I LIBRI DI AIPE

IL BIOPROGETTO

PROGETTARE L'EDIFICIO CON EPS PER IL RISPETTO DELL'AMBIENTE E DELL'UTENTE

BE-MA editrice

IL BIOPROGETTO

Progettare l'edificio con EPS per il rispetto dell'ambiente e dell'utente

BE-MA editrice

serie: I libri di Aipe
1° titolo: Le condense interne e superficiali
2° titolo: Isolare le fondazioni con l'EPS
3° titolo: Sistemi innovativi in EPS
4° titolo: Il polistirene e l'impatto ambientale
5° titolo: Rispettare l'ambiente EPS e bioedilizia
6° titolo: Isolamento esterno "a cappotto"
7° titolo: Costruire con EPS edifici silenziosi
8° titolo: *Il bioprogetto*

Coordinamento del libro:
Marco Piana

BE-MA editrice
via Teocrito, 50 - 20128 Milano
tel 02 252071
fax 02 27000692

Fotolito: MBgrafica - Cesano Maderno (MI)
Stampa e confezione: A.G. Bellavite - Missaglia (LC)

© **2001 BE-MA editrice - Milano**
BE-MA editrice - Milano

Tutti i diritti sono riservati, anche di riproduzione parziale,
a norma di legge e delle convenzioni internazionali.

ISBN 88-7143-237-1

Indice

Premessa **7**
Ing. Marco Piana

L'EPS **11**
Ing. Marco Piana

Nuovi materiali, realtà e false credenze **21**
Ing. Marco Piana

Presente e futuro: le tecnologie innovative **35**
Arch. Orio De Paoli

Materiali e tecnologie bioclimatiche **40**
Arch. Alessandro Marata

Microclima e benessere **44**
Prof. Marco Masoero

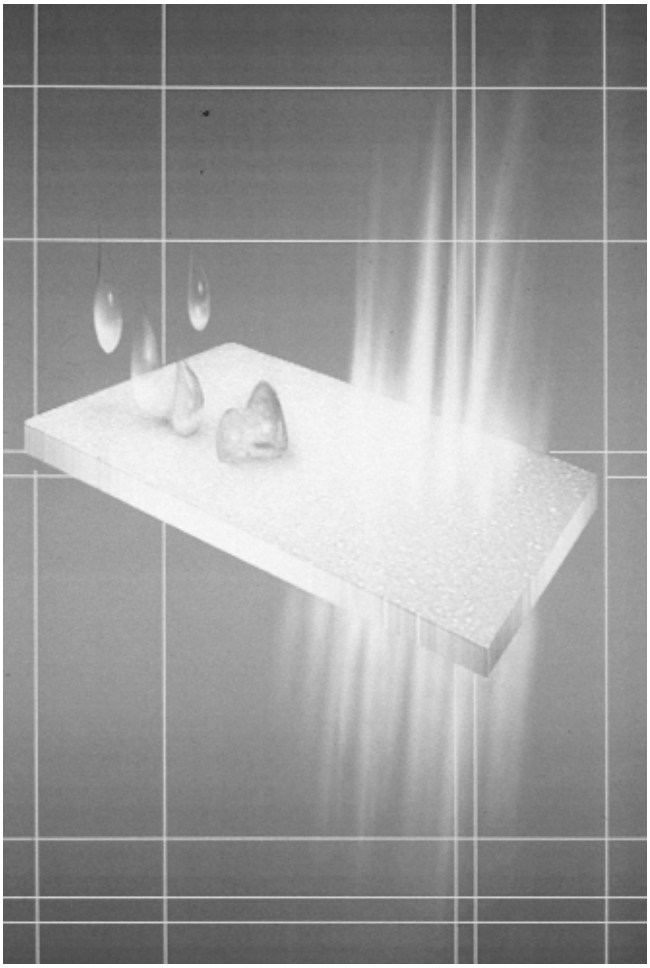
Bioedilizia, perché?
Riflessioni sui rapporti tra mercato ed ecologia **61**
Arch. Giulio Ceppi

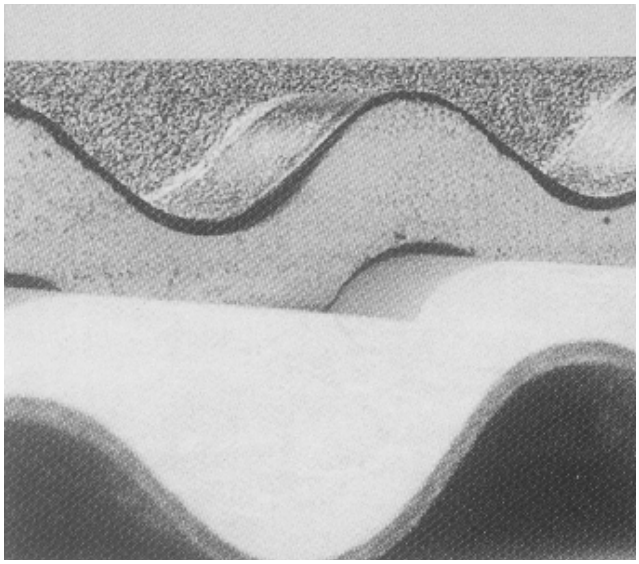
Il rispetto dell'ambiente **64**
Dott. Lucio Castelnuovo

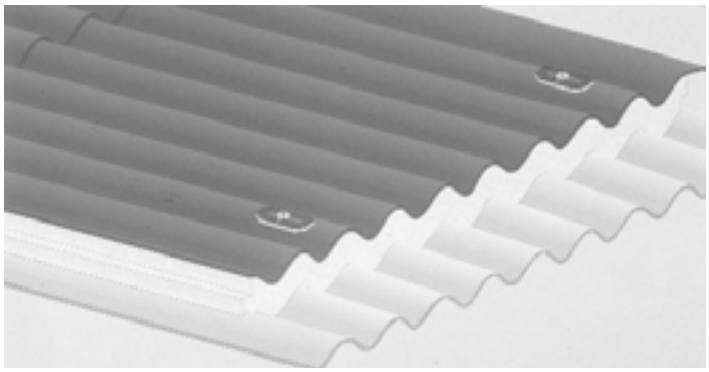
Inquinamento indoor
Emissioni di composti volatili organici nell'ambiente confinato **91**
Dott. Alberto Strini

LCA: Un esempio applicativo **98**
Ing. F. Fantozzi

Il "Nuovo ambiente" **103**







Ing. Marco Piana
Associazione italiana polistirolo espanso

Premessa

Progettare è l'attività più interessante e remunerativa per chi opera a contatto con aziende ed imprese. Il "progettare" sottintende un processo di analisi delle esigenze, una scelta dei materiali ed una verifica dei comportamenti. Ogni progetto permette di creare un'opera unica ed i progettisti italiani sono ben consapevoli nel ricercare la differenza e l'unicità. Creare, differenziare, distinguere, impone una ricerca costante dell'innovazione. La novità è il motore inarrestabile per il progettista e per l'industria nella maggioranza dei casi è l'innovazione che trova vie mai percorse, prodotti mai realizzati, mercati mai affrontati. Quindi progettare per innovare riveste sicuramente il ruolo principale e domina i rapporti designer - produttore. Alcuni campi sono più sensibili a questo binomio, pensiamo alla moda o all'arredamento mentre altri, come l'edilizia, sono più tradizionalisti e conservatori. Parlare di innovazione in edilizia per la maggioranza delle imprese, piccole e medie, significa solamente utilizzare attrezzature differenti per il processo costruttivo. Quando gli interessi si spostano al componente od al sistema la tradizione impone un rallentamento nel processo di scelta, i dubbi iniziano ad evidenziare le problematiche nascoste e i prescrittori si indirizzano in prevalenza su elementi noti e conosciuti. In edilizia l'affermazione "Cambiare per produrre meglio" non è accettata sempre con favore. Si deve percorrere una lunga via che passa dalla sperimentazione, alla verifica, al convincimento, alla sicurezza per il progettista e per l'utente. Quando le innovazioni utilizzano materiali plastici la problematica si aggrava ulteriormente e deve essere affrontata in modo particolare. Tutto noi siamo consapevoli che i materiali plastici giocano un ruolo primario ed in molte applicazioni sono divenuti di uso crescente sostituendo materiali ritenuti di tradizione.
E' sufficiente riportare l'evoluzione provocata dalla componentistica per la distribuzione dell'acqua all'interno delle nostre abitazioni per capire quanto l'idraulica sia stata sottoposta ad una trasformazione positiva. Nell'edificio di oggi molti elementi si propongono come innovatori: materia plastica, materia plasmabile, materia riutilizzabile, certamente tre concetti che calzano a perfezione con il processo di progettazione per innovare. Vengono riportate le relazioni più interessanti sviluppate nel corso di numerosi incontri rivolti ad aziende e professionisti per permettere una visione di insieme sulla problematica legata alla innovazione, all'edilizia ed al rispetto per l'ambiente.
In questi ultimi anni le discussioni effettuate in merito all'innovazione hanno investito i campi più diversi della scienza e della tecnologia. Nuovi materiali, nuovi processi, elaborazioni geometriche hanno fatto risaltare l'importanza e la ricaduta che possono causare le attività elaborate dall'uomo. Di qualsiasi argomento si tratti rimane inalterato l'obiettivo finale: la salvaguardia dell'ambiente. E' inutile ed improduttivo riportare frasi semplicistiche e gratuite come "chi inquina paga" oppure "tutte le attività umane alterano l'ambiente". E' invece produttivo verificare come e quanto ciò che viene prodotto dalle attività industriali e dall'uomo influenzino la nostra vita ed il nostro ambiente, dando per assodato che ritornare all'età del calesse per il trasporto di cose o persone sia praticamente ormai impossibile e non accettabile dalla società evoluta e tecnologica. I passi da compiere possono essere proposti e sintetizzati con i seguenti argomenti:

1. Quali sono i parametri che influenzeranno l'ambiente?
2. Quali attività modificano tali parametri?

3. Come classificare l'influenza delle attività sull'ambiente?
4. Come modificare l'influenza delle attività sull'ambiente?
5. Quanto l'uomo è disposto a pagare per mantenere una situazione "accettabile"?

Sono argomenti a cui ovviamente non è possibile rispondere in modo completo ed esauriente. La problematica deve necessariamente essere relativa ad alcuni aspetti; i nostri possono essere i seguenti:

1. Settore considerato: l'edilizia
2. Analisi indirizzata all'ambiente interno ed all'esterno dell'edificio
3. Gli operatori nel processo edificatorio: utente, progettista, costruttore, committente.
4. Comparazione di processi costruttivi tradizionali ed innovativi.

Le discussioni effettuate e le problematiche affrontate nel solo settore dell'edilizia a favore dell'ambiente sono oggi veramente notevoli. Basti pensare alle spinte positive create dai nuovi approcci sulla cosiddetta Bioarchitettura o Bioedilizia. La scelta consapevole da parte dell'utente o del progettista permette di definire capitolati sicuramente più rispettosi dell'ambiente. Un esempio è sufficiente per comprendere quanto le nuove tendenze siano considerate: le facciate continue tanto in voga negli anni passati stanno subendo una metamorfosi profonda: da elemento trasparente di tamponamento con innumerevoli problemi di costi gestionali e di climatizzazione a sistemi che interagiscono con il clima e con la natura per migliorare le prestazioni dell'intero edificio.
L'utopia non si addice alla nostra società e quando le fantasie, siano esse le più corrette, si scontrano con la realtà si deve operare un adeguamento ed un compromesso. Si deve ovvero scegliere la migliore soluzione che permetta di ottenere il risultato ottimale nella situazione in cui si sta operando. Per tradurre in realtà i soliti discorsi di false parole proviamo a rispondere in modo concreto alla semplice domanda: qual è la soluzione ottimale per un edificio che possa garantire all'utente un buon livello di vita, che presenti costi moderati e che abbia un basso impatto ambientale? La risposta sarà diversa in funzione della località di ubicazione dell'edificio. Ovvero se quest'ultimo venisse realizzato in Europa dovremmo scegliere materiali e tecniche differenti al caso di un edificio da costruire in centro Africa. Pensando alla nostra Società ed alle esigenze dei relativi utenti possiamo avere alcune risposte interessanti analizzando ciò che è stato compiuto negli anni trascorsi da molteplici costruttori e progettisti. Due aspetti devono essere evidenziati:

