con la creazione di migliaia di nuovi posti di lavoro.

Pensiamo anche all'indipendenza energetica europea e nazionale: il grande fabbisogno di energia rende dipendenti e vulnerabili (vedi esempio del "rubinetto russo" sul metanodotto), e accresce l'aleatorietà del rifornimento energetico.

I capitali risparmiati rimangono invece nelle casse europee e nazionali, e sono re-investibili.



► | 9.2 | Difficoltà nel riqualificare

Non ci si può nascondere che esistono molte difficoltà di vario genere nell'ottenere alta efficienza energetica con la riqualificazione anziché con la nuova edificazione.

La **progettazione è più lunga e complicata**, quindi anche più costosa. Essa è infatti preceduta sempre da una fase di analisi dell'esistente (audit), dall'elaborazione di alcune alternative progettuali e loro valutazione in base all'analisi dei costi e dei benefici, per produrre infine il progetto che comprende a volte soluzioni complesse a causa delle preesistenze.

La difficoltà progettuale è particolarmente sentita in Italia dove, contrariamente ad altri paesi europei, la cultura del progetto è stata completamente svilita dal dopo guerra a oggi.

La **soluzione a questa difficoltà è la ricostruzione della cultura del progetto**, senza un progetto minuzioso in cui tutti i dettagli sono risolti sulla carta non è possibile raggiungere l'alta efficienza energetica.

In Italia esistono spesso **ostacoli urbanistici** all'applicazione della normativa sull'efficienza energetica, sia nella nuova edificazione che nella riqualificazione. La soluzione: vanno rivisti leggi urbanistiche, PRGC e regolamenti edilizi.

Oltre alle difficoltà tecniche e urbanistiche, il **grande investimento iniziale** necessario per la realizzazione di interventi risolutivi è spesso motivo di rinuncia. Nel recente passato in Italia la possibilità di detrarre dalle tasse il 55% degli importi spesi per la riqualificazione energetica degli edifici, esempio unico in Europa almeno nella consistenza dell'aiuto, ha sicuramente reso più appetibili gli interventi di questo tipo, dando un grande aiuto economico al settore, ma anche in questo caso è mancato il controllo minuzioso e severissimo. Dai dati pubblicati dall'ENEA in ogni caso si evince che sono stati preferiti di gran lunga gli interventi più "semplici" tecnicamente, ma meno efficaci dal punto di vista dell'efficienza energetica: cioè sostituzioni di caldaie, installazione di collettori solari termici, sostituzione di serramenti anziché interventi di coibentazione dell'involucro o interventi globali. Possibili soluzioni a questa difficoltà: sovvenzioni economiche (facendo attenzione che molto spesso il meccanismo della sovvenzione, se mal concepito e mal controllato, può avere come risultato l'aumento del prezzo di mercato del prodotto/servizio oggetto della sovvenzione), bandi di finanziamento agevolato (vedi bandi Regione Piemonte), bonus volumetrici sotto forma di possibilità di sopraelevazione (se possibile dal punto di vista strutturale), riduzione consistente delle tasse immobiliari in caso di interventi di riqualificazione (IMU), mutui agevolati (prodotti specifici delle banche: vedere esempi di banche convenzionate Minergie in Svizzera), meccanismo delle ESCO. Vedere la recente iniziativa del governo Inglese denominata Green Deal.

Oltre alle soluzioni prospettate è inoltre molto importante l'elaborazione di un piano finanziario dell'intervento.

Altro grande ostacolo alla riqualificazione energetica in Italia è la **frammentarietà della proprietà immobiliare**. Se in altri



paesi europei come la Germania gli edifici residenziali multi-familiari sono per la maggior parte di un'unica proprietà (enti pubblici, enti privati, banche, assicurazioni, etc.) e le persone che vi abitano sono in affitto (solo le case mono-bifamiliari sono di proprietà), in Italia la maggioranza degli edifici residenziali multi-familiari è di proprietà delle tante famiglie che vi abitano (condominio). Questo costituisce un enorme ostacolo in sede di decisione: se la proprietà è unica la decisione è veloce, l'intervento di riqualificazione può essere fatto in tempi brevi ed essendo globale sull'edificio risulta più efficace; se la proprietà è molteplice la decisione nella maggior parte dei casi non viene presa dall'assemblea di condominio, e l'intervento globale non può essere fatto.

Per ovviare a questo ostacolo è indispensabile da un lato un'informazione precisa, quasi una "rieducazione", dei cittadini sul significato di riqualificazione, sui motivi e sui benefici, utilizzando tutti i sistemi di informazione, dall'altro lato è impellente la revisione della legislazione che riguarda l'amministrazione di condominio, in maniera ben diversa da come è stata recentemente attuata.

► | 9.3 | Procedimento per gli interventi di riqualificazioni energetiche

Essendo chiari i motivi per cui è importante iniziare a riqualificare energeticamente il parco edilizio esistente prima di costruire nuovi edifici altamente efficienti, ed essendo altrettanto chiare le difficoltà di varia natura che questo implica, bisogna trovare un procedimento per ottenere i migliori risultati e per aggirare le difficoltà.

Qualsiasi procedimento serio di riqualificazione energetica di edifici può essere suddiviso in una serie di fasi, così definite sinteticamente:

- analisi dello stato di fatto (audit): esame del sistema edificio-impianti
- calcolo e diagnosi: si individuano le criticità e le priorità di intervento (non solo energetiche)
- elaborazione, confronto e valutazione di alcune soluzioni progettuali alternative
- decisione: in cui viene scelta la soluzione migliore sotto l'aspetto costi/benefici
- redazione del progetto esecutivo di tutti gli interventi previsti dalla soluzione scelta
- realizzazione degli interventi previsti: controllo minuzioso dell'esecuzione in cantiere
- monitoraggio e raccolta dati post intervento: questa fase può comprendere l'istruzione degli abitanti all'uso corretto di un edificio altamente efficiente.

Il procedimento ha fortissime analogie con l'approfondita visita medica di un paziente che accusa malessere, e che comprende: esami clinici, individuazione della o delle patologie responsabili del malessere (diagnosi), elaborazione di possibili interventi e cure di tale patologie, scelta dell'intervento e della cura ottimale, effettuazione dell'intervento (operazione chirurgica) e della cura, convalescenza e controllo dei risultati.

Vediamo ora in dettaglio fase per fase.

Fase di audit

Comprende tutti i seguenti punti:

- Raccolta preventiva di tutta la documentazione riguardante l'edificio: disegni dei titoli abilitativi o di interventi posteriori all'edificazione, sia delle strutture che degli impianti.
- Destinazione d'uso e grado di occupazione degli ambienti.
- Individuazione delle condizioni al contorno dell'edificio: dati climatici locali, orientamento, ombreggiamento proprio o da parte di ostacoli naturali o artificiali.
- Determinazione di tutte le caratteristiche geometriche dell'edificio: in mancanza di elaborati grafici affidabili su cui basarsi deve essere eseguito un preciso rilievo sia delle strutture che degli impianti.
- Determinazione univoca del volume lordo riscaldato (VLR) in base all'uso dell'edificio e, se presenti, di eventuali zone con diverso regime di climatizzazione perché con diversa

destinazione d'uso. Determinazione inoltre di:

- Superficie Energetica di Riferimento, cioè della superficie utile effettivamente riscaldata e raffrescata.
- Volume netto ventilato.
- Vaglio della legislazione sull'efficienza energetica locale, se diversa da quella nazionale, per conoscere gli obblighi di legge.

L'edificio è sottoposto a un'analisi approfondita per determinare le caratteristiche dell'involucro opaco e trasparente. In particolare:

- Le stratigrafie di tutte le strutture opache (verticali, orizzontali e inclinate) che delimitano il volume lordo riscaldato e calcolo delle rispettive trasmittanze termiche (valore U). Se non è possibile stabilire l'effettiva stratigrafia delle strutture e non è neanche possibile effettuare prove invasive (saggi o piccole demolizioni), si possono utilizzare esami non invasivi con la macchina termografica o con il termoflussimetro per determinare per via strumentale le trasmittanze termiche.
- L'integrità statica delle singole strutture o le eventuali infiltrazioni di umidità. Se l'intervento prevede un possibile ampliamento o sopraelevazione è necessaria una perizia statica generale dell'edificio.
- Le caratteristiche dei serramenti vetrati inclusi nelle strutture opache dell'involucro che delimitano il volume lordo riscaldato: tipologia di installazione, tipologia dei telai, tipologia dei vetri, tipologia di schermatura solare, grado di tenuta all'aria, all'acqua al vento. Calcolo della loro trasmittanza termica in base alle caratteristiche (valore U_w).
- Tenuta all'aria dell'edificio nel suo complesso: se necessario si effettua il *blower-door-test* (BDT) già in questa fase.
- Rilievo dei nodi costruttivi dati dall'incontro delle strutture di cui sopra, che solitamente costituiscono ponti termici: determinazione del coefficiente di trasmissione termica lineica dalla norma UNI EN ISO 14683, dagli atlanti di ponti termici cartacei o digitali o tramite calcolo con appositi software agli elementi finiti.

Come per l'involucro, viene fatta un'analisi approfondita degli impianti termici di cui è dotato (riscaldamento, produzione di acqua calda sanitaria, raffrescamento). In particolare:

- Tipologia, potenza e condizione del generatore di calore, combustibile utilizzato, caratteristiche del locale caldaia, se presente (incluso o escluso dal volume lordo riscaldato).
- Tipologia e condizione dell'impianto di distribuzione sia del caldo che del freddo, se presente, e dell'acqua calda sanitaria e, di questa, eventuale presenza del ricircolo; determinazione del grado di coibentazione delle rispettive tubature.
- Tipologia, dimensioni e condizione degli apparecchi di emissione del caldo e del freddo negli ambienti: radiatori, ventilconvettori, pannelli radianti, etc.
- Tipologia e condizione del sistema di regolazione della temperatura all'interno degli ambienti.

- Tipologia, capacità e condizione di sistemi di accumulo se presenti.
- Tipologia, dimensioni e condizione di collettori solari termici, se presenti, e loro integrazione nell'impianto termico dell'edificio: integrazione solo della produzione di acqua calda sanitaria o integrazione al riscaldamento degli ambienti.
- Tipologia, potenza e condizione degli ausiliari: tipo pompe di circolazione riscaldamento, raffrescamento, acs, collettori solari, ventilatori, etc.

Come per l'impianto di riscaldamento, l'analisi deve essere estesa agli altri impianti che utilizzano energia: illuminazione, altre utenze elettriche e ventilazione se presente. In particolare:

- Tipologia dell'impianto di ventilazione: schema di funzionamento.
- Tipologia e potenza della macchina di ventilazione, grado di recupero, se presente recuperatore di calore, tipologia dell'impianto di distribuzione e sue condizioni.
- Tipologia e condizione degli apparecchi di illuminazione e loro sistema di regolazione se presente.
- Tipologia e condizione delle altre utenze elettriche dell'edificio al di là dell'illuminazione: es. impianto ascensore, altri impianti meccanici oltre a quelli già trattati ai punti precedenti, elettrodomestici, postazioni pc, etc.

Inoltre, raccolta dei dati riguardanti i consumi energetici dell'edificio allo stato di fatto, risalenti possibilmente ad alcuni anni (5-10). Tali dati possono essere desunti, per quanto riguarda i consumi termici, da bollette del gas metano, fatture dei rifornimenti di gasolio, o altro a seconda del combustibile utilizzato; per i consumi di energia elettrica, dalle bollette della fornitura. I dati raccolti devono essere omogeneizzati e trasformati in kWh di energia termica in base ai poteri calorifici inferiori dei combustibili e al coefficiente di trasformazione dell'energia elettrica in funzione del mix energetico nazionale (attualmente circa 2,18 kWh energia finale termica ogni kWh energia elettrica).

Fase di calcolo e diagnosi

I calcoli per diagnosi energetica e pianificazione di interventi di riqualificazione energetica devono essere condotti secondo la valutazione adattata all'utenza (*tailored rating*) di cui alla specifica tecnica UNI/TS 11300-1:2008 utilizzando cioè le caratteristiche reali dell'edificio e i dati reali d'uso dell'edificio anziché dati standard (tipo grado di occupazione, temperatura interna, dati climatici particolari).

In base alle caratteristiche del sistema edificio impianto determinate nella fase precedente si effettuano i calcoli energetici

per determinare i fabbisogni energetici dell'edificio allo stato di fatto. In particolare:

- Determinazione del fabbisogno netto di riscaldamento e raffrescamento dell'involucro, e dei relativi indici $EP_{i,inv}$ e $EP_{e,inv}$
- Determinazione del fabbisogno in energia finale per riscaldamento, raffrescamento e produzione di acqua calda sanitaria in base ai rendimenti dei rispettivi sistemi (perdite di sistema), comprensivi dei sistemi ausiliari.
- Determinazione dei fabbisogni in energia finale degli altri impianti: illuminazione, utenze elettriche e ventilazione.
- Confronto dei risultati di calcolo con i dati di consumo storici raccolti nella fase precedente e possibili deduzioni sullo scarto dei valori.
- Individuazione delle criticità: percentuale di dispersioni per trasmissione delle varie strutture opache e trasparenti, per ventilazione, perdite dei sistemi di riscaldamento, raffrescamento, produzione di acs, etc.

Fase di elaborazione, confronto e valutazione di alcune soluzioni progettuali alternative

In base a quanto risulta dalla fase precedente circa criticità e priorità di intervento, si elaborano alcune ipotesi progettuali alternative in base agli obiettivi che ci si prefigge e in funzione dei principi fondamentali dell'efficienza energetica in edilizia, già esposte nel capitolo 4, e che qui ripetiamo in ordine di importanza:

- Riduzione al minimo del fabbisogno energetico netto per riscaldamento e raffrescamento dell'involucro dell'edificio, possibilmente utilizzando materiali ecologici e sostenibili.
- Dimensionamento corretto degli impianti in base ai reali fabbisogni dell'edificio e massimizzazione dei rendimenti (minimizzazione delle dispersioni dei vari sottosistemi).
- Adozione di fonti rinnovabili di energia, preferibilmente prodotta in loco, per alimentare gli impianti.

In particolare gli interventi per raggiungere il primo obiettivo in ordine di importanza possono essere:

- Determinazione del nuovo volume lordo riscaldato e delle nuove zone termiche, se presenti (se nei presupposti di intervento è prevista la modifica o l'ampliamento dell'edificio o il suo cambio di destinazione d'uso). In questo caso può essere colta l'occasione di ricompattare il volume lordo riscaldato per migliorare il rapporto di forma, se questo non è contrario a scelte estetiche del progetto architettonico.
- Miglioramento delle caratteristiche termiche delle strutture opache dell'involucro (riduzione valore U) tramite l'aggiunta di uno strato di coibentazione termica, di spessore calcolato in base alla trasmittanza finale che è necessario raggiungere e in base al materiale coibente scelto. Tale strato può essere posto sul lato esterno, sul lato interno o internamente alle strutture e deve avvolgere senza

► 9.3 | Procedimento in generale per gli interventi di riqualificazioni energetiche

soluzione di continuità tutto il volume lordo riscaldato.

- Coibentazione esterna: questo tipo di intervento può essere realizzato tramite un sistema detto a cappotto perché svolge la stessa funzione dell'omonimo vestito, o con facciate ventilate che proteggono lo strato isolante non intonacato. Il sistema a cappotto è soggetto a precise norme tecniche europee cui i produttori devono attenersi, in particolare ogni sistema a cappotto deve essere conforme all'ETAG 004 (ETAG 004 *Guideline for European Technical Approval of external thermal insulation composite systems with rendering* - ETICS. "Linee guida per il Benessere Tecnico Europeo per sistemi composti di coibentazione termica esterna a finitura intonacata") e i materiali di cui è composto devono essere tutti marcati CE. La posa deve inoltre deve avvenire secondo precise regole che sono ben spiegate nel manuale edito dal Consorzio Cortexa dei principali produttori di sistemi a cappotto. Poiché nulla deve stare all'interno dello strato coibente, è necessario progettare tutte le predisposizioni alla posa del cappotto: spostamento di eventuali impianti di facciata, spostamento soglie e davanzali, discese pluviali, agganci per schermi solari, tende, apparecchi illuminanti che devono rigorosamente essere isolati.
- Coibentazione dall'interno: se l'edificio ha le facciate tutelate o se le distanze dagli altri edifici o sulla strada non consentono l'intervento dall'esterno è allora obbligatorio coibentare dall'interno, con tutte le difficoltà di progettazione e di realizzazione corretta che ciò implica. L'intervento dall'interno infatti rende molto più complicata e a volte impossibile la risoluzione dei ponti termici costituiti dai giunti pareti perimetrali/solai interpiano o pareti perimetrali/pareti interne. È inoltre molto importante valutare in maniera assai precisa il comportamento igrometrico della parete per evitare fenomeni di condensazione interstiziale post intervento a causa del passaggio di vapore acqueo. Le possibilità sono: l'utilizzo di qualsiasi materiale isolante purché sia posata una barriera al vapore totale sul lato caldo dell'isolante, l'utilizzo di materiali altamente igroscopici che possono assorbire umidità e rilasciarla nell'ambiente, l'utilizzo di materiali completamente impermeabili al passaggio del vapore (vetro cellulare).
- La coibentazione in intercapedine, nel caso di edifici esistenti, può essere eseguita solamente se le strutture opache sono effettivamente del tipo con intercapedine vuota, e con materiali coibenti sciolti introdotti tramite forature eseguite dall'esterno o dall'interno. Questa soluzione è però molto poco efficace per la grande frammentarietà delle intercapedini (interruzioni per pilastri, sottofinestra, etc.) che impediscono di realizzare uno strato ininterrotto di coibente e per la poca certezza dell'effettivo costipamento del materiale.
- Miglioramento delle caratteristiche termiche e di tenuta all'aria dei serramenti esterni vetrati e non. Gli interventi possibili sono:

- Restauro e riqualificazione energetica dei serramenti esistenti: revisione dell'installazione per garantire la tenuta all'aria, aggiunta di guarnizioni di tenuta alle battute, sostituzione dei vetri con vetri basso emissivi, sostituzione dei pannelli opachi con pannelli coibentati, coibentazione del cassonetto dell'avvolgibile se presente.
- Sostituzione completa con nuovi serramenti ad alta efficienza energetica: elaborazione dei dettagli di installazione (sezione verticale e orizzontale per ogni tipo di serramento), in base alla posizione dello strato di coibentazione, contro-telaio a taglio termico sui quattro lati, scelta della tipologia degli schermi solari, nuove soglie e davanzali, etc.
- Progettazione di tutti i dettagli costruttivi necessari a risolvere i nodi strutturali che potrebbero interrompere la continuità dello strato coibente e di tenuta all'aria, in base alle stratigrafie scelte per le pareti e all'installazione dei serramenti. Tali dettagli possono anche essere centinaia se l'edificio è molto articolato.

In particolare gli interventi per raggiungere il secondo obiettivo in ordine di importanza possono essere:

- Scelta del tipo di combustibile: come detto all'inizio, preferibilmente da fonte rinnovabile di produzione locale.
- Se i fabbisogni invernale ed estivo dell'edificio sono stati ridotti è necessario sostituire il generatore e ridimensionarne la potenza.
- Se possibile, e se necessario, migliorare la coibentazione termica dell'impianto di distribuzione di riscaldamento, raffrescamento, acs.
- Il basso fabbisogno dell'edificio permette di scegliere un sistema di distribuzione del caldo a bassa temperatura, che è sempre preferibile. L'adozione della distribuzione a bassa temperatura è unicamente possibile con bassi fabbisogni energetici dell'involucro.
- Bilanciamento dell'impianto.
- Sostituzione e ridimensionamento delle pompe di circolazione con apparecchi di alta efficienza energetica a potenza variabile.
- Sistema di emissione: modifiche o sostituzione con sistemi a più alto rendimento. Nel caso di distribuzione a bassa temperatura possono essere adottati radiatori con maggiorazione di elementi o pannelli radianti a pavimento, parete o soffitto.
- Miglioramento del sistema di regolazione della temperatura interna.
- Installazione dei collettori solari termici con il miglior orientamento possibile e nella quantità sufficiente ad assicurare la produzione di parte del fabbisogno di acs (per la legge regionale del Piemonte è obbligatorio il 60% in alcune tipologie di intervento di ristrutturazione che prevedano anche modifiche all'impianto termico). L'impianto solare termico dovrà



prevedere un sistema di accumulo adeguatamente dimensionato per immagazzinare correttamente l'energia solare.

- Eventuale installazione di impianto di ventilazione meccanizzata controllata con recupero di calore (VMC) per assicurare il giusto ricambio d'aria degli ambienti senza disperdere calore.
- Sostituzione degli impianti di illuminazione non solo delle parti comuni con sistemi ad alta efficienza, installazione di sensori di presenza per le parti comuni che azionino l'accensione e lo spegnimento dell'illuminazione solo se necessario.
- Sostituzione delle utenze elettriche (elettrodomestici vari, televisori, postazioni pc) con apparecchi almeno in classe A+, introduzione di interruttori generali per lo spegnimento degli stand-by di tutti gli apparecchi.
- Eventuale installazione di impianto fotovoltaico a tetto, con il miglior orientamento possibile, esente da qualsiasi tipo di ombreggiamento anche minimo (camini, antenne, alberi) dimensionandone la potenza in maniera da assicurare almeno l'alimentazione dei vari ausiliari degli impianti, gli impianti di VMC e l'illuminazione delle parti comuni. Per i principi sull'efficienza energetica già esposti, l'impianto fotovoltaico non ha senso su edifici che non siano già stati riqualificati energeticamente (involucro).

In particolare, per raggiungere il terzo obiettivo in ordine di importanza va considerato che:

- tutti i possibili interventi di cui sopra indirizzati all'efficienza

energetica dell'edificio possono ancora essere migliorati se si utilizzano materiali, soluzioni e sistemi ad alta sostenibilità ambientale (ad esempio materiali con basso contenuto di energia grigia, fonti rinnovabili prodotte in loco, etc.).

Fase di decisione in cui viene scelta la soluzione migliore sotto l'aspetto costi/benefici

I motivi e i presupposti di un intervento possono essere molteplici e non devono essere ignorati in fase di valutazione delle alternative di intervento possibili. I motivi sono quelli indicati all'inizio (discomfort interno, risparmio economico/energetico, obblighi legislativi, etc.), mentre altri presupposti sono il budget economico a disposizione o l'intenzione/possibilità di ampliare/modificare l'edificio o di cambiarne la destinazione d'uso.

La valutazione delle alternative di intervento è condotta sia in base ai relativi tempi di ritorno economici (analisi costi di investimento iniziale / risparmio economico annuo) sia in base agli effettivi benefici ottenibili in termini di comfort degli occupanti, e senza prescindere dai principi di efficienza già esposti. Una volta effettuata la scelta della soluzione valutata come la migliore in base ai criteri di cui sopra si procede alla fase successiva.

Fase di redazione del progetto esecutivo di tutti gli interventi previsti dalla soluzione scelta

Per ridurre allo stretto necessario i tempi di realizzazione degli interventi scelti, gli elaborati grafici del progetto esecutivo devono comprendere tutti gli interventi previsti, sull'involucro e sugli impianti, ed essere minuziosamente dettagliati e descritti. Devono essere altresì accompagnati da un dettagliatissimo capitolato d'appalto, da un preciso computo metrico estimativo e da un altrettanto preciso cronoprogramma. La scelta della o delle imprese realizzatrici deve avvenire in base alle capacità tecniche e organizzative e non solo in base al prezzo offerto.

Fase di realizzazione degli interventi previsti: controllo minuzioso dell'esecuzione in cantiere

Una volta appaltati, i lavori devono essere seguiti quotidianamente affinché siano realizzati esattamente come progettati. Tanto per fare un esempio: se nelle stratigrafie è prevista una guaina, basta che questa venga posata nel verso sbagliato perché tutta la stratigrafia non funzioni come previsto.

Fase di monitoraggio e raccolta dati post intervento

Il monitoraggio serve sia per verificare le previsioni di calcolo che per tarare il funzionamento dell'edificio, soprattutto la parte impiantistica, in fase di esercizio.

Può anche essere utile prevedere, in questa fase, un periodo di istruzione degli abitanti all'uso corretto di un edificio altamente efficiente per poterne trarre i massimi benefici.