- Le costruzioni simbolo
- Gli edifici per la vita quotidiana

Analizziamo la prima categoria proposta, chiedendo al progettista di fama mondiale quale è stato il peso sulla scelta di materiali e tecnologie per il "Rispetto dell'Ambiente".
Risposta: tante belle parole ma pochi i fatti reali.
Naturalmente gli edifici simbolo devono sottostare alla legge del bello assoluto e dell'originale ad oltranza e quindi tutto viene perdonato. Ma per la casa della vita di tutti i giorni?
Analizzando in profondità si scopre una realtà sconosciuta ma molto interessante. Progettisti, costruttori ed utente sono generalmente accomunati dalla legge della tradizione costruttiva: utilizzo la soluzione più sicura, più sperimentata. Questa posizione porta ancora oggi ad assurdi costruttivi immaginabili creando patologie di degrado molto gravi. In altre situazioni dal progettista, dal costruttore o dall'utente possono giungere indirizzi precisi sulla scelta di prodotti e processi. In questi casi, del resto oggi sempre più frequenti, si assiste alla rinascita della casa dovuta alla consapevolezza di volere qualcosa di preciso e di puntare ad obiettivi specifici. Un esempio macroscopico sono certamente i serramenti. Per normativa devono essere sempre più

a tenuta per le infiltrazioni di aria eliminando la ventilazione degli ambienti. Questo porta inevitabilmente a marcare tutti gli errori di progettazione della struttura e degli impianti realizzati nell'edificio.
Tutti i materiali ed i sistemi costruttivi hanno una storia, una vita. L'uomo interferisce sempre durante le fasi di trasformazione consumando energia e interferendo con l'ambiente. Fortunatamente oggi esiste un metodo che permette di confrontare prodotti e componenti in modo paritario permettendo al progettista o all'utente una scelta consapevole: l'analisi del ciclo di vita (LCA). Attualmente è l'unico metodo che giunge all'attribuzione di un indice che può essere confrontato fra i differenti casi analizzando l'intero ciclo di vita dell'elemento sottoposto ad esame analizzando tutte le fasi dalla materia prima al riciclo finale. Come tutte le metodologie non sono sempre facili da applicare e molte volte risulta quasi impossibile tenere conto di alcuni aspetti o ricadute ambientali come ad esempio l'incidenza dell'utilizzo di prodotti naturali (es. legno) piuttosto che l'inquinamento causato dal trasporto degli stessi dalla località di produzione a quella di utilizzo. Alcuni dati oggi sono disponibili e permettono sicuramente di iniziare una discussione sui processi di scelta per costruire correttamente. Esistono altri metodi che permettono di confrontare e di operare le scelte per costruire. Certamente il più diffuso è rappresentato dalla comparazione delle caratteristiche tecniche e delle prestazioni. Per queste situazioni vengono in aiuto le norme nazionali ed europee e le leggi emanate con precise finalità. Gli aspetti più interessanti ed impositivi sono legati alle prestazioni termiche ed acustiche. Entrambe sono sottoposte a leggi e decreti emanati: dai ministeri dell'industria, lavori pubblici ed ambiente. Le interazioni con l'ambiente di vita all'interno dell'edificio e con
l'ambiente esterno sono ragionevolmente intuibili. Maggior isolamento termico significa comfort più elevato e minor inquinamento, maggior isolamento acustico significa minore disturbo all'interno dei locali.
Un altro aspetto fondamentale è rappresentato dalla durata del manufatto. Con il termine durata si raggruppano una serie di eventi che interagiscono fra loro:

- Costi del manufatto
- Sostituzione dello stesso
- Opere di manutenzione
- Tempistiche di intervento programmato

Scegliere materiali di lunga durata sembra sia ovvio e doveroso per il rispetto dell'utente, ma come fare per quantificare questo parametro?
Alcune norme vengono in aiuto del progettista anche se nella maggioranza dei casi è una lunga opera di ricerca di lati e di caratteristiche che possano comprovare quanto dura un elemento. Ancora più complesso è la programmazione dei costi degli interventi di manutenzione per mantenere i livelli prestazionali richiesti. E' sufficiente pensare alla differenza fra elementi in acciaio inox ed elementi in ferro trattati con cicli di verniciatura per capire come possano incidere i costi iniziali ed i costi dei successivi interventi. Ultima considerazione, da non sottovalutare, è l'inquinamento degli ambienti causati dal ripristino e trattamento dei componenti. Le considerazioni riportate in precedenza devono oggi essere oggetto di vera e costante ricerca da parte del progettista che vuole rendersi cosciente del progetto costruttivo nella sua completezza giungendo molte volte a strade senza uscita in quanto la documentazione è inesistente. Alcuni comparti industriali, forse perché più innovativi e dinamici, hanno realizzato intere documentazioni sull'argomento "ambiente". Per concludere l'argomento deve essere introdotto l'aspetto finale: cosa avviene dell'edificio a fine vita?
La demolizione, la ristrutturazione, il riutilizzo, il rinnovamento sono tutti termini che oggi vengono usati correttamente ma vengono visti da un'unica prospettiva mediante le regole di intervento proposte da piani regolatori comunali o piani particolareggiati. La progettazione intelligente per un futuro riutilizzo o futura demolizione invece viene affrontata in questo perio-

do da commissioni ad hoc organizzate a livello europeo. E' quindi pensabile che in un prossimo futuro i progettisti possano pensare a come costruire ma anche a come smantellare correttamente un edificio. Questo permette di prevedere che la componentistica, la prefabbricazione avrà nuovo impulso sostenuto dalle nuove direttive e normative che verranno emesse.
L'industria italiana delle costruzioni è legata a materiali e processi che possiamo definire tradizionali anche se in molte situazioni sono stati introdotti alcuni elementi che permettono di ipotizzare una evoluzione lenta ma costante. L'introduzione di innovazioni in un ambiente molto tradizionale impone tempi di interventi medio – lunghi, ma è anche vero che l'innovazione è un motore inarrestabile sia per l'evoluzione delle aziende sia per le esigenze di progettazione. L'utente avverte in modo diretto i cambiamenti di gestione degli ambienti, non solo per gli aspetti di riscaldamento e di condizionamento che influiscono sul microclima, ma soprattutto per i costi di gestione che possono essere modificati in modo sostanziale. Per costi si intendono sia di acquisto iniziale sia di mantenimento e di manutenzione.
L'AIPE raggruppa aziende che producono componenti utilizzando come "cuore" l'EPS (Polistirene espanso sinterizzato) che permette di realizzare edifici rispettosi dell'ambiente, con elevata innovazione tecnologica e costi di realizzazione adeguati alle prestazioni elevate raggiungibili.

Ing. Marco Piana
Associazione italiana polistirolo espanso

L'EPS

Il polistirene

Il Polistirene (PS) è una delle principali materie plastiche che derivano dal petrolio.

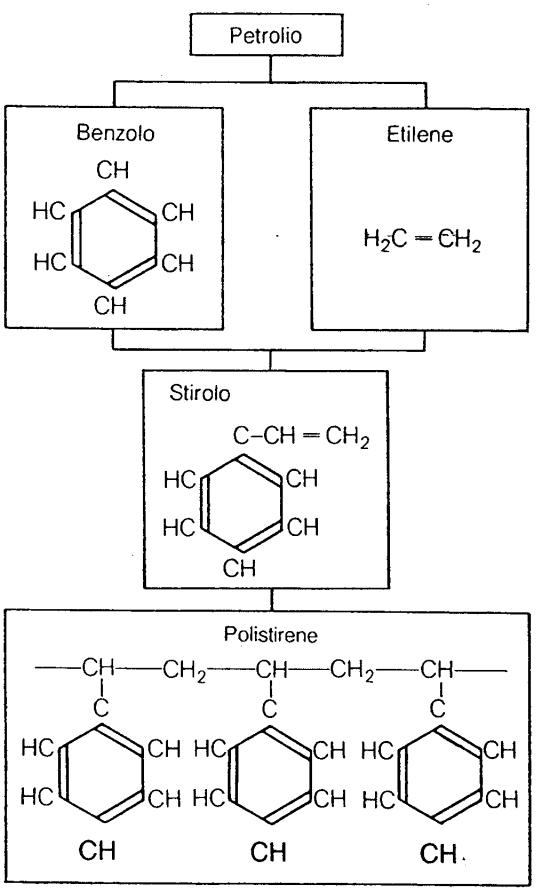


Fig. 1

Allo stato compatto il Polistirene è un materiale rigido, incolore, trasparente, che è la base per applicazioni molto diversificate.

Il polistirene espanso (EPS)

Il Polistirene espanso (EPS) è una delle forme più importanti in cui viene impiegato il

Polistirene. Per ottenere l'EPS si seguono attualmente due vie:

A) In fase di polimerizzazione (cioè l'ultimo passaggio di Figura 1), si scioglie nel Polistirene un agente espandente (comunemente pentano, un idrocarburo che, a pressione atmosferica, bolle a temperatura ambiente); altri additivi, in particolare per conferire migliorate caratteristiche di resistenza al fuoco, possono essere aggiunti in questa fase. Il prodotto, quale l'industria chimica lo fornisce ai produttori di EPS, si presenta in forma di granuli di aspetto vetroso (perle), di varia granulometria (0,3-2,8 mm) secondo gli impieghi cui è destinato. La massa volumica delle perle è di 1030 Kg/m^3, ma quella apparente delle perle in mucchio è di circa 650 Kg/ m^3. E' questo il materiale da cui si parte per produrre l'EPS con il processo più avanti descritto.

B) Successivamente alla polimerizzazione il Polistirene viene unito all'agente espandente ed agli altri eventuali additivi in una trafila, che mescola allo stato fuso gli ingredienti ed estrude la miscela da una filiera, di solito in forma di lastra piana o di tubo, che immediatamente si espande e, raffreddandosi, si irrigidisce nella forma espansa (EPS estruso). Questo materiale risulta più costoso e meno versatile del precedente; per le sue peculiari caratteristiche, ha varie applicazioni significative, ma nei volumi di documentazione tecnica AIPE non viene ulteriormente considerato.

Il processo di produzione dell'EPS (polistirene espanso sinterizzato)

La produzione dei semilavorati e manufatti di EPS avviene in tre stadi principali (figura 2) che si espongono qui nei tratti essenziali per la caratterizzazione merceologica; l'ottenimento di un prodotto di qualità presuppone peraltro un know-how non semplice, ma che non interessa per la documentazione applicativa.

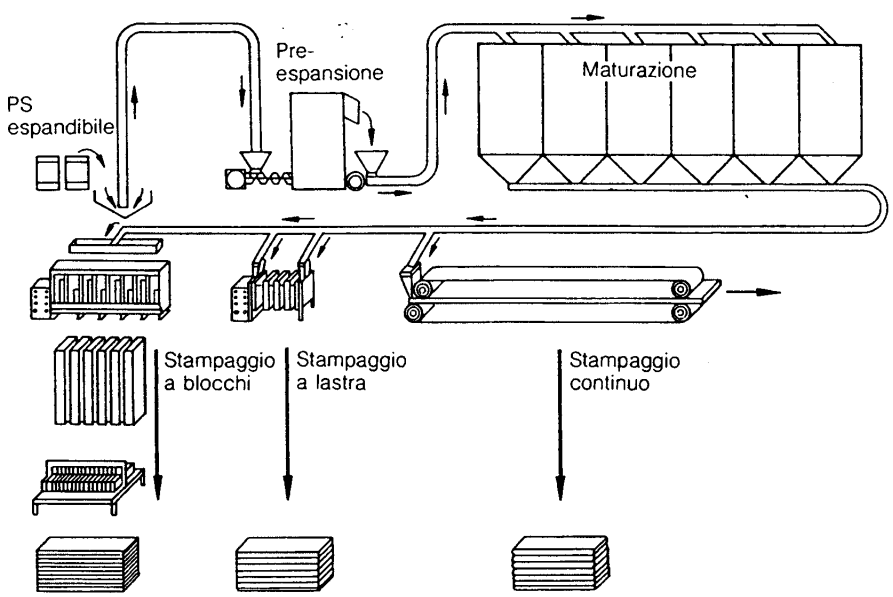


Fig. 2. Processo di produzione dell'EPS

Pre-espansione: le perle di PS espandibile vengono pre-espanse, generalmente per mezzo di vapore a temperatura superiore a 90°C, nel cosiddetto pre-espansore. In questo le perle, a seguito della vaporizzazione dell'agente espandente, si rigonfiano fino a 20-50 volte il loro volume iniziale. In questo processo si forma, all'interno delle perle, una struttura a celle chiuse, fondamentale per il successivo impiego come isolamento termico. Il grado di espansione, che dipende essenzialmente dalla durata del trattamento termico nel pre-espansore, determina la massa volumica apparente dei manufatti in EPS e quindi tutte le loro caratteristiche fisiche.

Maturazione: le perle pre-espanse devono stazionare un certo tempo in sili arieggiati. Con il raffreddamento i residui di espandente e di vapore acqueo condensano nelle singole celle. La depressione che così si forma viene annullata dall'aria che si diffonde all'interno delle celle; in questo modo le perle pre-espanse raggiungono la stabilità necessaria per le fasi successive.