► | 9.4 | L'umidità e il degrado dell'edificio

9.4.1 Origine ed effetti dell'umidità

L'acqua costituisce l'elemento essenziale per la vita sul nostro pianeta ed è presente in grandi quantità. Di sicuro è un elemento fondamentale per l'essere umano, ma al tempo stesso può diventare un fattore indesiderato: nel campo delle costruzioni edili l'umidità determina le condizioni climatiche interne agli edifici stessi, influenzando le condizioni di salute degli occupanti, riducendo la vita utile dei materiali da costruzione, e incidendo anche sui costi per il riscaldamento degli ambienti. L'umidità rappresenta la prima causa di danno nelle strutture edilizie.

In presenza di costruzioni a basso consumo energetico, che utilizzano elevati spessori di materiale isolante e sono realizzate per garantire una elevata ermeticità, l'umidità può determinare maggiori problematiche.

Oltre a degradare i singoli materiali, e di conseguenza le strutture, l'umidità influisce sulla conducibilità termica dei materiali isolanti, determinando il peggioramento del comportamento isolante.

Favorisce inoltre la presenza di muffe e funghi nonché la migrazione di sali con la formazione di efflorescenze.

Da ricordare è poi il comportamento legato ai cicli di gelo e disgelo: l'acqua, variando il proprio volume, va a disgregare i singoli materiali con conseguente danno ai manufatti.

Le principali fonti di umidità possono essere:

- l'ambiente esterno, in presenza di determinate condizioni atmosferiche e di particolari eventi meteorologici;
- gli ambienti interni, anche in funzione delle attività praticate e del numero degli occupanti;
- i materiali da costruzione stessi, in cui può essere presente una residua quantità di umidità di costruzione;
- il terreno naturale, che attraverso la risalita di acqua per capillarità va a determinare particolari condizioni di umidità;
- l'infiltrazione diretta attraverso i differenti componenti edili.

La produzione media di vapore riferita a una famiglia di quattro persone si attesta mediamente attorno ai 10 litri al giorno: una differenziazione può aversi in funzione delle attività svolte (la preparazione dei cibi prevede circa 3 litri al giorno, mentre fare la doccia ne prevede 2).

Una tipica residenza smaltisce solo il 2-3% di questa produzione di vapore per diffusione, per cui la restante parte deve essere eliminata tramite un opportuno ricambio di aria, garantito attraverso la ventilazione naturale o quella meccanica controllata.

9.4.2 La condensazione

Come visto nei precedenti capitoli, il parametro umidità relativa UR indica il contenuto di vapore acqueo che un determinato volume di aria è in grado di contenere riferito alla situazione in cui è massima tale concentrazione: tale capacità decresce al diminuire della temperatura. Si avrà il fenomeno fisico della formazione della condensa qualora i valori puntuali, all'interno

dell'elemento costruttivo, della pressione parziale di vapore p_v superino l'andamento della pressione di saturazione p_{sat} .

Ricordiamo che l'andamento della pressione parziale di vapore dipende dalle temperature interne ed esterne rispetto al suddetto elemento di partizione, ma anche dalla resistenza dello stesso al passaggio del vapore.

La quota di umidità superiore all'umidità di saturazione verrà smaltita con la formazione della condensa, ossia attraverso il passaggio dallo stato gassoso allo stato liquido.

Quindi, se

$p_v > p_{sat}$ si avrà la formazione di condensa.

Per i componenti opachi, secondo la normativa vigente, occorre verificare l'assenza di fenomeni di condensazione superficiale mentre è permessa, in quantità limitate, la formazione di condensa interstiziale.

Il fenomeno della condensazione superficiale si verifica spesso per la presenza di basse temperature superficiali unitamente a valori elevati di umidità relativa. La verifica di legge prevede che si consideri una temperatura superficiale interna di 20 °C e UR pari a 65% per indagare l'eventuale formazione di condensa superficiale.

La norma UNI EN ISO 13788:2003 considera che si abbia formazione di muffe se viene mantenuto per diversi giorni un valore di UR maggiore dell'80% in corrispondenza delle superfici interne.

Per evitare la formazione di muffe occorrerebbe una temperatura minima superficiale pari a 16,7 °C, ossia temperatura di saturazione per una temperatura superficiale interna di 20 °C e UR pari a 80%.

Il fenomeno della condensa interstiziale, invece, prevede la condensazione all'interno dei vari strati dell'isolamento termico poiché, avendo temperature superficiali interne più elevate, si corre il rischio di portare il punto di rugiada all'interno del suddetto elemento costruttivo. La normativa vigente permette la formazione, in minima quantità, di condensa interstiziale qualora però detta quantità accumulata durante l'anno possa rievaporare.

9.4.3 L'igroscopicità

I materiali fortemente igroscopici in condizioni di elevata umidità tendono a ridurre quella che è la loro resistenza al passaggio del vapore acqueo, e ne agevolano quindi la trasmissione e la diffusione. In particolare, diversi studi affermano che in presenza di bassi valori di UR si ha la prevalenza della diffusione del vapore, mentre per alti valori si instaura un trasporto anche attraverso il fenomeno della capillarità.

Per descrivere il comportamento dei materiali nei confronti dell'igroscopicità possiamo introdurre alcuni elementi:

- il fattore di resistenza al vapore, μ , adimensionale, che indica quanto un materiale sia più resistente al passaggio del va-

pore acqueo rispetto a uno strato di aria ferma, dello stesso spessore e nelle stesse condizioni climatiche. Più il valore è alto e minore è la traspirabilità del materiale;

- lo spessore equivalente di aria per la diffusione del vapore, s_d , rappresenta lo strato d'aria necessario a opporre la medesima resistenza al passaggio del vapore dello strato di materiale avente spessore d e fattore di resistenza alla diffusione μ .

Valore $s_d = \mu \times d$. Più è alto e maggiore è la resistenza al passaggio del vapore. Attraverso questo valore possiamo classificare i differenti materiali.

Si avrà un materiale traspirante, cioè aperto alla diffusione del vapore, per valori di $s_d < 0,2$ m, un freno a vapore, ossia un materiale ritardante la diffusione del vapore per valori di s_d tra 0,2 e 100 m e una barriera a vapore, ossia un materiale impermeabile alla diffusione del vapore, per valori di $s_d > 100$ m.

I materiali non igroscopici non assorbono l'umidità e, al raggiungimento della pressione di saturazione, l'umidità stessa condenserà sulla loro superficie senza che essi ne assorbano neanche in minima parte.

I materiali igroscopici, invece, possono assorbire umidità sino a raggiungere un certo equilibrio tra la quantità da essi assorbita e l'umidità dello strato circostante: si avrà l'umidità di equilibrio.

Ricordiamo che la struttura e la composizione del materiale ne influenzeranno il comportamento igroscopico.

I materiali igroscopici possono essere utilizzati per la regolazione del tasso di umidità presente all'interno degli ambienti.

Proprio perché essi riescono ad accumulare e rilasciare successivamente l'umidità possono fungere da valido aiuto nella regolazione delle condizioni interne, attenuandone i picchi. In presenza di elevati valori di UR questi materiali possono sottrarre parte dell'umidità all'ambiente circostante, riducendo e attenuando i possibili fenomeni di formazione di muffe e condensa superficiale.

9.4.4 Il trasporto dell'umidità

Ricordiamo anzitutto che per passare da uno stato gassoso a uno stato liquido le molecole d'acqua presenti nell'aria devono incontrare una superficie più fredda, dove si condensano riformando goccioline liquide.

Si hanno differenti meccanismi di trasporto dell'umidità tra l'esterno e l'interno delle strutture edilizie.

Essenzialmente possiamo citare il trasporto del vapore per diffusione, per diffusione superficiale e capillarità e il trasporto per convezione.

Si instaura un trasporto di vapore, e quindi di umidità, per **diffusione** allorquando si verifichi una differenza di pressione parziale di vapore tra le due facce di un materiale costruttivo: dalla faccia avente una pressione parziale maggiore si innescerà un flusso verso la parete a pressione parziale inferiore. Durante l'anno è possibile che si verifichi l'inversione del flusso proprio perché varia, durante il susseguirsi delle stagioni e secondo le diverse condizioni climatiche, la pressione parziale di vapore: in genere questo è diretto verso l'esterno nei periodi freddi e verso l'interno nei periodi caldi.

Il trasporto per **convezione**, invece, è legato alle correnti convettive che possono instaurarsi negli elementi costruttivi: attraverso le fessure si possono avere fughe nello strato di tenuta all'aria per cui si verificano, sempre per una differenza di pressione, flussi di aria umida: possono così avere luogo pericolosi accumuli interni. Ricordiamo che con questo meccanismo la quantità di umidità veicolata risulta decisamente superiore al precedente meccanismo.

Il trasporto per **diffusione superficiale** avviene quando il vapore acqueo presente nei pori capillari del materiale va a condensare, passando in forma liquida, e quindi venendo trasportato sulla superficie stessa del materiale.

Ha origine a seguito di una differenza di UR e quindi avrà direzione opposta al flusso di umidità dovuto alla diffusione nei differenti periodi, caldi e freddi. Inoltre tale meccanismo di trasporto è sensibile all'andamento delle temperature, per cui ad alte temperature si ha un incremento del fenomeno. Man mano che l'UR aumenta viene favorito il processo di condensazione del vapore sino alla completa occlusione dei pori.

Per **capillarità**, il vapore condensato in liquido verrà richiamato dagli stessi pori: esso ha direzione opposta al moto per diffusione e può instaurarsi anche per valori di UR attorno al 50% in alcuni materiali, a seconda della dimensione dei singoli pori. I pori con dimensione minore di 10^{-4} m e sino a 10^{-7} m sono adatti al trasporto capillare.

La risalita capillare può in alcuni casi raggiungere 2 metri d'altezza.

Il muro può bagnarsi in modo disomogeneo, a varie altezze. Ciò è causato da diversi fattori come: il tipo di materiale di cui è composto, la sezione degli spazi vuoti, la grandezza dei capillari e la traspirabilità dei rivestimenti.

La salinizzazione dei muri e dell'intonaco è la conseguenza dell'umidità di risalita capillare. Le molecole d'acqua che provengono dal terreno trasportano vari tipi di cristalli di sale (presenti normalmente nel suolo) fino alle zone più alte. Non potendo evaporare come l'acqua, il sale si accumula nel muro causando il distacco della pittura e dell'intonaco. Un cristallo di sale quando si cristallizza si espande e aumenta il suo volume di ben 12 volte.

► 9.4 | L'umidità e il degrado dell'edificio

La presenza della muffa nera nelle parti alte, sugli angoli dei soffitti, vicino a finestre e porte, non è dovuta all'umidità di risalita presente nel muro (solitamente rilevabile nelle zone basse e al piano terra) ma è causata da una condensazione di umidità.



Umidità di risalita in facciata con mattoni a vista. Fonte: Biodry Wall & Wall



Umidità di risalita ed efflorescenze saline sulle colonne di una chiesa. Fonte: Biodry Wall & Wall. In questa foto si nota come l'umidità di risalita abbia raggiunto una altezza di quasi 3 metri e saturato le colonne di sali causando crepe e distacchi dell'intonaco e del rivestimento.

Un fattore che influenza il livello di risalita dell'umidità, meno conosciuto ma molto determinante, è il Potenziale Elettrico del muro. Quando un muro è umido assume una caratteristica elettrica. Tra il pavimento e la parte bagnata più alta del muro si crea una differenza di potenziale che può essere misurata con strumenti elettrici.

Correnti elettrochimiche, correnti vaganti nel terreno, elettrosmog causato da antenne radio, dispersioni elettriche da impianti elettrici e correnti elettrostatiche possono incrementare notevolmente il fenomeno dell'umidità da risalita capillare. A causa di queste interferenze si crea un flusso di corrente tra il terreno e il muro che attira l'umidità verso l'alto.

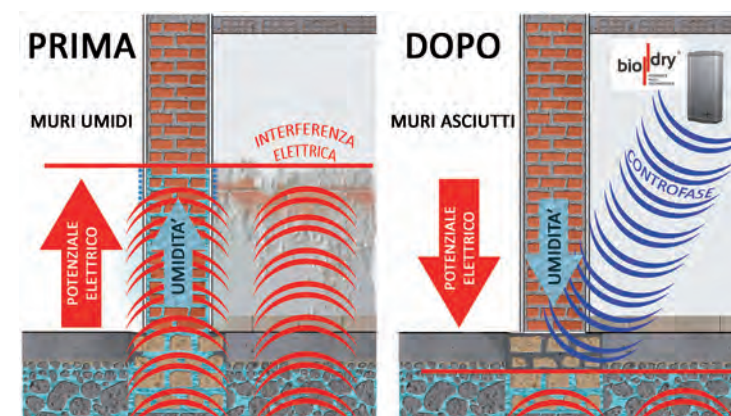
Una delle prime cause che porta uno squilibrio elettrico nei muri è lo scorrimento sotterraneo delle falde acquifere: questo crea una corrente elettrostatica che aumenta la differenza di potenziale tra muro e terreno. Infine, in presenza di una corrente ascendente, si nota che le molecole d'acqua vengono trasportate a quote maggiori di quanto dovrebbero salire per sola capillarità.



Muro in sassi con efflorescenze saline causate da umidità di risalita. Fonte: Biodry Wall & Wall. L'evaporazione di umidità da questo muro ha fatto accumulare molti sali sopra le pietre, rendendole bianche. Si possono vedere anche le fughe spaccarsi per la pressione dei sali. Qualsiasi ristrutturazione è destinata a durare poco se prima non viene risolto il problema dell'umidità di risalita.

BIODRY

LE AZIENDE INFORMANO



Fase 4 - il segnale viene trasportato dalla naturale onda del campo magnetico terrestre per un raggio di alcune decine di metri senza creare elettro-smog.

I muri perdono la caratteristica elettrica che ne incrementava la capillarità e si asciugano naturalmente per evaporazione e per gravità.

Oltre all'installazione del dispositivo **Biodry** viene eseguita un'attenta analisi se-

condo la normativa UNI 11085/2003 sui muri dello stabile. A distanza di sei mesi si esegue il primo controllo per monitorare come da Protocollo il prosciugamento dei muri. Si eseguono poi un secondo ed un terzo controllo a distanza di un anno per confermare il definitivo prosciugamento dei muri.

Caratteristiche tecniche

Dimensioni del dispositivo Biodry Technology:
Altezza 24 cm. - Larghezza 11 cm. - Spessore 6 cm.

Prodotti

Dispositivo Biodry



Certificazioni



WALL & WALL S.a.g.l.

Via Funicolare, 2 - 6900 - Lugano (CH)
Tel +41 91 971 5437 - Fax +41 91 971 5436

Contatti: Daniele Tarabini +41 79 17 33 860

www.biodry.eu
info@biodry.eu

L'umidità di risalita capillare è uno dei più frequenti problemi che interessano gli edifici situati al piano terra, in cui è assente l'isolamento tra il terreno e le fondazioni: le molecole dell'acqua hanno la caratteristica di restare legate fra loro per effetto della forza di coesione, forza che permette loro di "attaccarsi" ad altre molecole di materiali diversi, eccetto le sostanze oleose. Un muro umido inoltre, per via della sua composizione chimica, assume una caratteristica elettrica.

Tra la base del muro e la parte superiore si crea una differenza di potenziale elettrico per diverse concause: correnti elettrochimiche, correnti vaganti nel terreno, elettrosmog causato da antenne radio, dispersioni elettriche da impianti elettrici, correnti elettrostatiche e movimento delle falde acquifere che possono incrementare il fenomeno dell'umidità di risalita capillare.

La tecnologia **Biodry** inverte questo flusso di corrente che trasporta le molecole dell'acqua verso l'alto dei muri, semplicemente interrompendo l'interferenza elettrica nei muri. L'umidità presente ritorna nel terreno, punto da cui è partita, in modo assolutamente naturale, garantendo il definitivo prosciugamento dei muri.

Fasi dell'intervento

Fase 1 - l'edificio è interessato da interferenze elettriche naturali che creano una differenza di potenziale elettrico all'interno del muro. Il potenziale elettrico aumenta la forza di coesione della molecola d'acqua incrementando così la capacità capillare del materiale di costruzione.

Fase 2 - installato il dispositivo, **Biodry** capta come un'antenna il segnale elettrico naturale ed entra in frequenza (fenomeno fisico detto RISONANZA).

Fase 3 - **Biodry** inverte il segnale captato e lo emette in direzione opposta (fenomeno fisico detto CONTROFASE).

Le due forze di pari intensità contrapposte si annullano.

Biodry elimina così l'interferenza elettrica e di conseguenza la differenza di potenziale elettrico.



LE COPERTURE VERDI

Le coperture a verde giocano un ruolo molto interessante per il benessere termico di un edificio, contribuendo a significative economie energetiche sia in periodo estivo, sia d'inverno, ma possono anche incidere sulle condizioni ambientali esterne all'edificio: oltre agli aspetti puramente naturali ed estetici, contribuiscono all'assorbimento acustico e delle polveri, a rendere più mite la temperatura anche intorno all'edificio (la cosiddetta isola di calore), a trattenere l'acqua piovana. Va sempre ricordato che le coperture verdi non sono "materiali" in senso stretto, ma sistemi viventi, quindi complessi e dotati di dinamiche legate all'esterno, a partire dal clima e dalle stagioni: gli involucri verdi, così come le coperture verdi pensili, sono quindi difficili da rendere attraverso schemi e formule. Le loro prestazioni, infatti, sono attualmente oggetto di studio, anche attraverso la raccolta di esperienze sottoposte a misurazione, al fine di valutare in modo più preciso il reale impatto sul comportamento dell'edificio dal punto di vista sia termico sia energetico.

10

10.1 | La progettazione

La progettazione di una copertura a verde può avere obiettivi diversi, dal semplice miglioramento delle prestazioni termiche alla creazione di uno spazio all'aperto fruibile. Nel primo caso la copertura verrà realizzata in modo da ottenere il rallentamento e la riduzione del calore estivo che entra nell'edificio, con forti risparmi energetici rispetto agli impianti di condizionamento tradizionali. Nel secondo caso sarà importante tenere conto anche di altri fattori, quali i carichi che gravano sulla struttura, la resistenza all'usura del tipo di vegetazione impiegato e la facilità di manutenzione.

Di fondamentale importanza è poi l'adattabilità al clima locale: basti pensare, rimanendo in Italia, alle differenze fra la vegetazione delle zone alpine e quella mediterranea.

10.1.1 Le tipologie

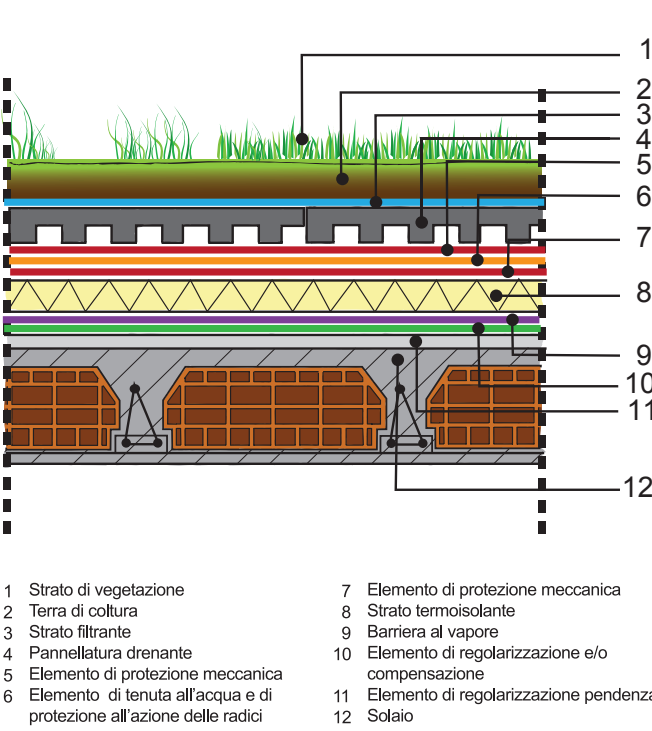
I rivestimenti verdi possono essere suddivisi in base all'estensione – a verde estensivo o intensivo – e al carico che producono sulla copertura.

Adatto alla copertura di grandi spazi (centri commerciali, capannoni), il rivestimento estensivo comporta un carico di circa 100 daN/mq. In genere si preferiscono piante erbacee o arbusti di pic-

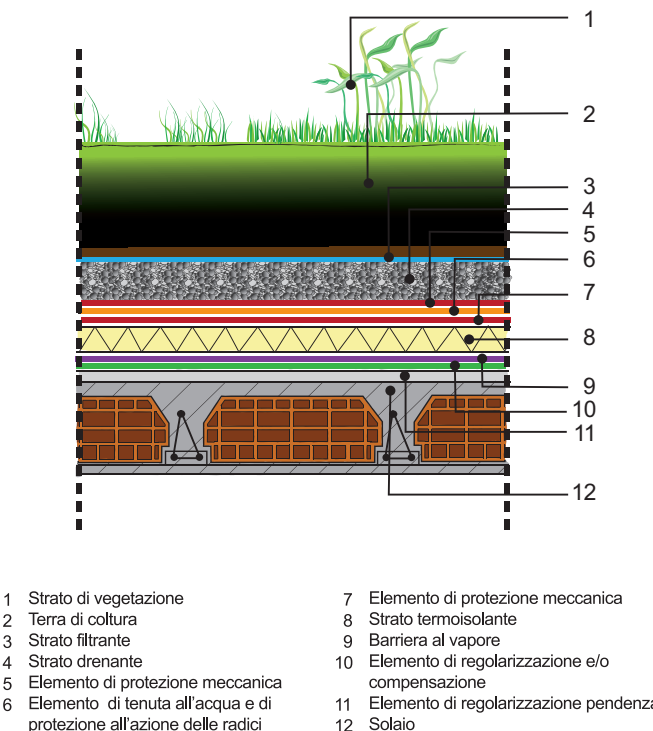
cole dimensioni, che non richiedono grandi manutenzioni. Il rivestimento intensivo è invece adatto a tetti che sopportano un carico superiore a 150 daN/mq, e può comprendere anche alberi, oltre a cespugli, piante erbacee, prato. La manutenzione è più impegnativa, e l'irrigazione può avvenire sia attraverso sistemi di innaffiamento automatico sia utilizzando gli accumuli d'acqua.

Nella scelta della tipologia di copertura si tiene conto di due suddivisioni, rispetto all'accumulo idrico (con o senza) e di posizione dell'elemento termoisolante (sopra o sotto l'elemento di copertura). La copertura con accumulo idrico è preferibile in aree con piogge scarse o quando si utilizzano piante che richiedono molta acqua, mentre quella senza accumulo idrico può essere impiegata in aree dove non c'è il problema della siccità o con specie vegetali che non abbisognano di grandi quantità d'acqua, e dove non si vuole che attecchiscano piante indesiderate.

A seconda della tipologia prescelta, estensiva o intensiva, lo strato di coltura varia indicativamente dai 5 ai 50 cm ed è composto da un misto di torba e argilla espansa, che alleggerisce il tutto; rispetto a un terreno vero e proprio presenta un valore di conducibilità termica decisamente inferiore. Lo strato di coltura, grazie all'inerzia termica della stratigrafia, riduce e sfasa temporalmente l'onda termica.



Schema tipologico verde estensivo



Schema tipologico verde intensivo

La copertura a verde ha l'elemento termoisolante posto sopra l'elemento di tenuta quando si intende evitare l'utilizzo di uno strato per controllare la diffusione al vapore, e comporta l'uso di un termoisolante a basso assorbimento idrico non suscettibile di modificazioni chimico-fisiche causate da fertilizzanti o dalle radici. La copertura con elemento termoisolante posto sotto l'elemento di tenuta prevede la presenza di uno strato per il controllo della condensazione interstiziale. Va ricordato che se si rendono necessarie operazioni di termosaldatura della membrana impermeabilizzante, l'elemento termoisolante deve poterle sopportare senza danni.

10.1.2 Il LAI (Leaf Area Index)

Un aspetto importante per prevedere l'impatto di una copertura a verde sulle prestazioni energetiche dell'edificio è il LAI (Leaf Area Index), ossia il rapporto fra l'area delle foglie e quella della superficie di base.

Lo strato vegetale composto dalle foglie funge da filtro su diverse lunghezze d'onda e, attraverso l'ombreggiamento rispetto alla radiazione incidente, modifica lo scambio termico radiativo della copertura. Lo strato di coltura viene infatti colpito solo dalla quota di radiazioni che non è stata bloccata dalla superficie delle foglie: si comprende facilmente come sia importante valutare la conformazione delle foglie e il loro angolo geometrico rispetto al piano orizzontale. Poiché un rivestimento vegetale emette meno radiazioni all'infrarosso in confronto ad altri tipi di coperture normalmente utilizzate, ne deriva una minore temperatura radiante superficiale.