Stampaggio: le perle pre-espanse e stabilizzate possono ora essere trasformate in manufatti o semilavorati di EPS in vari modi:

1. *Stampaggio di blocchi e taglio a lastre:* è il sistema più usato. Le blocchiere, costituite da forme parallelepipede provviste di fori di entrata per il vapore su tutti i lati, vengono riempite di perle pre-espanse e sottoposte di nuovo all'azione del vapore saturo; si raggiungono ora temperature di 110-120 °C, le perle si rigonfiano ulteriormente e, diventate appiccicose, si saldano fra di loro ("sinterizzano") per effetto della loro pressione interna, fino a formare un blocco omogeneo di espanso. Dopo un breve periodo di raffreddamento, i blocchi vengono sformati e messi in deposito per un periodo variabile da alcuni giorni a due mesi, durante il quale raggiungono la stabilità necessaria per le diverse applicazioni. Di qui vengono prelevati per il taglio in lastre, che avviene con seghe a nastro o a filo caldo e per eventuali altre operazioni meccaniche, come sagomature dei bordi, ottenute per fresatura.
2. *Stampaggio di lastre e altri manufatti:* il processo è lo stesso descritto per i blocchi, ma le lastre vengono stampate singolarmente in apposite macchine automatiche. Si ha il vantaggio di ottenere direttamente la forma desiderata senza ulteriori lavorazioni meccaniche; ciò è particolarmente utile per le forme non piane (p. es. sottotegole, lastre con contorni sagomati, cassonetti, lastre con superficie decorata a rilievo, coppelle).
3. *Stampaggio continuo:* in un processo (v. fig. 2) la sinterizzazione in forma di lastra piana continua viene fatta avvenire fra due nastri mobili di acciaio; all'uscita le lastre vengono rifilate e tagliate alla lunghezza voluta. In altri processi continui le perle pre-espanse vengono fatte avanzare a passi attraverso una forma; mentre avviene la sinterizzazione; si ottengono così profilati vari, p. es. casserature isolanti.
4. *Lastre per isolamento acustico:* per questo impiego i blocchi o le singole lastre vengono compressi fino ad 1/3 dello spessore originario e lasciati espandere di nuovo, ottenendo una caratteristica elastica più favorevole (minore rigidità dinamica) per l'impiego nei solai galleggianti per l'isolamento dai rumori da calpestio.
5. *Lastre per drenaggio:* sono costituite da perle espanse del diametro di 7-10 mm, unite fra loro soltanto nei punti di contatto mediante una saldatura di estensione più limitata o con speciali collanti; le lastre hanno così una elevata porosità, che permette la permeabilità all'acqua voluta per questa applicazione.

Caratteristiche dell'EPS

Aspetto e struttura

Le lastre e gli altri manufatti di EPS sono oggetti leggeri, la cui massa volumica è com-

presa generalmente fra 10 e 40 Kg/m^3; quindi essi presentano una grande capacità di galleggiamento (se ne sono avute clamorose applicazioni in recuperi navali), che non viene perduta nemmeno dopo prolungata immersione totale in acqua; ciò dimostra che le celle di cui l'EPS è formato, sono essenzialmente chiuse e impermeabili. Il colore dell'EPS è bianco, la struttura è rigida, ma tenace, quindi senza la tendenza di altri espansi rigidi a sbriciolarsi. Non ha odore né altre emanazioni, né dà alcun problema al contatto con la pelle. Ad un esame microscopico (fig. 3a) si rivela la struttura a celle poliedriche delle singole perle espanse, più compromessa sulla periferia, dove esse si saldano fra di loro. Per confronto di Fig. 3b mostra, allo stesso ingrandimento, la struttura di un EPS di qualità scadente: la pre-espansione eccessiva ha portato alla formazione di celle troppo grandi e senza più sufficiente capacità di saldatura all'atto dello stampaggio; i vuoti residui fra le perle riducono evidentemente la resistenza meccanica e possono al limite annullare l'impermeabilità all'acqua (come si fa volutamente nelle lastre per drenaggio). Le cause della cattiva sinterizzazione, che compromette un po' tutte le caratteristiche del prodotto, possono essere molteplici. **Per essere sicuri di non prendere dal mercato, dove purtroppo sono presenti, materiali di cattiva qualità, è necessario esigere sempre EPS di qualità garantita.**

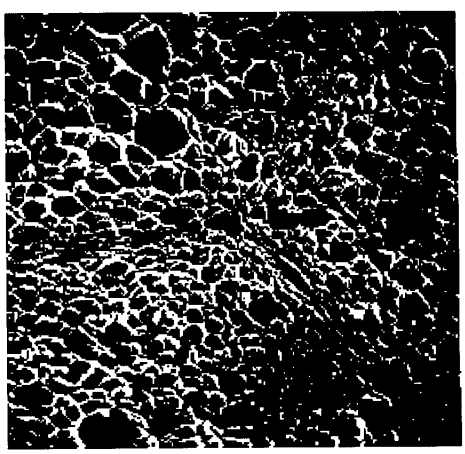


Fig. 3a

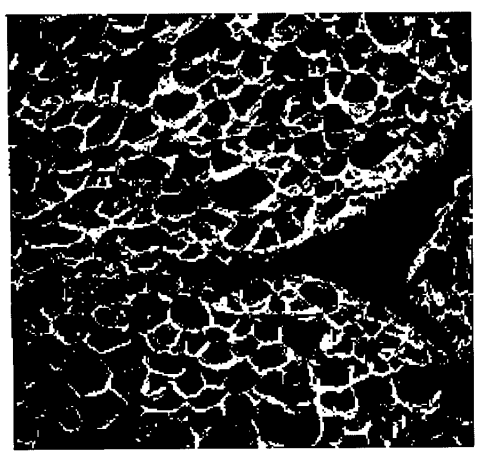


Fig. 3b

Conduttività termica

La caratteristica più importante dell'EPS è la sua bassa conduttività termica, che lo rende uno dei materiali più usati per l'isolamento termico nell'edilizia e nella tecnica frigorifera. Questa caratteristica deriva direttamente dal fatto che l'EPS è costituito per il 96-99% d'aria, chiusa in cellette di dimensioni tali da impedirne i moti convettivi, cosicché la trasmissione del calore può avvenire soltanto per conduzione (che è molto bassa nell'aria) e per irraggiamento (che si riduce rapidamente al moltiplicarsi degli schermi costituiti dalle pareti delle celle). Poiché l'aria interna è in equilibrio con quella esterna, la caratteristica di conduttività termica non varia nel tempo, come avviene con altri espansi, che contengono nelle celle altri gas.

MASSA VOLUMICA UMIDITÀ

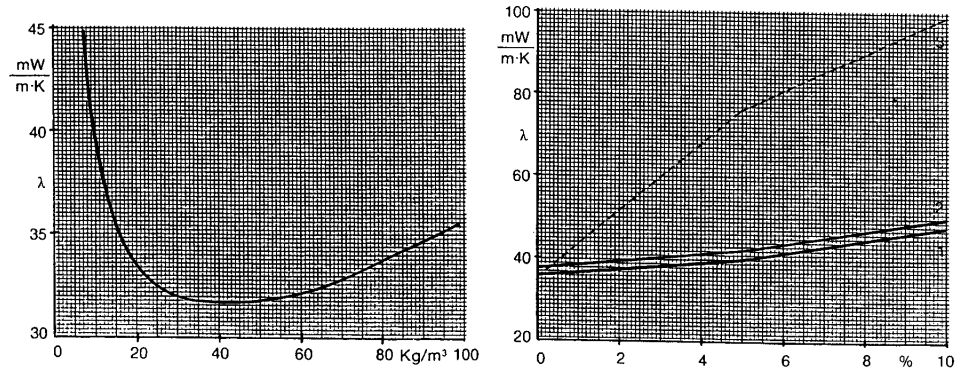


Fig. 4

Resistenza alla diffusione del vapore

La conoscenza delle caratteristiche di diffusione del vapore è importante per poter controllare gli eventuali fenomeni di condensazione nelle pareti. I tecnici esprimono questa caratteristica preferibilmente come rapporto μ (adimensionale) fra lo spessore d'aria che offre la stessa resistenza al passaggio del vapore e lo spessore di materiale in questione. Per l'EPS il valore di μ è compreso entro limiti che vanno crescendo con la massa volumica, come mostra la tabella seguente, trattata da UNI 7819.

RESISTENZA ALLA DIFFUSIONE DEL VAPORE DELL'EPS

Massa volumica (Kg/m³)	μ minimo	μ massimo
15	20	40
20	30	50
25	40	70
30	50	100
35	60	120

Dai valori relativi μ è possibile ricavare i valori assoluti della resistenza alla diffusione del vapore, sapendo che la resistenza di uno spessore di 1 m di aria, nel campo da –20 a +30°C, secondo DIN 4108 p.5, ammonta a 1,5.106m²h Pa/Kg. Questa relazione permette di ricavare il valore di μ dai valori di permeabilità (inverso della resistenza) di laboratorio o di norma, che sono riferiti a differenze di pressione di vapore, spessori, tempi, unità di massa, variamente definiti.

Ritiro e post-ritiro

L'EPS subisce un ritiro iniziale rispetto alle dimensioni della forma in cui è stato prodotto, a causa del suo raffreddamento; quindi esso continua ad assestarsi per effetto del riequilibrarsi della composizione del gas nelle celle e delle tensioni interne. Questo secondo processo è rapido nei primi giorni e si esaurisce praticamente in alcuni mesi ed è il solo che interessa chi

impiega l'EPS. Si conviene di chiamare post-ritiro il ritiro che avviene a partire da 24 ore dalla produzione. La fig. seguente ne mostra l'andamento e i limiti; il comportamento dell'EPS 15 si avvicina al limite inferiore; quello dell'EPS 35 al superiore.

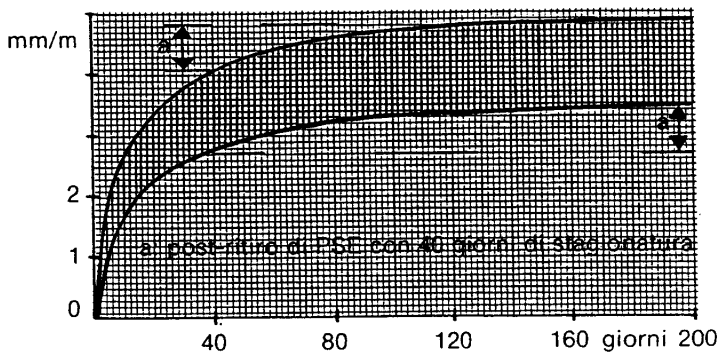


Fig. 5

Nei casi più critici (p. es. isolamento sotto intonaco esterno) si tollerano ritiri successivi all'applicazione non superiori a 2 mm/m e allo scopo vengono richieste al produttore lastre di EPS che abbiano già subito una stagionatura di 40-60 giorni; è pure evidente che, da questo punto di vista, sono preferibili le lastre di massa volumica inferiore (15-20 Kg/m^3).

Comportamento alle sollecitazioni meccaniche

Sollecitazioni di breve durata

La tab. seguente riporta una sintesi dei valori delle caratteristiche di risposta dell'EPS alle sollecitazioni meccaniche di breve durata a temperatura ambiente. I valori sono quelli pubblicati dall'Associazione tedesca degli espansi rigidi (IVH) e sono ottenuti con i metodi previsti dalle norme DIN, generalmente corrispondenti alle UNI. Il comportamento più utile ai fini pratici è quello a compressione. La relazione fra sollecitazione e deformazione in questo caso è lineare fino al 2-3% di deformazione; oltre questo limite si ha una deformazione permanente progressiva della struttura cellulare, senza che si addivenga ad una vera rottura; per convenzione si assume quindi come caratteristica del comportamento a compressione la sollecitazione che corrisponde ad uno schiacciamento del 10% dello spessore della provetta. La sollecitazione massima ammissibile in pratica non dovrebbe peraltro superare quella che provoca una deformazione del 2%. I valori di sollecitazione a rottura a trazione e flessione, non molto importanti per il dimensionamento delle applicazioni, vengono considerati dalle normative (la trazione in UNI 7819, la flessione in ISO 4898) come misura della buona sinterizzazione del materiale. La sollecitazione di taglio interessa nei casi in cui la lastra di EPS è vincolata a rivestimenti rigidi, come nei pannelli sandwich e negli isolamenti esterni sotto intonaco. Nella letteratura tecnica si riscontrano valori di resistenza al taglio anche molto discosti da quelli riportati; in questi casi, quando è possibile, conviene affidarsi all'esperienza applicativa consolidata, ed è il caso degli isolamenti sotto intonaco, altrimenti è consigliabile eseguire le prove opportune direttamente sui pannelli composti. Il modulo elastico a compressione si riferisce ovviamente alle sollecitazioni che stanno entro il limite elastico. Per i moduli elastici a trazione e a taglio si trovano in letteratura pochi valori e piuttosto dispersi; orientativamente, secondo alcuni autori, il modulo a trazione è circa triplo di quello a compressione e quello di taglio circa doppio.

CARATTERISTICHE MECCANICHE DELL'EPS IN N/mm²

Massa volumica in Kg/m³ Sollecitazione di compressione	15	20	25 (2)	30	35 (3)
al 10% di deformazione	0.07-0.12	0.12-0.16	0.16-0.20	0.18-0.26	0.23-0.27
Resistenza a trazione	0.15-0.23	0.25-0.32	0.32-0.41	0.37-0.52	0.42-0.58
Resistenza a flessione	0.16-0.21	0.25-0.30	0.32-0.40	0.42-0.50	0.50-0.60
Resistenza al taglio	0.09-0.12	0.12-0.15	0.15-0.19	0.19-0.22	0.22-0.26
Modulo elastico a compressione	3.80-4.20	4.40-5.40	5.90-7.20	7.40-9.00	9.00-10.80
(1) 1 N/mm² ≅ 10 Kg/cm² - (2) Valori interpolati - (3) Valori estrapolati					

Sollecitazioni di lunga durata

L'EPS, come tutti i materiali termoplastici, sottoposto a sollecitazione continua, evidenzia una deformazione progressiva nel tempo, che peraltro, al di sotto di una certa soglia, si sviluppa con un andamento logaritmico; questo fa sì che la deformazione stessa possa considerarsi pressoché costante, anche per le durate richieste nelle applicazioni edilizie. La Fig. seguente illustra questo comportamento a temperatura ambiente per 3 tipi di EPS di diversa massa volumica apparente, per diversi livelli della sollecitazione di compressione.

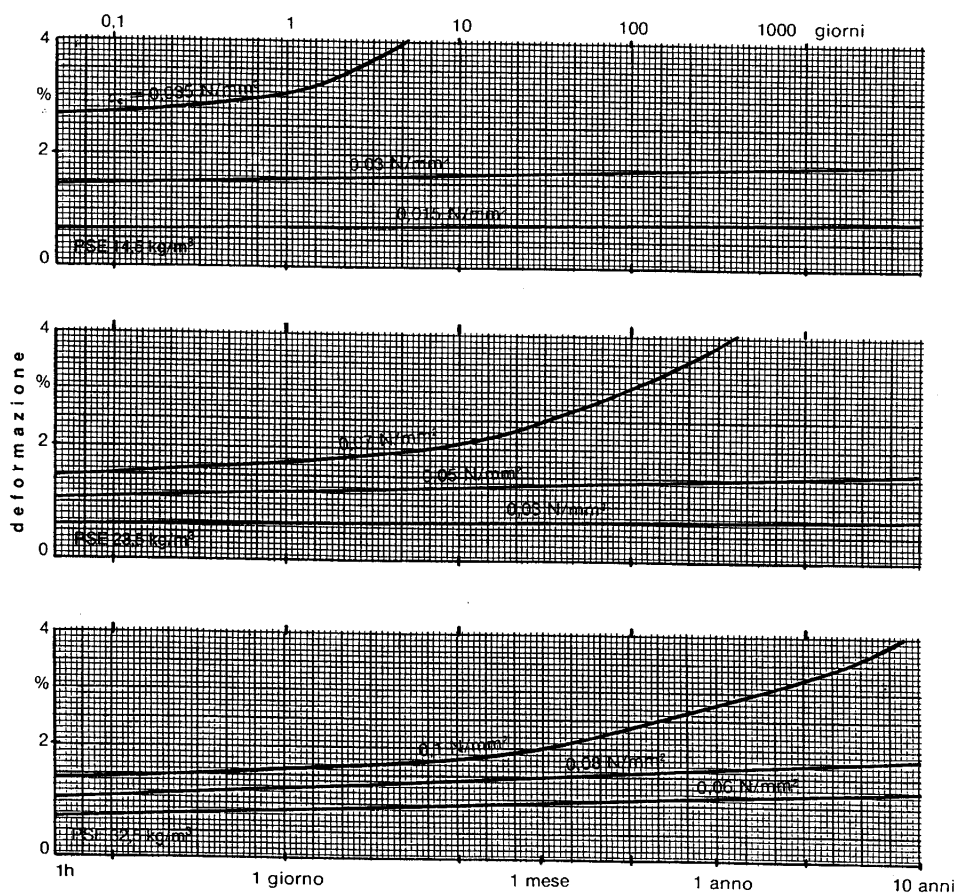


Fig. 6

In conseguenza, per carichi permanenti di compressione, si raccomanda di non superare i valori della seguente tabella:

SOLLECITAZIONE PERMANENTE A COMPRESSIONE PER DEFORMAZIONE < 2%	
Massa volumica (Kg/m^3)	Sollecitazione N/mm^2
15	0.012-0.025
20	0.020-0.035
25	0.028-0.050
30	0.036-0.062
35 (1)	0.044-0.074
(1) Valori estrapolati	

Influenza della temperatura sul comportamento meccanico

Le temperature massime sopportabili dall'EPS dipendono, come per tutti i termoplastici, dalla durata e dall'intensità della sollecitazione. Senza sollecitazione e per breve tempo l'EPS sopporta temperature di 95-100°C (p. es. all'atto dell'applicazione di un bitume caldo). Sotto un carico permanente di 20 KN/m^3 la temperatura limite scende a 80-85°C (75-80°C per l'EPS 15). Le prove di stabilità dimensionale considerate dalle normative, p.es. UNI 7819 e ISO 4898, che indicano la deformazione massima ammissibile dopo un determinato periodo sotto carica ad una data temperatura, danno la possibilità di verificare l'idoneità di un EPS per determinate applicazioni. In particolare ISO 4898 prevede una deformazione limite del 5% nelle condizioni e per gli impieghi specificati nella seguente tabella.

PROVE DI STABILITA' DIMENSIONALE DELL'EPS SECONDO ISO 4898					
Classe	Impiego	Massa volumica (Kg/m^3)	Durata della prova	Temperatura di prova °C	Sollecitaz. Di compr. KN/m^2
I	Non portante	15	48 ore	70	–
II	Carichi limitati	20	48 ore	80	20
III	Carichi maggiori	30	7 giorni	70	40

Assorbimento d'acqua

Il materiale EPS molto più leggero dell'acqua, deve essere immerso e mantenuto in tale posizione per un tempo adeguato. Le prove sono state condotte con il metodo della norma ISO 2896 alla temperatura di 18°C. L'assorbimento totale dell'EPS 20 è stato del 1,54% V/V dopo un periodo di un anno. La variazione nel tempo è data dalla curva sotto riportata

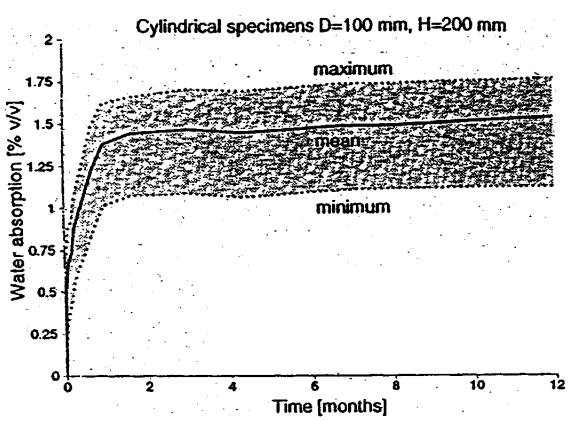


Fig. 7

Una situazione molto interessante e critica si ritrova nel momento in cui l'EPS viene sottoposto a cicli di gelo/disgelo in presenza di assorbimento d'acqua. I campioni (cilindri di 100 mm diametro e 200 m altezza) vengono sottoposti a 30 cicli per 15 giorni con vapore saturo a 50°C e posti in freezer a –25°C e a –12°C. Il valore di assorbimento d'acqua si è ridotto a 1,1% V/V. Valore estremamente incoraggiante in quanto l'acqua entrata per capillarità e congelata poteva provocare microfessure importanti con conseguente aumento della quantità assorbita, effetto quindi non constatato.

Resistenza alla compressione

Sono stati provati campioni a temperatura ambiente ed a bassa temperatura (-15°C). I risultati della prova possono confermare che l'EPS a bassa temperatura non muta il proprio comportamento e quindi è totalmente affidabile. I campioni sono rappresentati da cilindri di diametro 150 mm e altezza 300 m con evidenza del campo elastico lineare sia in ambiente che a bassa temperatura fra 36 e 60 kPa con un modulo elastico E fra 7,37 e 9,27 Mpa. I valori sperimentali sono riportati nei diagrammi sotto esposti:

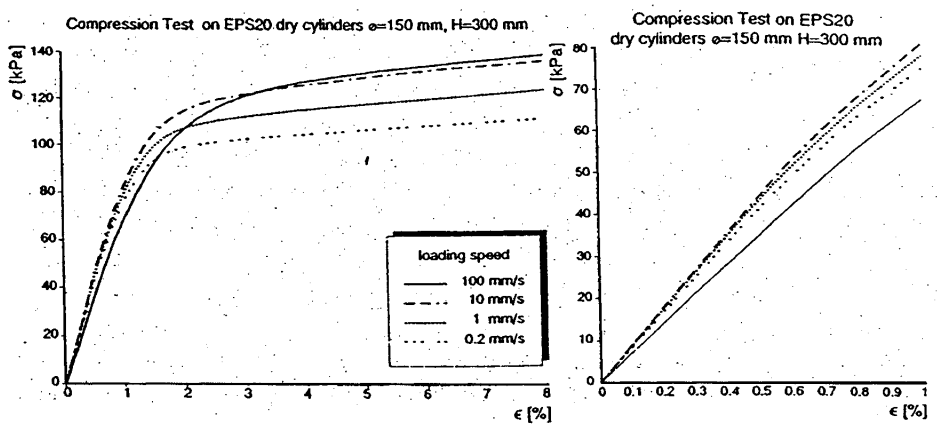


Fig. 8. Diagramma sforzo-deformazione di EPS 20

Linear – elastic region pf EPS 20 at low temperatures				
P dry (Kg/m³)	Temp (°C)	$\Delta\sigma_{le}$ (Kpa)	$\Delta\varepsilon_{le}$ (%)	E_{le} (Mpa)
18.87	-12.9	51.0	0.84	6.0
19.02	-11.2	46.9	0.63	7.5
19.52	-10.0	47.2	0.60	7.9
20.42	-10.6	45.9	0.66	7.0

Deformazioni nel tempo

Quando un elemento in EPS viene sottoposto ad un carico costante per un lungo periodo di tempo, questo presenta un cedimento che è funzione delle proprie caratteristiche e viene definito con il termine "CREEP". La sperimentazione su campioni cilindrici (diametro 150 mm e altezza 300 m) è stata condotta per più di un anno creando una sollecitazione interna di 20 kPa che corrisponde ad elementi posti come sottofondazione per edifici di riferimento. La deformazione più marcata si ottiene durante il primo giorno di carico. In seguito le variazioni di deformazione del campione sono state veramente limitate tanto da approvare l'EPS come materiale

adeguato al posizionamento al di sotto delle fondazioni. I valori sperimentali sono qui di seguito riportati:

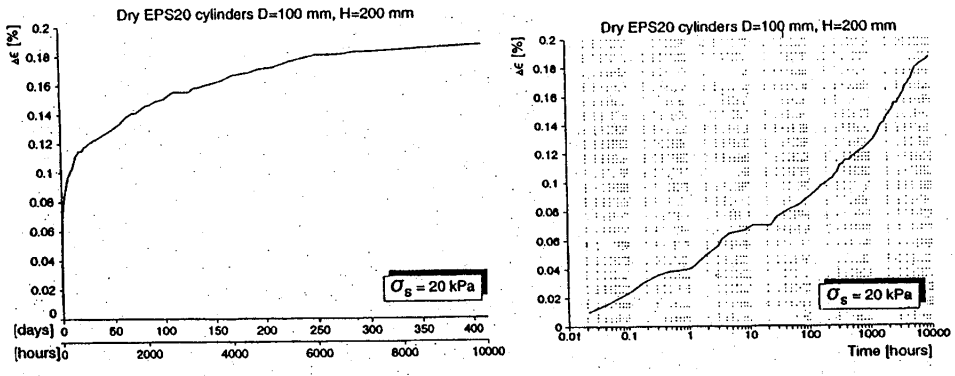


Fig. 9. Curva di deformazione sotto carico di EPS 20

Ing. Marco Piana
Associazione italiana polistirolo espanso

Nuovi materiali, realtà e false credenze

Vengono riportati i dati relativi a materiali considerati innovativi e sottoposti ad analisi approfondite per permettere al progettista ed all'utente di prendere coscienza delle differenze possibili fra materiali considerati sicuri e materiali considerati a rischio perché poco conosciuti. Le scelte devono essere effettuate in seguito ad una attenta analisi dei dati e delle situazioni globali tralasciando l'influenza creata da cause emozionali.
Materiali "BIO" vengono sempre più considerati idonei all'utilizzo nelle costruzioni civili. Per tecnici, progettisti e utenti il prefisso "BIO" significa naturale quindi i materiali biologici sono di derivazione naturale. Considerati tali sono ad esempio: legno, mattone, sughero, calcestruzzo, argilla, ecc. Purtroppo ognuno dei prodotti sopra citati viene si ricavato da sostanze che si trovano in natura, ma vengono sempre sottoposti ad un processo industriale in cui viene consumata energia e provocato un inquinamento dell'aria, dell'acqua e quindi viene coinvolto l'ambiente di vita.