10.1.3 Valutazione delle condizioni ambientali

Per poter definire il tipo di copertura e le specie vegetali da utilizzare è fondamentale valutare le condizioni ambientali di partenza e le necessità di manutenzione e irrigazione delle piante prescelte. È sempre preferibile orientarsi verso piante adatte al clima specifico.

Vanno quindi presi in considerazione vari elementi che influiscono sulla copertura vegetale:

- l'esposizione solare
- la qualità dell'aria e i vari fattori di inquinamento (inquinamento ambientale generale, salsedine, ma anche polveri e fumi emessi da impianti tecnici dell'edificio stesso)
- l'esposizione ai venti
- il carico di neve che può interessare la copertura
- la compatibilità con le altre specie vegetali presenti nell'ambiente.

10.1.4 Piante non idonee

Alcuni tipi di vegetali sono decisamente sconsigliabili, in quanto possono provocare danni alle coperture verdi. In particolare, sono da evitare le piante che hanno un apparato radicale robusto e invadente, infestante nei confronti delle altre specie presenti, o rizomi aggressivi. Fra le piante infestanti vanno segnalati il trifoglio e le graminacee.

10.1.5 Capacità richieste alla copertura verde

Per la buona riuscita di una copertura verde devono essere presi in considerazione vari altri elementi durante la fase di progettazione.

Capacità drenante

È particolarmente importante nelle zone in cui il carico d'acqua è maggiore, come il perimetro della copertura. La funzione è assolta da uno specifico elemento drenante, al quale deve giungere l'acqua: di conseguenza, la permeabilità all'acqua degli elementi e strati soprastanti deve essere maggiore o uguale. Per i sistemi senza accumulo idrico occorre verificare la portata idraulica dell'insieme, che deve essere tale da evitare, in normali condizioni d'uso, la formazione di battenti idrici. È necessario determinare la portata idraulica Q per poter scegliere l'elemento drenante idoneo.

Capacità di aerazione dell'elemento drenante

In condizioni di normale esercizio, quindi in assenza di eventi piovosi eccezionali, è necessario che nell'elemento drenante sia presente almeno il 60% di volume d'aria; inoltre, per evitare che le radici delle piante si deteriorino, fra il pelo libero dell'acqua eventualmente presente e l'elemento filtrante ci deve essere uno spessore d'aria di minimo 1 cm, pari al 30% almeno dello spessore dell'elemento drenante.

Capacità di accumulo idrico

L'elemento di accumulo idrico, generalmente integrato con quello di drenaggio, consente di trattenere l'acqua piovana o di irrigazione, rilasciandola quando ve ne è necessità. Si utilizzano a questo scopo aggregati granulari ed elementi prefabbricati. Nella scelta delle soluzioni tecniche si deve tenere conto del contesto climatico, delle specie di piante prescelte e delle loro necessità idriche: nel calcolo del fabbisogno va considerata solo la quantità di acqua effettivamente disponibile per l'assorbimento da parte delle radici, inclusa quella dovuta a irrigazione artificiale e quella contenuta nello strato coltivato.

► | 10.2 | Gli elementi della copertura verde

La stratigrafia delle coperture a verde comprende, per la normativa italiana, nove elementi che svolgono altrettante funzioni primarie. In realtà alcuni degli elementi possono svolgere più funzioni, in base al materiale che li compone e allo spessore della stratigrafia: ad esempio un solo elemento per accumulo idrico e drenaggio, oppure strato protettivo dalle radici e impermeabilizzante insieme. Le caratteristiche complete di ogni singolo componente della stratigrafia sono descritte dalla normativa UNI 11235, che indica anche requisiti e frequenza di manutenzione.

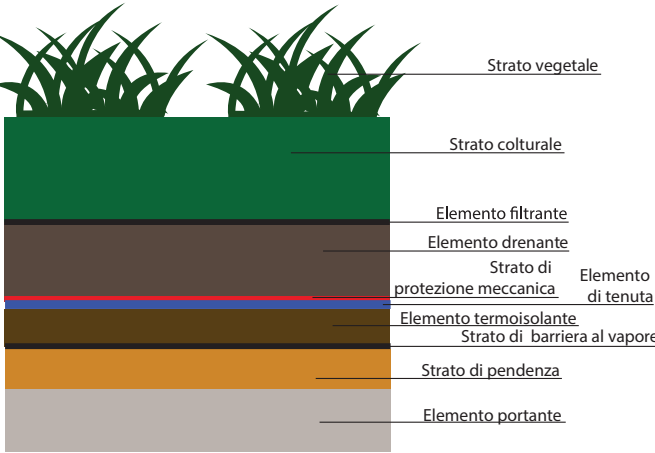
La vegetazione

La vegetazione, cui è affidato il compito di rivestimento, è un materiale “vivente”, che cresce di volume nel tempo. Al momento di progettare una copertura a verde è quindi necessario tenere conto di vari fattori: spessore e tipologia – estensiva o intensiva – del rivestimento, orientamento, inclinazione e soleggiamento, ombre portate da edifici o altri corpi, densità e collocazione delle piante. Per quanto riguarda la scelta delle specie idonee, è bene considerare quelle che vivono nel territorio, e che per questo dimostrano di sopravvivere bene nel contesto climatico. Quando lo spessore è ridotto sono preferibili le specie rustiche, più resistenti al freddo e al caldo e all'eventuale scarsità d'acqua, che la normativa raccomanda anche per le coperture estensive.

Scelta delle specie e dimensionamento dello strato vegetale sono ovviamente correlati.

Il substrato di coltivo

Al substrato sono affidate funzioni essenziali per la vita e lo sviluppo delle piante: il nutrimento; l'ancoraggio, in quanto ospita le radici; la riserva d'acqua a cui la pianta attinge.



Stratigrafia di una copertura a verde

Nelle coperture a verde il substrato è composto da materiali inorganici e organici. Fra i primi, che provvedono ad aerare, alleggerire e fornire capacità drenante al substrato, ricordiamo argilla espansa e perlite. I materiali organici – compost, torba, fibre di cocco e altri – hanno funzione fertilizzante. La normativa fa riferimento a valori minimi di spessore del substrato, che possono essere ampiamente incrementati.

Il filtraggio

L'elemento filtrante trattiene le particelle sottili di terra che potrebbero scendere verso gli elementi di drenaggio e accumulo idrico, occupando gli spazi vuoti sottostanti. Aggregati granulari, come pietra pomice, lapillo, perlite espansa, e geotessuti sono i materiali più comunemente impiegati.

La normativa italiana prevede che l'elemento filtrante, per funzionare adeguatamente, debba avere una permeabilità all'acqua almeno decupla di quella dello strato colturale.

Il drenaggio e l'accumulo idrico

Il sistema di drenaggio ha la funzione di eliminare l'acqua sovrabbondante dagli strati sotto la superficie del rivestimento verde, in modo da preservare le radici dai danni portati dall'eccessiva umidità del substrato. Altra funzione, come abbiamo già visto, è quella di prevenire la formazione, in condizioni normali, di un battente idrico sopra l'elemento di tenuta. L'elemento di drenaggio si inserisce fra lo stato colturale e quello di tenuta, creando spazi vuoti che permettono all'acqua in eccesso – sia piovana sia di irrigazione – di defluire agevolmente lungo il piano di falda, verso le gronde. Così facendo si evitano aumenti di livello eccessivi dell'acqua in occasione di piogge intense o prolungate.

Per il drenaggio e l'accumulo dell'acqua si usano due tipi di materiali: aggregati granulari (argilla espansa, lapillo, perlite, etc.) e pannelli preformati (polistirene, polietilene, etc.).

Gli aggregati, che sono gli stessi utilizzati nel substrato di coltivo, hanno una porosità che consente di trattenere l'acqua al loro interno, mentre gli interstizi fra granuli provvedono al drenaggio. Ricordiamo che i materiali granulari contengono sostanze utili alle piante e favoriscono il radicamento e lo sviluppo delle specie vegetali.

I pannelli preformati, in materiale plastico, presentano cavità in grado di contenere l'acqua e consentono, attraverso la loro sagomatura, la formazione di una lama d'aria fra il pelo libero delle cavità stesse e l'elemento filtrante. Questi pannelli vengono in genere preferiti in caso di coperture molto estese.

Come si può facilmente comprendere, la quantità d'acqua che è necessario accumulare in una copertura verde varia fortemente a seconda del tipo di clima e del tipo di piante prescelte. Indicativamente, le coperture estensive con 10 cm di substrato poggiano su un elemento di drenaggio e accumulo di circa 4-5 cm. In caso di coperture intensive lo spessore sarà maggiore, con lo strato culturale che, più profondo e organico, tratterrà



notevoli quantità di acqua a disposizione delle piante.

Il drenaggio deve coprire tutta la falda e va rinforzato nei punti sottoposti a carichi idrici più intensi, come bordi perimetrali o elementi che emergono dal piano di falda, come ad esempio i camini.

La protezione meccanica

Questo elemento protegge la membrana impermeabilizzante dai carichi sovrastanti, sia statici sia dinamici, a partire dalla realizzazione della copertura e per tutta la sua vita di esercizio.

L'elemento di protezione meccanica, che deve pertanto essere posizionato subito dopo l'elemento di tenuta, è in genere realizzato in geo-compositi e geotessili, in polistirene o in calcestruzzo.

L'impermeabilizzazione e la protezione dalle radici

La funzione di impermeabilizzazione – che trattiene l'acqua impedendo che passi agli strati sottostanti – nelle coperture a verde spesso è integrata con quella di protezione dalle radici mediante l'uso di membrane sintetiche, in polivinilcloruro o poliolefine: parecchie specie vegetali hanno infatti radici in grado di passare le membrane bituminose. Queste ultime si posano generalmente in doppio strato, mentre per le membrane sintetiche è sufficiente un unico strato.

La normativa prevede alcuni accorgimenti:

- i risvolti verticali devono superare di almeno 15 cm la quota dello strato colturale, ma in situazioni in cui le nevicate siano cospicue bisogna prevedere un risvolto maggiore
- occorre predisporre elementi aggiuntivi di drenaggio quando non c'è la possibilità di risvoltare la membrana su un supporto verticale
- è necessario prevedere la protezione dei risvolti verticali.

Inclinazioni della copertura

Se le coperture orizzontali o leggermente inclinate possono essere dotate di substrati di spessore anche notevole, che consentono un importante sviluppo della vegetazione, le falde inclinate oppure curve presentano il problema dello scivolamento dei materiali granulari. In questi casi occorre ridurre lo spessore del substrato, inserire elementi rompi-tratta e usare elementi anti-erosione.

Le coperture a falde non hanno, per le normative italiane e tedesche, un limite massimo di spessore colturale ma è bene non superare i 15 cm; se le pendenze sono forti, questo limite va abbassato ulteriormente: ne consegue che le piante utilizzate potranno essere solo di piccole dimensioni.

► | 10.3 | Effetti su edificio e ambiente esterno

Le coperture a verde presentano numerosi benefici che si riflettono non solo sull'edificio (impermeabilizzazione e gestione idrica) ma anche sull'ambiente costruito circostante. Infatti, la vegetazione funge da elemento di schermo e riduce le temperature delle superfici sottostanti, ma al tempo stesso utilizza l'energia solare per svolgere attività che diminuiscono la temperatura media radiante dell'aria (traspirazione e fotosintesi clorofilliana) e contribuisce all'ombreggiamento e alla schermatura dal vento. La qualità dell'aria migliora, perché le piante producono ossigeno, assorbono le polveri sottili e fissano il carbonio. La traspirazione contribuisce inoltre a variare l'umidità relativa e a formare una microcircolazione ventosa. Non vanno poi trascurati i vantaggi estetici e paesaggistici: la presenza del verde accresce la sensazione di vivibilità e di qualità ambientale, e di conseguenza la desiderabilità e il valore economico dell'edificio.

10.3.1 Comportamento termico sull'ambiente interno

Il substrato di coltivo, soprattutto quando è dotato di un certo spessore, apporta effetti termicamente virtuosi. Come dimostrato da più studi, la trasmittanza termica di un terreno – o substrato – varia notevolmente in rapporto al suo contenuto di acqua. Se un terreno asciutto ha una trasmittanza simile a quella di un materiale isolante, un terreno bagnato raggiunge valori superiori a quelli del calcestruzzo. Il comportamento termico della copertura, quindi, varia costantemente in relazione all'umidità contenuta nel substrato, la quale a sua volta varia di continuo a causa dell'assorbimento da parte delle piante e dell'evaporazione. Con clima estivo, il substrato asciutto funge da isolante termico; se è umido, il calore assorbito viene dissipato con l'evaporazione e quindi estrae calore dall'ambiente interno. Con clima invernale il substrato funge da isolante, in maggior misura quando è asciutto rispetto a quando è umido. Va pertanto segnalato come i maggiori benefici si abbiano durante il periodo estivo.