L'imballaggio è risultato essere l'argomento di gran lunga più discusso ed analizzato in termini di impatto ambientale. Molti metodi sono stati approfonditi per analizzare e conteggiare tutti gli aspetti relativi alla vita dell'imballo sia relativo ad un prodotto che giunge all'utente finale sia relativo ad un prodotto destinato alla grande distribuzione. Gli imballi svolgono molteplici funzioni. Essi devono in primo luogo proteggere, isolare e facilitare il maneggiamento. Durante il trasporto e l'immagazzinaggio la merce è infatti sottoposta a sollecitazioni meccaniche e termiche e subisce gli influssi dell'umidità. Gli imballi inoltre possono ridurre i costi e comportare dei vantaggi nella vendita. Poiché spesso gli imballi sono composti da una combinazione di diversi materiali ha senso eseguire un confronto sulla base di esempi concreti di imballo. Un esame differenziato dei materiali da imballo consente di trarre delle conclusioni sulla soluzione di imballi per cui optare, nonché contribuire ad ottimizzarla.
Per razionalizzare la gestione dei problemi ambientali dell'imballaggio è possibile utilizzare uno strumento in grado di offrire un quadro quantitativo del relativo impatto ambientale. Questo strumento è la valutazione del ciclo di vita o life cycle assessment: LCA. Su questo tema si contano numerose pubblicazioni e rassegne e operano importanti società e organizzazioni come ad esempio lo Spold (Society for the Promotion of LCA Development), che si occupa della promozione e sviluppo della valutazione ambientale del ciclo di vita. Il settore dell'imballaggio è quello dove è stato compiuto il maggior numero di studi di valutazione del ciclo di vita e dove storicamente si è avuta la prima applicazione nel 1969 (Coca-Cola). La direttiva europea sui rifiuti dell'imballaggio fa riferimento esplicito (articolo 6) all'uso di ecobilanci come strumento utile per valutare i risultati e migliorare l'applicazione della direttiva stessa. Nell'articolo 10 inoltre si raccomanda di sviluppare criteri e metodologie standardizzate per la elaborazione di LCA degli imballaggi.
Che cos'è una valutazione del ciclo di vita (life cycle assessment o lca)?
Nella bozza dello standard internazionale ISO/DIN 14040 , si dà la seguente definizione del concetto della valutazione del ciclo vita "Compilazione e valutazione degli input e output e gli impatti potenziali sull'ambiente di un prodotto lungo l'intero ciclo di vita del prodotto stesso". LCA è una tecnica per valutare gli aspetti ecologici e i potenziali impatti di un prodotto. L' "inventory" del ciclo vita (Life Cycle Inventory o LCI), cioè la compilazione dell'"inventario" dei relativi input e output di un sistema è un importante aspetto dello studio.

A cosa serve LCA?
LCA può servire a:

- Identificare le opportunità per migliorare gli aspetti ecologici nei vari stadi del ciclo vita dei prodotti;
- Stimolare le decisioni nel settore e presso le organizzazioni, governative e non;
- Selezionare i relativi indicatori della performance ecologica, incluse le tecniche di misurazione;
- Facilitare il marketing (ad esempio tramite un programma di ecoetichettatura).

Secondo le convenzioni correntemente usate la valutazione del ciclo di vita si suddivide in due fasi:

A) L'analisi del ciclo di vita o lifecycle analysis (LCA), che consiste nella compilazione quantitativa e sistematica (inventario) di tutti i prelievi e immissioni nell'ambiente dei materiali, dell'energia e dell'inquinamento associato attribuibile al prodotto, o al servizio, durante il suo ciclo di vita (dalla culla alla tomba).
B) La valutazione dell'effetto sull'ambiente dei parametri individuati dalla LCA che producono danni all'ambiente.

La sigla LCA viene correttamente usata per indicare la fase A. della valutazione del ciclo di vita, e cioè la fase di analisi o anche di semplice compilazione dei prelievi e delle immissioni nell'ambiente. La valutazione ambientale dei processi viene in genere denominata "ecobilancio". La valutazione del ciclo di vita è uno strumento che aiuta la gestione della progettazione e del miglioramento degli imballaggi sulla base di criteri ambientali. Per attuare una valutazione del ciclo di vita di un prodotto o di un progetto è necessario considerare oltre all'effetto sull'ambiente anche il beneficio derivante per la Società ovvero per i consumatori. L'esecuzione di questo bilancio costi-benefici assume la forma più semplice quando si confrontino ad esempio due imballaggi destinati alla stessa funzione. In tal caso la valutazione deriva direttamente dal confronto delle LCA. Nonostante i problemi sollevati dall'uso di questo strumento ancora in fase di sviluppo e nonostante la confusione sul suo ruolo e funzione, sono sempre di più le aziende che per orientarsi nelle scelte ambientali ricorrono a questo strumento per definire le relative politiche e strategie. Le applicazioni della valutazione del ciclo di vita di imballaggi sono numerose e non poche aziende ne fanno uso non soltanto per il problema degli imballaggi. L'uso più frequente della valutazione del ciclo di vita è dovuto ai seguenti motivi:

- La valutazione del posizionamento ambientale di un imballaggio;
- Il miglioramento di un imballaggio;
- La valutazione di un progetto di un nuovo imballaggio.

Dai risultati di una LCA è possibile individuare il posizionamento ambientale dell'imballaggio di interesse ed è possibile identificarne i punti di debolezza su cui dirigere lo sforzo progettuale. Nell'ambito della progettazione di nuovi imballaggi gli strumenti di cui sopra possono analogamente fornire gli elementi per indirizzare le scelte produttive. I risultati di questa valutazione hanno anche la funzione di fornire informazioni per il consumatore e per la pubblica amministrazione a supporto di certificazioni ambientali e di gestione dell'ambiente e non ultimo di far luce su molti aspetti su cui sono nate false aspettative a causa di valutazioni parziali e incomplete perché limitate ad una sola fase del ciclo di vita. Per compiere una valutazione del ciclo di vita dalla culla alla tomba è necessario definire il sistema da esaminare e in particolare i suoi confini. La scelta dei confini è una operazione critica da cui dipendono i risultati finale e su questo tema sono in atto studi volti a individuare criteri di standardizzazione. Lo schema generale di analisi del ciclo di vita è riportato nella figura in cui il cui ciclo viene suddiviso in

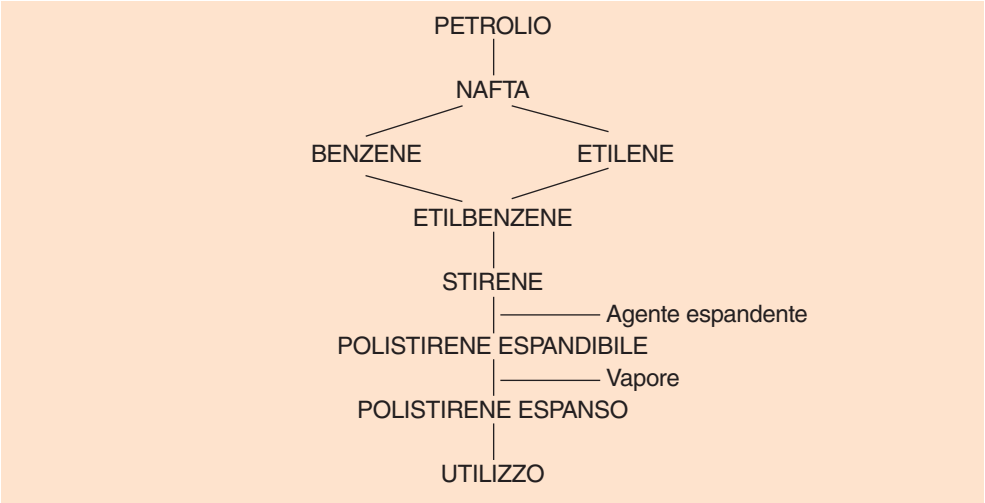
fasi ognuna delle quali viene definita in base al bilancio energetico e ai prodotti di rifiuto aria, acqua e rifiuti solidi). Le fasi di vita rilevanti per un imballaggio sono la produzione delle materie prime, la trasformazione di queste in parti finite e assemblate ovvero la fabbricazione dell'imballaggio, la fase di uso (riempimento e trasporto) e la fase di smaltimento (conferimento, recupero, incenerimento e discarica). Per il calcolo della LCA i dati relativi alle varie fasi di vita dei materiali per imballaggio sono in genere disponibili almeno per i più importanti di essi. In genere i risultati ottenuti nella fase di inventario, di tutti i prelievi e le immissioni nell'ambiente, non sono di facile interpretazione se non si procede ad aggregazioni dei dati. Le aggregazioni più frequentemente usate sono:

- I consumi energetici complessivi, in cui è eventualmente opportuno evidenziare le forme di energia in elettrica, termica e energia intrinseca;
- I volumi complessivi di rifiuti solidi in riferimento ad esempio ai volumi di discarica utilizzati per il loro smaltimento;
- Le emissioni complessive in aria e nelle acque superficiali.

L'aggregazione per queste emissioni è un punto molto critico e discusso, ma di importanza fondamentale per la comprensione di questo tipo di informazioni. Alcuni modelli di calcolo assumono ad esempio una aggregazione per volumi di diluizione e degli inquinanti ai limiti delle concentrazioni di legge o aggregazioni in relazione a effetti su specifici aspetti ambientali.

Il ciclo di vita del polistirene espanso

L'analisi del ciclo di vita del polistirolo deve analizzare tutti i processi necessari per giungere al prodotto finale ed al relativo utilizzatore. Materie prime utilizzate e fonti di energia devono essere contabilizzate considerando anche gli apporti positivi ottenuti durante la trasformazione chimica a differenti livelli. Una visione a blocchi del processo può essere così sintetizzata:



Produzione del polistirene
Il polistirene viene prodotto mediante polimerizzazione dello stirene. La polimerizzazione è un processo esotermico: per 1 Kg di stirene che polimerizza vengono rilasciati 7000 KJ. Il processo di polimerizzazione può avvenire con due metodi:
- Polimerizzazione in massa. Processo continuo condotto in un sistema chiuso. Non vi sono

acque di scarico inquinante dal processo.

- Polimerizzazione in sospensione. E' condotta in ambiente acquoso con acque di scarico che devono essere trattate. Per produrre 1 Kg di polistirolo espandibile occorrono:
  0,93 Kg STIRENE
  0,07 Kg PENTANO

Produzione di polistirene espanso (EPS)
Può essere realizzato con due metodologie:
- In continuo (lastre)
- In discontinuo (blocchi e stampati)

Vapore occorrente:
60 Kg/m^3 continuo
18 Kg/m^3 discontinuo
1 Kg di EPS deriva da 1 Kg di polistirene espandibile.

Bilancio energetico
Per la produzione della materia prima sono necessari: 25,92 MJ/Kg così suddivisi:
7,42 MJ produzione benzene/etilene/pentano
0,09 MJ produzione etilbenzene
13,60 MJ produzione stirene
4,00 MJ produzione polistirene espandibile.
Il trasporto della materia prima necessita in media di 0,077 KJ/Kg.
Il processo di espansione necessita di:
2,9 MJ/Kg discontinuo
9,6 MJ/Kg continuo
Il trasporto dell'EPS all'utilizzatore in media necessita di: 0,46 MJ/Kg. La somma dei consumi sopra riportati permette di giungere alla quantità globale di energia necessaria:
29,36 MJ/Kg discontinuo
36,06 MJ/Kg continuo

Conclusioni
1. Kg di polistirene richiede 1,72 Kg di petrolio per la produzione della materia prima
2. Se l'energia esterna utilizzata per la produzione è posta pari al 100% si può ipotizzare la ripartizione
   ~ 80% per la produzione della materia prima
   ~ 20% per produrre EPS
   (espansione + sinterizzazione)
   (10% discontinuo)
   (27% continuo)
   1,5% per trasporto di EPS all'utilizzatore
3. Energia esterna occorrente (incluso il trasporto)
   33 MJ per 1 Kg di EPS per il processo discontinuo.

Isolamento termico con EPS
Vengono ipotizzati esempi applicativi e dati di riferimento per avvallare l'importanza di incrementare l'utilizzo dell'EPS come materiale isolante nelle costruzioni.

Materiale EPS di riferimento:
densità 20 Kg/m^3
conducibilità λ= 0,035 W/mK

Resistenza termica di un componente ritenuto sufficiente a garantire un buon isolamento:
R = 2,5 m^2 K/W

Lo spessore relativo di EPS per soddisfare al valore sopra riportato risulta:
R = t/l 2,5 = t/0,035
t = 8,75 cm spessore di EPS

1 m^2 di superficie avrà un peso di:
P = 8,75/100 x 1 x 20 Kg/m^3 = 1,75 Kg.