Alcuni valori di conduttività termica

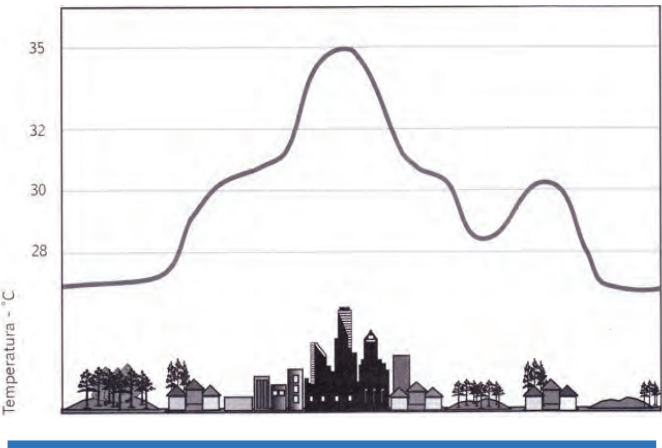
Materiale	Conduttività Termica [W/mK]
terra asciutta	circa 0,2
terra umida	1,0 -1,8
terra satura d'acqua	circa 3,0
acqua distillata	0,6
aria	0,026
calcestruzzo	2,3
legno mineralizzato	0,1

I valori si riferiscono a suoli differenti e pertanto sono da considerarsi indicativi. Il contenuto d'acqua e quindi la conduttività termica di un terriccio sono estremamente variabili e dipendono da molti fattori (granulometria delle particelle, contenuto di materiale organico, porosità, etc.).

10.3.2 Comportamento termico sull'ambiente esterno

Il processo di evapo-traspirazione dal substrato, che con clima estivo può raggiungere i 3-4 mm, attenua il fenomeno detto isola di calore. In particolare nei centri densamente costruiti, questo viene definito isola di calore urbana (Urban Heat Island) e contribuisce all'aumento di qualche grado della temperatura rispetto alla campagna circostante. Benché interessi tutte le 24 ore, si percepisce più nettamente a partire dalla sera, perché le zone edificate si raffreddano più lentamente a causa del calore accumulato dagli edifici.

Il grafico qui sopra illustra come la temperatura delle zone dove



Isola di calore. Fonte elaborata: www. globalchange.gov

è presente vegetazione sia inferiore rispetto a quelle delle città, soprattutto, e delle zone antropizzate. La scarsità di vegetazione è infatti uno dei più importanti fattori di aumento della temperatura dell'aria nei centri urbani: gli altri sono l'aumento dell'assorbimento della radiazione solare connesso a un'albedo diversa, data dalle superfici edilizie scure, con conseguente accumulo diurno, e cessione notturna, di calore da parte degli edifici; la riduzione del mescolamento atmosferico data dalla scarsa ventilazione dovuta alla presenza di edifici alti, le riflessioni multiple nei canyon urbani. L'isola di calore rappresenta un elemento negativo per quanto riguarda i consumi: l'incremento di temperatura spinge infatti all'uso massiccio di energia per l'uso di impianti di condizionamento e raffrescamento, il che comporta non solo un costo economico ma anche un ulteriore aumento di temperatura dell'aria esterna. In prossimità di una copertura a verde la temperatura dell'aria è simile a quella di un suolo naturale, mentre intorno alle superfici costruite, in particolare quelle con rivestimento bituminoso, risulta molto più elevata.

► | 10.4 | Effetti sulle risorse idriche a livello urbano

Tutta l'acqua che precipita a terra e sugli oceani è pari a tutta l'acqua che evapora dal terreno e dagli oceani. Nei territori antropizzati l'acqua rappresenta, oltre che una risorsa indispensabile per tutte le attività, anche un potenziale pericolo.

Le coperture a verde hanno un effetto positivo anche dal punto di vista idrico: limitano infatti la quantità di acqua piovana che viene perduta nei corpi superficiali, trattenendone una quota che – in parte assorbita dalle piante per i loro processi fisiologici e in parte evaporata dal terreno – ritorna interamente in atmosfera. Questo volume di acqua, che viene sottratto al deflusso superficiale del substrato, viene chiamato volume di ritenzione. Con l'aumentare dell'impermeabilizzazione del suolo varia il bilancio idrologico: l'evaporazione e l'infiltrazione diminuiscono con il crescere del deflusso superficiale. Quando l'impermeabilità supera il 75% l'infiltrazione si riduce al 15%, mentre il valore di un suolo naturale è del 50%. (Fonte: AA.VV., *Stream Corridor Restoration: Principles, Processes, and Practices*, Federal Interagency Stream Restoration Working Group - FISRWG, 15° Federal agencies of the US).

Coefficienti di deflusso di diverse tipologie di superfici
Fonte: Abram, Giardini pensili.

Tipo di superficie	Coefficiente di deflusso
Asfalto o piastre con fuga sigillata	0,85 - 0,90
Porfido con fuga sigillata	0,75 - 0,85
Porfido con fuga non sigillata	0,30 - 0,70
Impianti sportivi in materiale sintetico	0,60
Copertura inclinazione > 3°	0,90 - 1
Copertura inclinazione < 3°	0,80
Copertura con zavorrata in ghiaia	0,70
Copertura piana a verde semi-intensivo con strato colturale = 15-25cm	0,30
Terra, cortile	0,10 - 0,20
Giardino, orto, area verde	0 - 0,10

In sintesi, la ritenzione idrica propria di un rivestimento verde presenta i seguenti vantaggi:

- diminuisce il deflusso idrico totale
 - filtra l'acqua, grazie allo strato colturale che trattiene le particelle
 - tramite l'evapotraspirazione restituisce l'acqua all'atmosfera, sotto forma di vapore
 - quando piove non genera picchi di deflusso nelle reti di drenaggio urbano, in quanto ritarda l'arrivo dell'acqua.
- Numerosi fattori concorrono a determinare il valore della ritenzione: la composizione e lo spessore della stratigrafia della copertura a verde, la pendenza e, ovviamente, le precipitazioni e i fattori climatici, essendo l'evapotraspirazione molto più intensa quando ci sono temperature elevate e climi secchi.

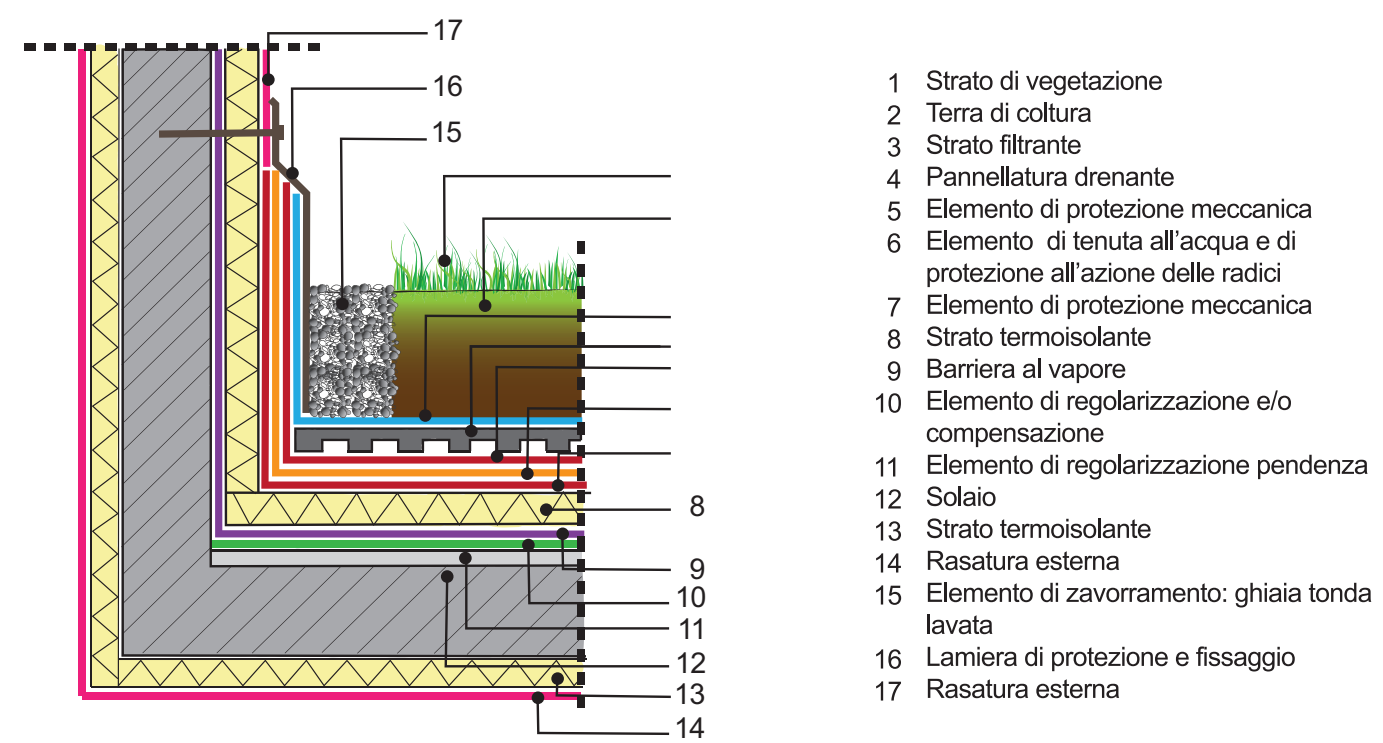
Il coefficiente di deflusso

Questo coefficiente è strettamente legato allo spessore dello strato colturale: più lo strato è spesso più aumenta la ritenzione idrica: in media un substrato di 30-40 cm ha una capacità di ritenzione idrica molto maggiore (80% di acqua trattenuta e 20% rilasciata) confronto a un substrato di 8-10 cm (40% di acqua trattenuta e 60% rilasciata).

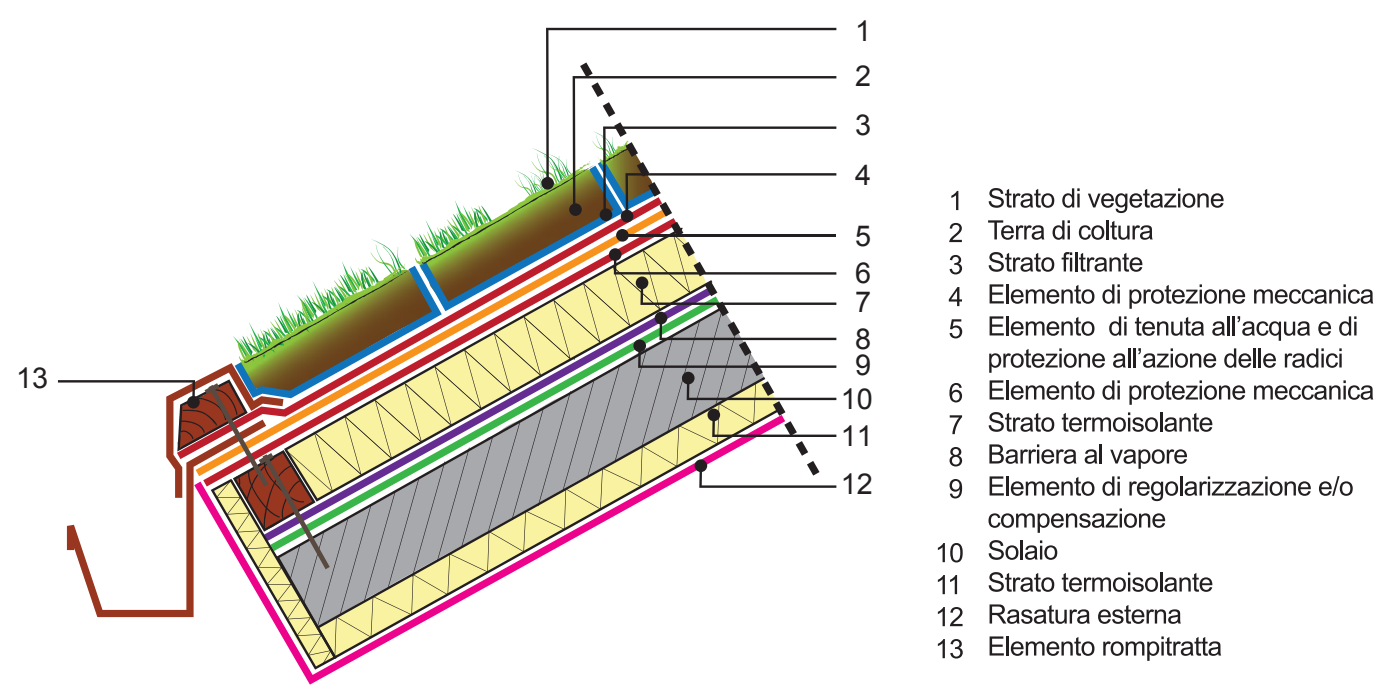
Variazione del coefficiente di deflusso della copertura a verde in relazione allo spessore del substrato e alla pendenza della falda
Fonte: FLL - *Green roofing guidelines*, 2008: 48.