Il consumo annuo di energia sarà:
C = (m x s x D x 24 x 3,6)/h MJ/m^2
m = trasmittanza termica elemento
a senza isolante 2,5 W/Km^2
b con isolante 0,4 W/Km^2
s = 1 m^2
D = gradi giorno 2100
h = 0,85 efficienza impianto

si otterrà:
Ca = 533,65 MJ/m^2 anno
Cb = 85,38 MJ/m^2 anno

Ipotizzando una vita dell'edificio di 50 anni, l'energia globale consumata sarà:
Eb 26682 MJ/m^2
Ea 4269 MJ/m^2
22413 MJ/m^2 differenza di energia risparmiata

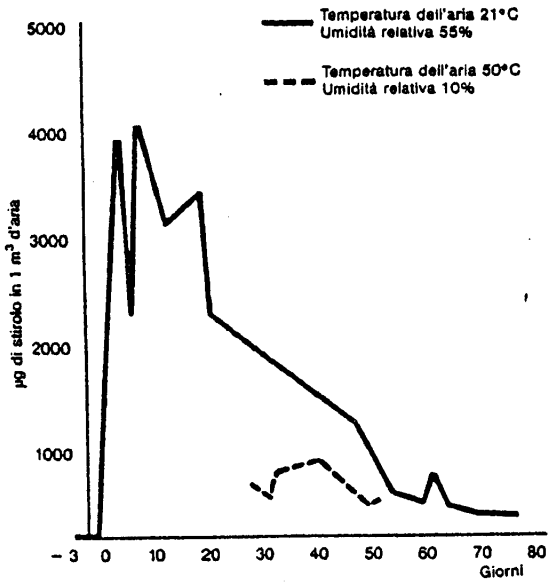
Per il riscaldamento viene fatto riferimento al combustibile gasolio con il seguente rapporto energetico:
1 Kg di gasolio = 42,6 MJ

La quantità di gasolio risparmiata isolando l'edificio sarà:

$$\frac{22413 \text{ MJ/m}^2}{42{,}6 \text{ MJ/m}^2} = 526 \text{ Kg/m}^2$$

La combustione di gasolio per riscaldamento produce sostanze che vanno in atmosfera. Queste possono essere sintetizzate nei 4 gruppi più importanti:
CO_2 85 g/MJ
SO_2 0,1 g/MJ
NOX 0,12 g/MJ
Particolato 25 mg/MJ

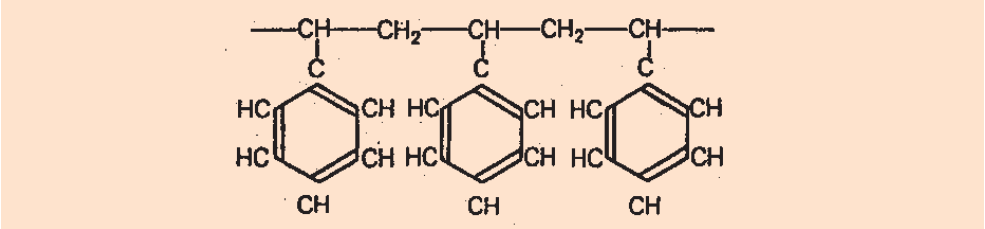
Tali sostanze moltiplicate per la quantità di energia risparmiata nei 50 anni di funzionamento (ovvero 22413 MJ/m^2) si ottiene la quantità globale di materiali che non saranno entrati in atmosfera:
CO_2 1905,0 Kg
SO_2 2,241 Kg
NOX 2,69 Kg
Particolato 0,56 Kg



I problemi che l'evoluzione sempre più rapida della società umana pone alla conservazione dell'ambiente in cui essa vive, sono ogni giorno di più oggetto di attenzione generale e di discussioni appassionate dal momento che ormai ci si è resi conto che dalla salvaguardia di questo ambiente, oggi sicuramente in pericolo, dipende l'ulteriore sviluppo e forse anche la stessa sopravvivenza della nostra civiltà.
Le problematiche legate alla purezza dell'aria assumono sempre più peso considerevole nel controllo della qualità dell'aria degli spazi residenziali. Ciò è dovuto all'aumento della presenza di elementi inquinanti, sia all'interno degli alloggi, sia nell'ambiente esterno. I problemi si sono aggravati negli ultimi anni in connessione alla tendenza a ridurre il ricambio d'aria degli ambienti per conseguire un risparmio di energia; poiché ciò è stato tentato per lo più semplicemente sopprimendo o riducendo i passaggi dell'aria fra interno ed esterno (tenute dei serramenti, camini), senza controllare effettivamente il fenomeno (con ventilazione meccanica, scambiatori di calore, percorsi obbligati dell'aria, ecc.), ne è conseguita una maggior concentrazione degli elementi inquinanti negli ambienti, in primo luogo umidità, ma anche prodotti dell'attività e del metabolismo ed emanazione dei materiali costituenti l'edificio o in esso contenuti. Fra questi ultimi è comprensibile che l'attenzione si sia concentrata sui materiali più recenti, trascurando quelli con i quali l'umanità, bene o male, convive da migliaia di anni. In effetti i materiali recenti hanno fornito più di un motivo di preoccupazione per la salute degli abitanti, ma l'informazione in proposito ha spesso provocato confusione nell'opinione pubblica, per lo più attribuendo a tutti i materiali di una certa categoria merceologica (p.es. gli espansi plastici) caratteristiche proprie soltanto di qualcuno di essi. Il Polistirene Espanso Sinterizzato non è sfuggito a questa sorte e poiché le accuse rivoltegli sono fondamentalmente immeritate, è opportuno cercare di fare chiarezza, così che questo materiale, così conveniente ed efficiente, possa essere impiegato con completa fiducia. Le obiezioni sono qui di seguito riunite a gruppi, per ognuno dei quali viene esaminata la loro fondatezza.

A) Obiezioni legate alla costituzione chimica del Polistirene Espanso
L'EPS è un polimero, formato dall'unione di tante molecole di un monomero, lo stirolo che è un idrocarburo aromatico, cioè un composto di carbonio e idrogeno della serie del benzolo. Respirare i vapori di stirolo è nocivo; il valore limite di soglia (TLV) per esposizione di 8 ore al

giorno in ambienti di lavoro è di 215 mg/m^3 (50 p.p.m.) secondo i valori americani recepiti dai nostri contratti di lavoro. Circola ancora in Italia, nonostante le ripetute confutazioni, la credenza che il Polistirene "sublima", cioè svanisce nel tempo, per scomposizione a monomero ed evaporazione di quest'ultimo; se ciò fosse vero, le preoccupazioni per la sua nocività, oltre che per la sua durata nel tempo, sarebbero giustificate; fortunatamente non è così; la tensione di vapore del Polistirene è pressoché nulla e il fenomeno non può fisicamente verificarsi; del resto i rilievi fatti da Istituti qualificati su campioni di EPS in opera da più di 30 anni hanno dimostrato che non si ha perdita di massa nel lungo periodo. Per completezza di informazioni si possono tuttavia segnalare in proposito due casi, che però non hanno importanza dal punto di vista dell'applicazione. Il primo riguarda il processo di taglio dei blocchi di EPS in lastre con l'usuale metodo del filo caldo; in effetti a contatto con il filo caldo si ha una piccola decomposizione di materiale; il fenomeno è peraltro molto modesto e circoscritto e nello stabilimento di produzione può essere facilmente controllato, così da non recare pregiudizio agli operatori.



Struttura chimica del Polistirene

Studi svedesi e americani su lavoratori esposti a queste condizioni ambientali non hanno messo in evidenza alcun fattore di rischio ad esse collegato. L'altro caso si riferisce all'EPS di recente produzione; poiché la polimerizzazione non può mai arrivare a convertire il 100% del monomero, tracce di questo restano nel prodotto; queste tracce scompaiono spontaneamente insieme ai residui dell'espandente (pentano) nel giro di alcune settimane, cioè sicuramente in un tempo inferiore a quello che normalmente decorre fra la produzione del materiale e la prima occupazione del locale in cui è stato applicato. L'entità di questo fenomeno è stata
misurata con esperienze condotte dall'Istituto di Igiene dell'Università di Heidelberg. In una prima serie di prove presso questo Istituto, 91 m^2 di lastre di EPS da 15 Kg/m^3, dello spessore di 5 cm, appena prodotte, furono applicate, senza sigillanti, a rivestire le pareti (64 m^2) di un locale cieco e le rimanenti furono poste di costa, con entrambe le facce libere, in mezzo al locale; questo venne mantenuto sigillato e senza ventilazione a 21°C e 55% di U.R.: si è trattato chiaramente di condizioni eccessive. La concentrazione di stirolo nell'aria raggiunse il massimo l'8° giorno con 4 mg/m^3 (contro il TLV di 215), ma già dopo il 20° giorno i valori caddero decisamente e si avvicinarono dopo due mesi, alla soglia di misurabilità. Successivamente l'emissione di stirolo venne attivata, portando l'aria a 50° per 50 giorni, ottenendo concentrazioni di stirolo inferiori a un millesimo del valore di TLV. Una seconda serie di prove dello stesso Istituto venne poi condotta in condizioni più realistiche, rivestendo le pareti verticali (42 m^3) di un locale con lastre accoppiate EPS/cartongesso; il locale era ancora non ventilato e tenuto a 21° e 55% di U.R. Si è registrata una concentrazione massima di stirolo al 3° giorno (0,36 mg/m^3), che è andata poi progressivamente calando fino a diventare non più misurabile dopo 100 giorni a questo punto anche il soffitto (11 m^2) è stato rivestito con lastre a vista di EPS di tipo decorativo, di 8 mm di spessore; dopo 3 giorni la concentrazione era salita a 0,09 mg/m^3, ma dopo 18 giorni non era più misurabile; ancora una volta si è portato il locale a 50° dopo aver sostituito le lastre del soffitto e la concentrazione di stirolo salì a 0,64 mg/m^3, scendendo poi sotto il limite di misurabilità al 37° giorno di quest'ultima prova. Anche indagini su ambienti costruiti, isolati con EPS, non hanno rivelato presenza di stirolo. Questi risultati sono stati confermati da un Comitato del Ministero

Tedesco dell'Ambiente, Costruzione Urbanistica che afferma testualmente:

" i materiali isolanti formati da espanso rigido di Polistirene prodotti in conformità della norma DIN 18164 possono, se non rivestiti immediatamente dopo la loro produzione, emettere piccole quantità di stirolo monomero. Nelle condizioni più sfavorevoli si possono avere valori di punta fino a 1/100 dell'attuale valore di soglia (420 mg/m = 100 p.p.m.). Anche a temperature elevate, insolite nei locali di abitazione, tali concentrazioni ammontano peraltro, dopo circa 10 settimane, a soli 1-2 millesimi del valore di soglia e si abbassano poi molto rapidamente sotto il limite di misurabilità. Le tracce di stirolo presenti in questi isolanti sono perciò senza importanza dal punto di vista sanitario".
Ogni dubbio sull'assenza di nocività dell'EPS dovrebbe quindi cadere e in effetti dubbi simili non sono mai affiorati in altri settori, p.es. quello degli imballaggi alimentari, che ammettono legalmente il Polistirene fra i materiali che possono venire a contatto con alimenti. Per completezza citiamo comunque anche le altre emissioni attribuite all'EPS per confusione con altri materiali (formaldeide, clorofluorocarburi, radon), che non possono sussistere semplicemente perché l'EPS non le contiene, né i suoi costituenti, carbonio e idrogeno, possono concorrere a formarle.

B) Obiezioni legate alla struttura fisica dell'eps
L'EPS oppone una certa resistenza al passaggio del vapore; l'entità è caratterizzata dal vapore del coefficiente u, detto appunto "di resistenza al passaggio del vapore che rappresenta lo spessore di aria equivalente, dal punto di vista della diffusione del vapore, ad uno spessore unitario di EPS. Il valore u dell'EPS è dello stesso ordine di grandezza di quello dei materiali da costruzione tradizionali e non crea particolari problemi nel controllo dello scambio di umidità fra interno ed esterno attraverso pareti che comprendono uno strato di EPS. Si può dunque dire che una parete isolata con EPS "traspira" se non comprende altri strati di resistenza al passaggio del vapore molto maggiore (le cosiddette "barriere al vapore"). A questa permeabilità al vapore corrisponde una certa permeabilità all'aria, che si può ritenere circa dello stesso ordine di grandezza, quindi del tutto insufficiente, non solo ad assicurare, ma anche soltanto a contribuire in maniera apprezzabile al ricambio d'aria necessario per i locali; questo deve essere assicurato, in modo più o meno controllato, dalle aperture di cui dispone il locale. Accade tuttavia che si faccia confusione fra le due permeabilità, al vapore e all'aria, e si affermi che una parete con EPS non traspira; in realtà nessuna parete, di nessun genere, se ben fatta, contribuisce al ricambio d'aria e quindi questa osservazione è del tutto ingiustificata. Un'altra obiezione sollevata contro gli isolanti in genere è quella di costituire uno schermo ai campi elettrici e magnetici in cui vivremmo all'aperto; in realtà questi campi esistono e si producono anche all'interno (p.es. per effetto dei vestiti che indossiamo) e se anche avessero qualche influsso sulla salute, positivo o negativo, questo sarebbe ben difficile da mettere in evidenza, sovrapposto agli altri influssi (igrotermici, sonori, da inquinamento, ecc.), ben più importanti, cui siamo costantemente sottoposti.

Comportamento biologico

L'EPS non costituisce nutrimento per alcun essere vivente, microrganismi compresi, quindi non marcisce o ammuffisce. Al più, se molto sporco, in certe condizioni, microrganismi si possono insediare nella sporcizia e l'EPS agisce semplicemente da supporto e non prende parte ai processi biologici. Anche i batteri del suolo non attaccano l'EPS. L'EPS, come altri materiali di scarsa durezza, può essere roso da piccoli animali e insetti, che ne sfruttano la buona coibenza termica per farvi il nido. Ciò può accadere in particolare in applicazioni agricole (stalle, sili). Si può ovviare con opportune disinfestazioni (tenendo presente la sensibilità dell'EPS ai solventi) o meglio impedendo l'accesso ai roditori con reti inossidabili e agli insetti con intonaci di rivestimento. Per la sua stabilità chimica e biologica l'EPS non costituisce un pericolo per l'igiene

ambientale e per le falde acquifere. Non vi sono controindicazioni al deposito nelle discariche e alla combustione nei forni di incenerimento. L'EPS in opera nella coibentazione edilizia non presenta alcun fattore di pericolo per la salute; si tenga presente in proposito che il Polistirene compatto e l'EPS come materiale da imballaggio sono ammessi dalla legislazione come materiali che possono venire a contatto con le sostanze alimentari. Anche il maneggio e le eventuali lavorazioni meccaniche connesse con la messa in opera dell'EPS sono assolutamente innocui e in particolare non vi è pericolo di inalazione di particelle o di manifestazioni allergiche. Anche le tracce di espandente e di stirolo monomero non polimerizzato che possono essere presenti nell'EPS di recente produzione si disperdono rapidamente , anche in locali chiusi, non sono più rilevabili a distanza di qualche mese dalla produzione, che è un tempo che comunque decorre fra la produzione dell'EPS e l'occupazione di un edificio.