Spessore dello Strato colturale - S [cm]	Coefficiente di deflusso	
	Pendenza < 15°	Pendenza > 15°
S>50	0,1	-
25<S<50	0,2	-
15<S<25	0,3	-
10 < S < 15	0,4	0,5
6<S<10	0,5	0,6
4<S< 6*	0,6	0,7
2<S<4*	0,7	0,8

* Per il verde estensivo la normativa italiana impone uno spessore minimo del substrato pari a 8 centimetri.



Particolare tetto verde intensivo



Esempio di tetto verde estensivo in pendenza

La modellazione software

Come abbiamo visto, una corretta progettazione eco-sostenibile di edifici e strutture prevede un'analisi preliminare del sito, finalizzata a definire gli obiettivi progettuali e individuare le possibili soluzioni. La verifica di queste soluzioni rappresenta lo strumento di controllo del raggiungimento degli obiettivi prefissati, in caso sia di nuova costruzione sia di recupero. A questo scopo, sono attualmente disponibili numerosi strumenti software di simulazione e controllo delle prestazioni energetiche in fase progettuale, con i quali si può verificare l'effetto di una modifica a un costo molto ridotto se confrontato a quello che richiederebbe uno studio di queste alternative nella realtà.

Ricordiamo che le simulazioni effettuate in regime stazionario consentono solo parzialmente di indagare le reali caratteristiche di funzionamento e le prestazioni dell'edificio, mentre i sistemi più complessi che studiano il regime dinamico permettono analisi più approfondite, poiché analizzano le prestazioni energetiche di un edificio nel tempo, in dipendenza di vari fattori (clima esterno, occupanti, sistemi di riscaldamento e raffrescamento, etc.).

I principali software

PHPP

Il PHPP (PassivHaus Projektierungs Paket) è un software sviluppato dal Passivhaus Institut (PHI) - Istituto Case Passive. Permette la progettazione e la verifica dei requisiti dello standard energetico delle Case Passive attraverso un calcolo dinamico semplificato derivato da approssimazioni del comportamento reale dell'edificio, conseguente ad analisi condotte con software di analisi dinamica.

ECOTECT

Il software Autodesk® Ecotect® Analysis permette di eseguire analisi sulle prestazioni energetiche e l'integrazione climatica degli edifici, con simulazioni e analisi di ombreggiamento, illuminazione naturale e artificiale, performance termica, acustica, costi e impatto ambientale.

TOWN SCOPE

Valuta la potenzialità solare del sito: analizza accesso solare, apertura al cielo, lunghezze viste, visibilità e comfort termico. Mostra la distribuzione spaziale delle aree con condizioni di soleggiamento simili; i risultati delle analisi riguardano sia la radiazione solare totale che le sue tre componenti: diretta, diffusa e riflessa.

ENVIMET

A modello tridimensionale, questo software simula e riproduce il comportamento micro-climatico e fisico di aree urbane considerando le interazioni fra edifici, superfici, vegetazione, flussi d'aria e di energia di una porzione di area urbana sollecitata dalle condizioni climatiche di contesto geografico. Viene spesso impiegato per studi su effetti dell'isola di calore nelle città, su qualità dell'aria e diffusione degli inquinanti.

RAY MAN

Come accennato nei precedenti capitoli il modello biometeorologico più usato per determinare le condizioni di comfort termico in ambienti moderati è il PMV (Predicted Mean Vote o Voto Previsto Medio), frutto di studi condotti da Fanger nel 1970. Il software RAY MAN permette la stima del PMV, agendo su numerosi parametri, oggettivi e soggettivi.

ESP-R

Il software ESP-r (Environmental System Performance, research version) simula il comportamento degli edifici dal punto di vista termico, illuminotecnico, acustico; valuta i flussi di energia e le emissioni gassose connesse con i sistemi di controllo dell'ambiente e i materiali da costruzione in regime dinamico.

TRNSYS

TRNSYS (programma di simulazione a regime transitorio) è un programma ideato per simulare in modo approfondito il comportamento energetico di un edificio; in particolare è usato per l'analisi del comportamento dei sistemi HVAC e del loro dimensionamento, per una progettazione attenta alle performance energetiche.

EnergyPlus

EnergyPlus è un software basato sui programmi BLAST (Building Loads Analysis and System Thermodynamics) e DOE-2, sviluppati negli Anni '80 per poter eseguire stime e simulazioni sui carichi energetici degli edifici. Gli input sono geografici, meteorologici e dati riguardanti le caratteristiche proprie dell'edificio.

OpenStudio

OpenStudio è un plug-in gratuito per SketchUp che permette di creare e modificare il file di input di EnergyPlus IDF. Dopo aver modellato la geometria dell'edificio in SketchUp, è possibile, tramite OpenStudio, creare e modellare diverse zone termiche e salvare il file in formato .idf.

RADIANCE

Il software è progettato per fornire calcoli e previsioni sugli effetti della luce: consente di ottenere risultati numerici attraverso i quali misurare, simulare e progettare reali configurazioni di illuminazione. Benché molto versatile e preciso, Radiance ha un notevole livello di complessità d'uso e manca di un'interfaccia grafica evoluta.

DAYSIM

Con questo software si può valutare l'influenza dei sistemi schermanti sul dispendio di energia elettrica dovuto all'uso di luce artificiale necessaria a mantenere i livelli di illuminamento prefissati sul piano di lavoro. Vengono considerati, per qualunque condizione di cielo stabilita, i consumi elettrici necessari, valutando tipo e la potenza delle lampade installate.

RETScreen

Si tratta di un software per l'analisi di progetti che utilizzano energie provenienti da fonti rinnovabili e può essere utilizzato per valutare produzione e risparmio di energia, costi gestionali, riduzione delle emissioni, aspetti finanziari e rischi di vari tipi di tecnologie efficienti e rinnovabili.

THERM 7.2

Si tratta di un software per il calcolo del comportamento termico dei ponti termici e del valore di trasmittanza termica lineica

ad essi associato. Il software è elaborato dalla Berkley University della California.

I software per la certificazione della prestazione energetica

DOCET

Si tratta di un software di diagnosi e certificazione energetica di edifici residenziali esistenti, con superficie sino a 3000 mq. Il software è aggiornato secondo la metodologia di calcolo semplificata, riportata all'interno delle norme tecniche UNI TS 11300. Lo strumento DOCET si contraddistingue per un'elevata semplificazione dei dati in input.

La procedura elaborata consente di effettuare un'analisi dei diversi fabbisogni di energia sia per l'intero edificio che per un solo appartamento.

DOCET pro 2010

DOCET pro 2010 è un software "non commerciale" ideato per certificare edifici residenziali e non, esistenti e di nuova costruzione, senza limitazioni di superfici. In esso è sviluppata in dettaglio l'applicazione delle norme UNI TS 11300 secondo quanto definito dalle Linee Guida nazionali per la certificazione energetica.

Il software è utilizzabile on-line, previa registrazione alla piattaforma XClimate Europe, e non richiede alcun download.

Bibliografia

- Victor Olgyay, *Progettare con il clima*, Franco Muzzio Editore, 1990
- Mario Grosso, *Il raffrescamento passivo degli edifici in zone a clima temperato*, Maggioli Editore, 2011
- Clara Masotti, *Comfort estivo e risparmio energetico in architettura*, Maggioli Editore, 2012
- Alessandro Rogora, *Progettazione bioclimatica per l'architettura mediterranea*, Wolters Kluwer Italia Srl, 2012
- Massimo Capolla, *La casa energetica - indicazioni e idee per progettare la casa a consumo zero*, Maggioli Editore, 2009
- Giuseppe Todisco et al., *M.A.R.S. Manuale dell'architettura residenziale sostenibile*, Alinea Editrice, 2012
- Paola Sassi, *Strategie per l'architettura sostenibile*, Edizioni Ambiente, 2008
- Debora Venturi, Dispense corso "Architettura e progettazione sostenibile", Associazione AssForm, 2012
- M. Grosso, G. Peretti, S. Piardi, G. Scudo, *Progettazione ecocompatibile dell'architettura*, ed. Sistemi Editoriali, Gruppo editoriale Esselibri Simone, 2005
- Marco Piana, *Architettura Bioclimatica, Appunti*
- Fabio Sciurpi, *Appunti su Risparmio energetico degli edifici, Comfort respiratorio olfattivo, IAQ e ventilazione*, Dipartimento di Tecnologia dell'Architettura e Design Pierluigi Spadolini, Università degli Studi di Firenze
- *Linee guida per la gestione sostenibile delle acque meteoriche*, Provincia autonoma di Bolzano - Alto Adige, Ripartizione 29, Agenzia provinciale per l'Ambiente, 2008
- *Tetti Verdi*, opuscolo realizzato dalla Scuola professionale per la frutta, viti, orti e floricoltura Laimburg in collaborazione con la Ripartizione Natura, Provincia autonoma di Bolzano – Alto Adige, 2007
- Piazza M., Tomasi R., Modena R., *Strutture in legno*, Hoepli Editore, 2009
- Strutture in legno, Signorato, Ribis
- Matteo Fiori (a cura di), *Coperture a verde - Ricerca, progetto ed esecuzione per l'edificio sostenibile*, Hoepli Editore, 2011
- Edoardo Bit, *Il nuovo verde verticale*, Wolters Kluwer Italia Srl, 2012
- Elena Giacomello, *Copertura a verde e risorsa idrica*, Franco Angeli Editore, 2012
- Mauricio Cárdenas Laverde, *Il bambù come materiale da costruzione*, Sistemi Editoriali, 2008
- B. Visentini, *Verde di bambù*, Edagricole, Bologna,1994
- Norbert Lantschner (a cura di), *La mia CasaClima, Progettare, costruire e abitare nel segno della sostenibilità*, Edition Raetia, Bolzano, 2009
- Monica Lavagna, *Live Cycle Assessment in edilizia, Progettare e costruire in una prospettiva di sostenibilità ambientale*, Hoepli Editore, Milano, 2008
- Alessandro Fassi, Laura Maina, *L'isolamento ecoefficiente, Guida all'uso dei materiali naturali*, Edizioni Ambiente, Milano, 2009
- Thomas Königstein, *Manuale per costruzioni a risparmio energetico*, Edizioni Königstein, 2010
- AA.VV., *Appunti di fisica tecnica*, "Le guide pratiche 1 del Master CasaClima", collana diretta da Cristina Benedetti, University Press, Bolzano 2009
- AA.VV., *Materiali isolanti*, "Le guide pratiche 2 del Master CasaClima", collana diretta da Cristina Benedetti, University Press, Bolzano, 2010