Comportamento all'invecchiamento

Per invecchiamento di un materiale si intende la variazione (generalmente in peggio) delle sue caratteristiche nel corso del tempo, dovuta a cause interne (tensioni, transizioni strutturali, ecc.) o esterne, sia legate alle sollecitazioni imposte, sia alle condizioni ambientali di impiego. L'analisi qui svolta delle influenze che i fattori ambientali, come temperatura e umidità, e le sollecitazioni di lavoro hanno sulle caratteristiche dell'EPS mostra che esso può garantire per un periodo illimitato le prestazioni che gli vengono richieste. Ciò è dimostrato da 30 anni di esperienza applicativa su scala vastissima e in particolare da numerose verifiche delle caratteristiche, effettuate sull'EPS in opera da decenni. Sono quindi da confutare decisamente le voci di scarsa stabilità nel tempo, che si sono spinte fino ad affermare l'esistenza di una "sublimazione", affermazione fisicamente senza senso. L'origine di queste voci, quando non è da attribuire a concorrenza scorretta, va fatta risalire a pratiche imprenditoriali scorrette, che hanno ritenuto di poter approfittare della difficoltà di verificare l'effettiva applicazione del materiale nelle intercapedini: in effetti talli voci non si riferiscono mai a situazioni più controllabili, anche se oggettivamente più difficili, come l'isolamento esterno sotto intonaco. Naturalmente la migliore assicurazione del permanere nel tempo delle prestazioni dell'EPS è data dall'impiego di materiale a norma, quale AIPOR. Un fattore ambientale non trattato precedentemente, perché non corrisponde mai ad effettive condizioni di impiego, è l'effetto della radiazione solare ultravioletta. Questa radiazione, cui l'EPS può trovarsi esposto nel deposito in cantiere e durante la messa in opera provoca un ingiallimento e infragilimento superficiale, che in molti casi non dà luogo ad alcuna riduzione delle prestazioni, mentre in altri, come nel rivestimento con intonaco, può compromettere l'aderenza della finitura. Una corretta pratica di cantiere evita facilmente questo inconveniente.

Caratteristiche elettriche

Le caratteristiche elettriche dell'EPS si avvicinano a quelle dell'aria, che costituisce la maggior parte del suo volume (costante dielettrica E = 1,04). La quasi completa assenza di gruppi polari è evidenziata dal bassissimo angolo di perdita. Per queste caratteristiche, di scarsa importanza per le applicazioni edilizie in genere, l'EPS aveva suscitato interesse al suo apparire come materiale isolante per alte frequenze.

Comportamento al fuoco

L'EPS ed il fuoco

La reazione al fuoco dell'EPS è in relazione, da una parte, con la sua natura chimica di idrocar-

buro, dall'altra con la sua particolare struttura fisica di termoplastico cellulare. Dal primo punto di vista, essendo composto esclusivamente di carbonio e idrogeno, l'EPS è un materiale che brucia completamente e i prodotti della sua combustione completa sono soltanto anidride carbonica e acqua. L'innesco della combustione presuppone la formazione, per effetto di calore esterno, dei prodotti gassosi di decomposizione dell'EPS, che ha inizio intorno ai 230-260 °C, ma, in assenza di sorgenti esterne, soltanto fra 450 e 500°C si ha la loro accensione spontanea. Si richiede quindi una certa quantità di energia per l'accensione; in pratica, p.es. scintille di saldatura o elettrostatiche o particelle di tabacco accese non bastano per avviare la combustione. La particolare struttura termoplastica cellulare fa poi si che l'espanso, sotto l'azione del calore, tenda a contrarsi per collasso delle cellule e quindi ad allontanarsi dalla sorgente di calore, molto prima che cominci la decomposizione; anche questo contribuisce a ritardare l'accensione. Per quanto riguarda lo sviluppo di calore, questo ammonta, in caso di combustione completa, a circa 40.000 KJ/Kg (= 9500 Kcal/Kg). Un Kg di EPS rappresenta quindi un carico d'incendio di quasi 2 Kg di legna di potere calorifico convenzionale di 4400 Kcal/Kg, secondo la definizione del D.M. 30.11.83. In pratica le quantità in peso dell'EPS che si impiegano sono sempre modeste, dati i suoi valori di massa volumica, e un confronto più significativo può essere dedotto a parità di spessore, come mostra la tabella seguente. Calore di combustione e carico d'incendio di 1 m^2 di materiale in spessore di 1 cm.

Materiale	Massa volumica Kg/m^3	Calore di combustione KJ/m^2cm	Carico d'incendio Kg
EPS	15	5900	0,32
"	20	7900	0,43
"	25	9800	0,53
"	30	11800	0,64
"	35	13800	0,75
Legno	500	92000	5,00

Se la reazione al fuoco dell'EPS viene valutata secondo D.M. 26.6.84, il criterio di classificazione del Quadro 2, l'EPS si colloca nella classe 5, la più bassa. Fra gli aspetti che influiscono su questa classificazione, oltre le modalità di propagazione della fiamma dopo l'innesco (anche se non così veloce come per certi materiali facilmente infiammabili), vi è pure la formazione di gocce incendiate. Queste osservazioni hanno valore soprattutto nei casi in cui l'EPS è applicato in vista, che costituiscono peraltro una minima parte delle sue applicazioni. Nella generalità dei casi l'EPS è all'interno di un complesso (intercapedine muraria, getto di calcestruzzo, rivestimento di cartongesso, ecc.); anche l'isolamento a cappotto, in cui l'EPS si trova sotto pochi millimetri di intonaco, è considerato ufficialmente "materiale isolante non in vista". In tutti questi casi l'EPS è sottratto ad un possibile contatto diretto con una causa d'innesco, oltre che al contatto con l'aria necessaria alla sua combustione (che è da 100 a 200 volte il proprio volume, secondo la massa volumica). E' tuttavia possibile migliorare in modo sostanziale il comportamento al fuoco dell'EPS, mediante l'introduzione, nella formulazione dell'espandibile, di un opportuno additivo (di solito un composto bromurato), in ragione di qualche percento, che non ne altera (anzi di solito migliora leggermente) tutte le caratteristiche fisiche, meccaniche, di durabilità e in particolare di conducibilità termica, ma fa si che il materiale, nelle prove secondo il D.M. 26.6.84 si collochi nella classe 1, la più elevata dei materiali combustibili, per la quale sussistono poche limitazioni di impiego. Caratteristica del comportamento alle prove regolamentari di questo tipo di EPS, detto "a migliorato comportamento al fuoco" (chiamato anche "a ritardata propagazione di fiamma" o "autoestinguente"), è che esso non brucia in assenza di fiamma d'innesco o altra fiamma esterna, anzi, per la sua tendenza a ritirarsi dalla sorgente di calore, tende ad allontanarsi dall'innesco; inoltre esso non produce gocce incendiate. Questo risultato è ottenuto senza alcun cambiamento nella tecnologia di produzione dell'espanso e con aumento di costo molto piccolo rispetto

al tipo normale. Per questa ragione l'AIPE cerca di promuovere l'impiego generalizzato in edilizia dell'EPS a migliorato comportamento al fuoco. In effetti ciò rappresenterebbe, oltre che una maggiore sicurezza offerta dal materiale in opera, anche una maggior sicurezza nei depositi, sia del produttore, che del distributore e del cantiere, nonché una semplificazione del mercato e della gestione del materiale. In altri paesi queste motivazioni sono state già ampiamente recepite, tanto che in alcuni di essi (p.es. Germania Federale), è consentito l'impiego nelle costruzioni del solo EPS a migliorato comportamento al fuoco. La norma UNI 7819 sull'EPS per isolamento termico in edilizia, nella nuova edizione 1988, è perfettamente allineata con quanto prescrive il D.M. 26.6.84. Infatti essa prevede, per tutte le prescrizioni del citato Decreto per la classe 1. Rispetto alla metodologia generale di prova del Decreto la UNI 7819 aggiunge la precisazione che le prove previste dal Decreto devono essere eseguite su materiali condizionati 7 giorni a 70°C; ciò serve ad accelerare, sul materiale di recente produzione e specialmente per gli spessori più elevati, l'emissione di piccole quantità residue di espandente (pentano), che comunque l'EPS perde spontaneamente in qualche mese; la presenza di questa sostanza volatile potrebbe altrimenti in qualche caso influire sul risultato delle prove su materiale fresco. La norma UNI 7819, in vista del suo impiego in un sistema di controllo e certificazione della qualità del prodotto, distingue prove di accettazione (PA), destinate all'autocontrollo presso il produttore, prove di tipo (PT), obbligatorie per l'Istituto di certificazione, e prove di sistema (PS), che possono essere richieste per fini particolari. La rispondenza alla classe 1 di reazione al fuoco (quindi la categoria 1 in entrambe le prove ministeriali), è compresa per l'EPS tipo RF, fra le prove di sistema, mentre per le prove di tipo è prevista soltanto la verifica della categoria 1 per la prova alla piccola fiamma CSE/RF2. L'Istituto Italiano dei Plastici, che gestisce su mandato dell'UNI il Marchio di conformità iiP alle norme per le materie plastiche, richiede, per l'ammissione al Marchio sull'EPS tipo RF, il possesso della omologazione ministeriale, oppure delle corrispondenti certificazioni, rilasciate da uno dei laboratori autorizzati, mentre, in conformità alla norma, per i suoi controlli periodici (almeno due volte l'anno) si limita a controllare il comportamento alla prova alla piccola fiamma. Si può anzi affermare che il possesso del marchio iiP per l'EPS tipo RF è una garanzia supplementare, rispetto alla semplice esibizione della omologazione, proprio in virtù del sistema di controllo continuo da parte di un Ente Terzo, cui è sottoposto il prodotto marchiato. Il marchio iiP garantisce anche che tutte le altre caratteristiche fisiche e meccaniche hanno livelli conformi alla norma. Le lastre sono riconoscibili per la marcatura, che portano sul fianco, caratterizzata, accanto al marchio iiP nel colore stabilito per le varie masse volumiche, da una striscia rossa in cui sono inserite le lettere RF. L'EPS, in quanto materiale organico, è anch'esso origine di fumi in caso di incendio. Per questa caratteristica comune, non essendo pensabile di eliminare la presenza di prodotti organici negli edifici, la difesa dagli effetti dei fumi è in generale piuttosto quella di controllare la loro diffusione, favorendola lungo certi percorsi e impedendola in altre direzioni. Per l'EPS si può poi osservare che il suo contributo sarà in generale modesto, sia perché è impiegato in quantità limitate, sia perché è quasi sempre coperto da strati incombustibili, che, anche ad incendio inoltrato, ostacolano l'afflusso dell'aria e il deflusso dei fumi dall'EPS. Esistono in letteratura anche dati di confronto tra i vari materiali, come quelli riportati nella tabella seguente per la densità ottica dei fumi, ottenuti con la camera NBS.

Tenute presenti le osservazioni sulla significatività di queste prove, si può dire che il Polistirene si comporta, in particolare nella combustione senza fiamma (pirolisi) circa come i legnami, mentre nella combustione con fiamma, in cui i legnami sviluppano meno fumi dei materiali plastici, il polistirolo si colloca all'interno di quest'ultima classe. Per quanto riguarda la tossicità dei fumi, l'EPS sembra essere fra i materiali meno pericolosi; la sua produzione di CO è infatti inferiore rispetto a quella del legno, come mostra la tabella seguente, che riporta misure BASF della concentrazione di CO in ppm nei fumi, a varie temperature, eseguite secondo DIN 53436.