- AA.VV., *Ventilazione naturale*, "Le guide pratiche 3 del Master CasaClima", collana diretta da Cristina Benedetti, University Press, Bolzano, 2011
- AA.VV., *Coperture a verde*, "Le guide pratiche 4 del Master CasaClima", collana diretta da Cristina Benedetti, University Press, Bolzano, 2010
- AA.VV., *Appunti di cantiere*, "Le guide pratiche 5 del Master CasaClima", collana diretta da Cristina Benedetti, University Press, Bolzano, 2011
- AA.VV., *Sistema finestra*, "Le guide pratiche 6 del Master CasaClima", collana diretta da Cristina Benedetti, University Press, Bolzano, 2012
- AA.VV., *Umidità e tenuta all'aria*, "Le guide pratiche 7 del Master CasaClima", collana diretta da Cristina Benedetti, University Press, Bolzano, 2012
- AA.VV., *Costruire in legno - edifici a basso consumo energetico*, a cura di Cristina Benedetti, 2a edizione riveduta e corretta, University Press, Bolzano, 2009
- AA.VV., *Risanare l'esistente - Soluzioni per il comfort e l'efficienza energetica*, a cura di Cristina Benedetti, 1a edizione, University Press, Bolzano, 2011
- AA.VV., *Details for Passiv Houses, A catalogue of ecologically rated constructions*, Springer-Verlag/Wien, 2008
- Wackernagel Mathis e Rees William, *L'impronta ecologia. Come ridurre l'impatto dell'uomo sulla terra*, Edizioni ambiente, Milano, 2004
- Francesco Bigi, Antonella Carosi, Università di Roma "La Sapienza" - Facoltà di Ingegneria, *Seminario Principi e sistemi di architettura bioclimatica*, A.A. 2006-2007
- Baglioni A. et al. *Costruzioni e salute*, Franco Angeli Edizioni, Milano, 1990
- Fanger P.O., *Gli olf nascosti negli edifici insalubri. Condizionamento dell'aria, Riscaldamento, Refrigerazione*, n. 11/89
- Piardi S. et. al., *Costruire edifici sani. Guida alla scelta dei prodotti*, Maggioli Editore, Rimini 1996
- Ministero della Salute, Linee guida naz. del 27-09-2001, *Linee Guida per la tutela e la promozione della salute negli ambienti confinati*
- Luca Guardigli, Anna Barozzi, Donata Bori, Università di Bologna, Dipartimento di Architettura e Pianificazione Territoriale, Corso di Architettura Tecnica I, *Il raffrescamento passivo degli edifici*
- D. Barbieri, M. Pietrafesa, G. Rizzo, Università degli studi di Reggio Calabria, Istituto di Ingegneria civile ed energetica, *Qualità dell'aria interna e requisiti di ventilazione-classificazione degli inquinanti, riferimenti normativi, metodi di calcolo. Quaderni di fisica tecnica ed energetica*, 1996
- Alessandra Vivona, Fabio Peron, Università IUAV di Venezia, *Illuminazione naturale e fattore di luce diurna*, Materiale didattico per il corso di Tecnica del Controllo Ambientale, Anno Accademico 2010-2011
- Mattia Leone, Università di Napoli, Corso di Laurea magistrale in Architettura, corso integrato di progettazione dei sistemi costruttivi, sistemi costruttivi in legno, 2011
- Gerhard Schickhofer, Andrea Bernasconi, Gianluigi Traetta, *I corsi promo_legno*
- Massimo Fragiaco, *Sistemi innovativi per la realizzazione di edifici in legno multipiano*, Convegno "Residenze di legno in altezza: Edifici multipiano ad alta efficienza energetica, il panorama normativo e i vincoli progettuali, le potenzialità costruttive in Italia e all'estero", Forum della Tecnica delle Costruzioni 2011, Made Expo, 2011

- Sergio Rinaldi, Mariarosaria Arena, Università di Napoli, Facoltà di Architettura, Tecnologia dell'architettura 2009/10, *Sistemi ed elementi costruttivi in legno*
- Nicholas Stern, *Clima è vera emergenza*, edizione italiana Francesco Brioschi Editore, Milano, 2009
- Travis Bradford, *La rivoluzione solare*, edizione italiana Francesco Brioschi Editore, Milano, 2008
- Barbara Jones, *Costruire con le balle di paglia. Manuale pratico per la progettazione e la costruzione*, editrice Aam Terra Nuova, 2007
- Ordine degli Ingegneri della Provincia di Pistoia, Corso di aggiornamento professionale "Progettazione di strutture in legno massiccio e lamellare secondo le NTC 2008", Pistoia, 16-29 ottobre e 5-12 novembre 2010
- Giovanni Tortorici, Lucio Riccobono, Politecnico di Bari - la Facoltà di Ingegneria corso di Laurea in Ingegneria Edile - Architettura, Architettura Tecnica I, Laboratorio, *Le Strutture In Legno*
- François Cointeraux, *Traité sur la construction des manufactures et maisons de campagne*, 1791
- Jean-Pierre Adam, *L'Arte di costruire presso i romani*, 1988. Trad. It. Milano, Longanesi (V edizione, 1998)
- Gian Luigi Prati (a cura di), *Manualetto pratico illustrato della architettura in terra cruda riferito al caso alessandrino*, Città di Alessandria, 2011
- Maddalena Achenza e Ulrico Sanna (a cura di), *Il manuale tematico della terra cruda*, "I manuali del recupero dei centri storici della Sardegna", pubblicazione ITACA, 2006
- O. Baldacci, *L'ambiente geografico delle case di terra in Italia*, in "Rivista Geografica italiana". vol. LXV, Firenze, 1958
- M. Ortolani, *La casa rurale negli Abruzzi*, Firenze, 1961
- Hassan Fathy, *Architecture for the Poor*, 1973, Chicago and London, The University of Chicago
- Eugenio Galdieri, *Le meraviglie dell'architettura in terra cruda*, Edizioni Laterza, 1982
- M. Morandi, *Le case di terra. Memoria e realtà* - Rivista dell'Istituto di Pianificazione e Progettazione, Università G. D'Annunzio Chieti n°1/1985
- C. Forlani, *Tecnologie locali e costruzione della casa in Abruzzo*, ricerca CNR Università G. D'Annunzio, Chieti, 1990
- G. Scudo - S. Sabbadini, *Le regioni dell'architettura in terra*, Maggioli 1997
- D. Farrelly, *The Book of Bamboo*, Sierra Club Books, 1984
- D. Greenberg, R. Henrikson, S. Paudel, *Visionary Bamboo Designs For Ecological Lining*, Inbar, 2007
- Eric Laurent, *La verità nascosta sul petrolio. Un'inchiesta esplosiva sul «sangue del mondo»*, Nuovi Mondi Media, Modena, 2006
- Al Gore, *Una scomoda verità*, edizione italiana Rizzoli, Milano, 2008
- Guido Viale, *La conversione ecologica, there is no alternative*, NdA Press, Cerasolo Ausa di Coriano, 2011
- Christian Schittich, Gerald Staib, Dieter Balkow, Matthias Schuler, Werner Sobek, *Atlante del vetro*, UTET, Torino, 2004
- G. Rossi, P. Soardo, *A new gonioreflectometer*, CIE Proceeding 22nd Session, Melbourne,1991.
- G. Rossi, M. Sarotto, P. Iacomussi, P. Soardo, *A new approach to the photometric characterisation of materials and its metrological applications*, Proceeding of IMEKO-XV International Congress, 13-18 June 2000, Osaka, Japan

- Web:**
- www.haus.rubner.com
 - www.promolegno.com
 - www.ivalsa.cnr.it
 - www.illea.it
 - www.baisotti.it
 - www.legnonaturale.com
 - www.pagano.it
 - www.wolfhaus.it
 - www.lacasadilegno.it
 - www.hausidea.it
 - www.eurodoma.com
 - www.holzer.it
 - www.e-costruire.com
 - www.realtalegno.com
 - www.totalwood.eu
 - www.stratex.it
 - www.klh.it
 - www.kakonstrukt.it
 - www.anab.it
 - www.anit.it
 - www.agenziacasaclima.it
 - www.baubook.at
 - www.climabita.it
 - www.cortexa.it
 - www.environdec.com
 - www.isover.it
 - www.knauf.it
 - www.anit.it
 - www.epsass.it
 - www.rockwool.it
 - www.terracruda.org
 - www.passiv.de
 - http://www.lehmtonder.de
 - http://www.caseditera.it
 - http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/ (software per la simulazione energetica dinamica ormai utilizzato in tutto il mondo)
 - http://eosweb.larc.nasa.gov/sse/ (banca dati delle condizioni ambientali con calcolo della radiazione globale e/o diretta su superfici fisse per il dimensionamento di impianti solari)
 - http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php?lang=it&map=europe, (commissione europea -Sistema Europeo di Informazioni Geografiche per il fotovoltaico)
 - http://www.femm.info/wiki/HomePage (software per la modellazione e analisi dei ponti termici agli elementi finiti)
 - http://www.homerenergy.com (software Energy ModelingSoftware forHybridRenewableEnergy Systems)
 - http://www.mygreenbuildings.org/guide-fogli-excel-gratis-risparmio-energetico.html (fogli excel per le proprietà termiche dei componenti edilizi, calcolo indici comfort termico, calcolo indici di prestazione energetica limite, calcolo risparmio energetico a seguito di interventi di efficientamento)
 - http://www.retscreen.net/it/home.php (RETScreen dell'istituto canadese NaturalResourcesCanada per l'analisi di progetti a energie pulite)

Bibliografia

- <http://www.passive-on.org/it/index.php>
- <http://www.paea.it/it/phpp.php>
- <http://www.autodesk.it/adsk/servlet/pc/index?id=15078641&sitelD=457036>
- <http://www.e3lab.org/upl/website/publication/brochureEC1.pdf>
- http://apps1.eere.energy.gov/buildings/tools_directory/software.cfm/ID=391/pagename_submenu=energy_simulation/pagename_submenu=whole_building_analysis/pagename=subjects
- <http://www.townscope.com/index.php?page=software&lang=EN&theme=default>
- http://apps1.eere.energy.gov/buildings/tools_directory/software.cfm/ID=232/pagename=alpha_list_sub
- <http://www.energycity2013.eu/pages/results/data-catalogue/existing-urban-energy-models/townscope.php>
- <http://www.envi-met.com/>
- http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:0vrZKJncNm0J:https://www.politesi.polimi.it/bitstream/10589/33922/1/2011_12_Cerizza.pdf+&cd=2&hl=it&ct=clnk&gl=it
- http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:0vrZKJncNm0J:https://www.politesi.polimi.it/bitstream/10589/33922/1/2011_12_Cerizza.pdf+&cd=2&hl=it&ct=clnk&gl=it
- <http://www.mif.uni-freiburg.de/rayman/intro.htm>
- http://www.stadtklima.de/EN/E_2TOOLS.HTM
- <http://www.energycity2013.eu/pages/results/data-catalogue/existing-urban-energy-models/rayman.php>
- <http://www.esru.strath.ac.uk/Programs/ESP-r.htm>
- http://apps1.eere.energy.gov/buildings/tools_directory/software.cfm/ID=39/pagename=alpha_list
- <http://sts.bwk.tue.nl/bps/onderwijs/software/esp-r/esp-r.htm>
- <http://www.trnsys.com/>
- <http://sel.me.wisc.edu/trnsys/>

- http://www.transsolar.com/_software/docs/trnsys/trnsys_uebersicht_en.htm
- <http://www.mygreenbuildings.org/2009/05/31/energyplus-guida-rapida-al-software-per-la-simulazione-energetica-degli-edifici-in-regime-dinamico.html>
- <http://www.mygreenbuildings.org/tag/energyplus>
- http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:4VtXTvRqS0cJ:www.gbitalia.org/uploads/5284_Penni-si_manens.pdf+&cd=8&hl=it&ct=clnk&gl=it
- <https://openstudio.nrel.gov/>
- <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/openstudio.cfm>
- <http://openstudio.sourceforge.net/>
- <http://www.radiance-online.org/>
- <http://radsite.lbl.gov/radiance/>
- <http://web.mit.edu/SustainableDesignLab/projects/TeachingResources/GettingStartedwithEcotectRadianceDaysim.pdf>
- http://apps1.eere.energy.gov/buildings/tools_directory/software.cfm/ID=66/
- <http://daysim.ning.com/>
- http://apps1.eere.energy.gov/buildings/tools_directory/software.cfm/ID=428/pagename=alpha_list_sub
- http://apps1.eere.energy.gov/buildings/tools_directory/software.cfm/ID=428/pagename=alpha_list_sub
- <http://www.docet.itc.cnr.it/>
- <http://www.mygreenbuildings.org/2009/10/13/docet-pro-certificazione-energetica-degli-edifici-su-piattaforma-web-gratuita.html>
- <http://certenergy.it/news/362-docetpro-2010-e-on-line.html>
- http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:RJCs0nSBCcIJ:www.xclima.com/Manuali/Manuale_utente_Docet_PRO_2010.pdf+&cd=10&hl=it&ct=clnk&gl=it

Finito di stampare presso la tipografia
F.lli Scaravaglio & C. Torino
nel mese di maggio 2014