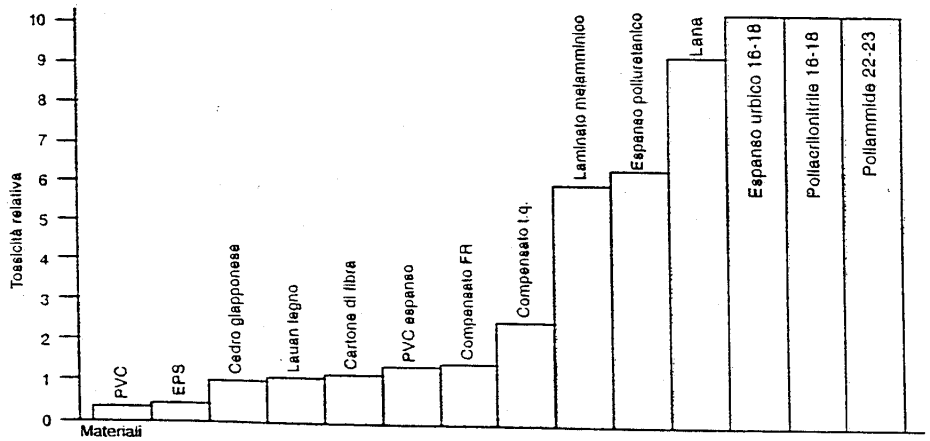
Anche le prove su cavie indicano una minor tossicità dell'EPS rispetto ad altri materiali, come mostra la tabella, tratta da esperienze NASA, in cui è riportato il tempo medio di sopravvivenza in minuti di topi esposti ai fumi della combustione (metodo NASA-USF,

proc. B). Sotto questo aspetto il polistirene è favorito anche dall'assenza di azoto nella sua composizione e quindi dell'impossibilità di formare composti come acido cianidrico e ossidi di azoto durante la sua combustione. In modo sintetico e conciso vengono riportati i comportamenti al fuoco dell'EPS:

1. ***Caratteristiche generali*** . Ad una esposizione dell'EPS a temperature superiori a 100°C inizia a diventare morbido e quindi se la temperatura rimane costante si trasforma in fluido viscoso. A temperature superiori inizia a decomporsi sotto forma di gas. Con prova secondo ASTM D1929 ovvero con la presenza di fiamma pilota l'EPS normale inizia a bruciare a 360°C mentre il tipo RF a 330°C. Queste temperature indicano che al di sotto di tale valore non si sprigionano gas combustibili. In assenza di fiamma, la temperatura di autocombustione è di 450°C.
2. ***Il pentano***. Il pentano utilizzato per realizzare l'espansione viene totalmente perso durante la fase immediatamente successiva alla fabbricazione e quindi non influenza le caratteristiche dell'EPS.
3. ***EPS normale***. Dopo l'innesco della fiamma brucia con la faccia esposta per completare poi la combustione di tutto il materiale. Le basse densità bruciano più velocemente a causa della alta quantità di aria contenuta in esso.
4. ***EPS RF***. La presenza degli additivi per il ritardo della fiamma permette un significativo miglioramento del comportamento. L'EPS RF contiene una piccola quantità di additivo a base di bromo. Questo crea una contrazione del volume quando il materiale va a contatto con la fiamma. Una volta eliminata la fiamma (ovvero la causa di innesco) il materiale non produce né fiamma né continua a bruciare.
5. ***Fumo e gas prodotti durante la combustione***. Durante la combustione l'EPS produce fumo di colore scuro. Per verificare la pericolosità dei fumi prodotti si devono combinare due effetti in modo opportuno:
   - prodotti dalla decomposizione termica;
   - effetti biologici dei prodotti di decomposizione. Un metodo per tenere conto di questi due aspetti è attuato dalla norma DIN 53436. Un'analisi condotta in parallelo per alcuni materiali ha evidenziato i prodotti della decomposizione termica.
6. ***Residui della combustione e pulizia dopo incendio***. Le emissioni ed i residui dell'EPS dopo combustione non presentano particolare danno all'ambiente. Anche l'acqua utilizzata per lo spegnimento di un incendio di EPS non contiene prodotti tossici o nocivi. La pulizia dopo incendio può essere così condotta:
   - aspirazione di polveri con aiuto di spazzola;
   - pulizia delle superfici con detergenti alcalini.

TEMPERATURA D'ACCENSIONE E AUTOACCENSIONE		
Materiale	Accensione °C	Auto accensione °C
Polimetilmetacrilato	280-300	450-462
Polietilene	341-357	394
Polistirene	345-360	388-496
Policloruro di vinile	391	454
Poliammide	421	424
Poliestere vetro rinforzato	346-399	483-488
Laminato melamminico	475-500	623-645
Lana	200	
Cotone	230-266	254
Pino	228-264	260
Douglas	260	

Nota:
Accensione: Temperatura del materiale al momento di innesco della fiamma creata per contatto di fiamma libera.
Autoaccensione: Temperatura del materiale al momento di innesco della fiamma creata da radiazione del calore.



Valori di tossicità dei fumi di alcuni materiali (prova a 550°C)

Volume di aria richiesta per la completa combustione di Polistirene e Polistireni Espansi		
Densità polimero (Kg/m^3)	Massa di 1 m^3 (Kg)	Aria totale per la combustione di 1 m^3 di poimero
Solido	1050	1.1×10^4
100	100	$^{1.1} \times 10^3$
50	50	5.5×10^2
25	25	$^{2.7} \times 10^2$
5	5	55
0.09	0.09	1

Tabella 1

Come confrontare i materiali durante la combustione

Il confronto razionale ed omogeneo degli innumerevoli materiali che si riscontrano nel settore delle costruzioni è realmente difficile. Materiali con provenienza totalmente diversificata come mattoni, tessili naturali, materiali di sintesi ed ancora più complessa la materia diviene se si introduce la massa dei materiali come ad esempio compatti, espansi a pluri camera. Per analizzare quindi in modo omogeneo tutte queste diversità si è pensato di proporre l'utilizzo di un coefficiente che tenesse conto delle caratteristiche principali del materiale. Un confronto ragionevole può derivare solo se si confrontano i materiali con più di una caratteristica. Ad esempio i materiali isolanti di natura sintetica come l'EPS presentano al suo interno celle con una grande quantità di aria, peso limitato e volumi notevoli. Esattamente l'opposto avviene per i materiali quali il cotto ed il calcestruzzo. Per ciò che riguarda l'EPS la presunta elevata infiammabilità deriva dagli elevati volumi e dalla elevata quantità di aria in essi contenuti. D'altra parte è noto che l'aria necessaria per la corretta combustione è funzione che cresce con la massa del materiale che partecipa all'incendio. La quantità di aria necessaria per una completa combustione di EPS in funzione della densità è espressa in Tabella 1.

Una seconda considerazione che deve essere apportata è relativa al fatto che i materiali cellulari come l'EPS sono per natura dei buoni isolanti termici. Per temperature "normali" (non durante un incendio) il parametro che viene utilizzato per definire il livello di isolamento termico è la conducibilità "λ" oppure la trasmittanza "μ". Nella situazione di alte temperature, come in un incendio, le caratteristiche di isolamento termico e di stoccaggio di calore all'interno del mate-

SOSTANZE PRODOTTE DURANTE LA DECOMPOSIZIONE TERMICA DELL'EPS E DI ALCUNI MATERIALI NATURALI					
		Concentrazione (ppm) dei gas emessi alla temperatura di:			
Materiale	**Principali gas sviluppati in un incendio**	**300°C**	**400°C**	**500°C**	**600°c**
EPS NORMALE	Monossido di carbonio	50*	200*	400*	1000*
	Stirene monomero	200	300	500	50
	Altri aromatici	tracce	10	30	10
	Bromuro d'idrogeno	0	0	0	0
EPS RF	Monossido di carbonio	10*	50*	500*	1000*
	Stirene monomero	50	100	500	50
	Altri aromatici	tracce	20	20	10
	Bromuro d'idrogeno	10	15	13	11
PINO	Monossido di carbonio	400*	6000**	12000**	15000**
	Aromatici	-	-	-	300
PANNELLO ISOLANTE IN FIBRA DI LEGNO	Monossido di carbonio	14000	24000**	59000***	69000*
	Aromatici	tracce	300	300	1000
SUGHERO ESPANSO	Monossido di carbonio	1000*	3000**	15000**	29000**
	Aromatici	tracce	200	1000	1000

Nota:
Condizioni di prova specificate in DIN 53436; flusso d'aria 100 1/h. Dimensione del provino: 300x15x20 (mm), le condizioni di prova sono riferite all'uso finale del materiale.
* Combustione senza fiamma/incandescente. ** Infiammato. - Non trovato.

riale influenzano il livello di penetrazione del calore all'interno del materiale stesso. Con queste premesse è ragionevole introdurre il concetto di "tempo caratteristico" Ts dato da:
$Ts = \lambda\ pc$
Dove: λ = conducibilità; p = densità; c = calore specifico.
Calcolando Ts per differenti materiali si ottiene:

PROPRIETÀ FISICHE DI ALCUNI MATERIALI				
	p ($Kg\ m^{-3}$)	C ($J\ kg^{-1}\ K^{-1}$)	λ ($Wm^{-1}\ K^{-1}$)	λ pC $(Wm^{-2}\ K^{-1})^2\ s$
Schiuma di poliuretano	22-30	1.6×10^3	0.041-0.14	$1.9\text{-}6.2 \times 10^3$
PVC	1300-1400	840-1 170	0.12-0.17	$131\text{-}275 \times 10^3$
Polistirene espanso	20	1520	0.034	1.0×10^3
Pannello in truciolato	800	1250	0.15	150×10^3
Pannello in gesso	950	840	0.16	130×10^3
Fibre isolanti in pannello	240	1250	0.053	15×10^3
Mattoni	2600	800	0.8	1700×10^3
Granito	2640	920	2.93	7116×10^3
Vetro	2510	840	1.05	2213×10^3
Aria	1.3	1000	0.024	0.03×10^3

Il valore di Ts deve essere più piccolo possibile per evidenziare un materiale di ottimo comportamento globale. Ad esempio il valore Ts per l'EPS è di 1700 volte più piccolo rispetto al mattone. Una conseguenza evidente di Ts è il valore della temperatura superficiale del materiale che sarà tanto più elevata tanto più elevato sarà il prodotto λ pc.

Arch. Orio De Paoli
Politecnico di Milano

Presente e futuro: le tecnologie innovative

La posizione culturale e operativa in merito alle possibilità di realizzare edifici a basso consumo energetico attraverso sistemi innovativi dell'involucro edilizio non è una semplice ipotesi ma è realtà. Il riferimento all'uso dei materiali polimerici è determinato dalla scelta di privilegiare un approccio che vede, come obiettivo primario, il miglioramento delle prestazioni che gli edifici forniscono attraverso l'allargamento dell'impiego delle tecnologie al più ampio catalogo di possibilità e di esperienza possibile. Tale obiettivo può essere perseguito attraverso la diffusione della conoscenza di sistemi e materiali innovativi e dei conseguenti metodi di applicazione. L'atteggiamento proposto per affrontare le problematiche ecoambientali esprime una posizione che allarga all'uso di tutte le tecnologie a disposizione la possibilità di scelta per ottenere l'ottimizzazione energetico ambientale per gli edifici seguendo una linea "laica" rispetto a posizioni più integraliste che abbinano il termine bioedilizia solo con elementi di stretta origine naturale. Questo atteggiamento, peraltro originato dal desiderio di operare con la maggiore efficacia possibile, cerca di superare metodi di sviluppo dell'architettura riferiti alla sola componente tecnica che "… *permetteva di operare per soluzioni, accettando l'ipotesi che i problemi fossero sempre gli stessi in una loro formulazione standard costante e fossero analizzabili e risolvibili indipendentemente dal sistema che li collegava…*". La lettura proposta considera imprescindibile per chi opera nel campo dell'architettura il confronto con l'ambiente e con la complessità derivante dal rapporto con un tutto che viene coinvolto, nella sua globalità, per qualunque azione si compia. Ogni decisione va integrata, per l'impiego di un determinato materiale o una particolare tecnologia in una scelta sistemica. "*Accanto alla componente tecnica si manifesta (…) un'altra componente del modello della complessità: la componente strategica. Questa apre la necessità di elaborare un sistema di valori sulla base del quale sia possibile definire gli obiettivi che vogliamo raggiungere con il mutamento, i criteri da seguire nell'impiego delle risorse disponibili, e quindi i riferimenti per la scelta fra le varie soluzioni possibili. L'innovazione non è cioè solo genericamente metodologica: viene introdotta una riflessione sugli obiettivi, sui criteri, sui riferimenti*".

La scelta all'interno del progetto d'architettura impone quindi una sempre maggiore conoscenza delle caratteristiche delle tecnologie, dei metodi impiegati in settori diversi da quello edilizio, delle caratteristiche dei materiali attraverso cui si esprime la spinta all'innovazione. In particolare vedremo alcune esemplificazioni di come la progettazione di una delle parti fondamentali delle costruzioni, l'involucro, debba e possa essere approfondita. La parte esterna è l'elemento fondamentale per il funzionamento dell'edificio e determina un'ampia serie di funzioni. Deve garantire contemporaneamente la coesistenza di molteplici prestazioni che vi si concentrano senza porre nessuna di esse in conflitto. L'involucro edilizio viene inoltre caricato degli aspetti comunicativi che a partire dalla possibilità della visione arrivano alla manifestazione degli elementi stilistici e alla determinazione dell'immagine dell'architettura. I metodi progettuali utilizzati per la realizzazione dell'involucro devono essere quindi analizzati e articolati in modo da consentire una chiara gestione delle priorità. Prendendo come riferimento le funzioni fondamentali per gli edifici nel loro complesso

possiamo verificare come la maggior parte di esse siano strettamente connesse all'involucro. Eduard Allen propone una lettura articolata in cui vengono poste al centro dell'interesse, oltre alle specifiche funzioni, anche le relazioni che intercorrono fra i vari elementi. L'edificio visto come macchina tecnologica che deve funzionare complessivamente. La maggior parte degli elementi che concorrono a determinare il funzionamento dell'edificio fanno riferimento all'involucro e alla sua efficacia prestazionale. L'elenco seguente è una base da cui partire ampliando e integrando con ulteriori possibili funzioni derivanti dalle richieste e dalle innovazioni tecnologiche.
Controllo dell'irraggiamento termico
Controllo della temperatura dell'aria
Controllo delle qualità termiche delle superfici
Controllo dell'umidità
Controllo del flusso dell'aria
Visibilità e intimità visiva
Ascolto e intimità acustica
Controllo dell'ingresso delle creature viventi
Fornitura di energia
Fornitura di canali di comunicazione
Fornitura di superfici utili
Fornitura di sostegno strutturale
Allontanamento dell'acqua
Capacità di assorbire movimento
Controllo del fuoco
Costruzione
Manutenzione
Fornitura di aria pulita
Fornitura di acqua pulita
Rimozione e ciclo dei rifiuti.
Per una possibile classificazione generale dei compiti svolti dall'involucro possiamo indicare questo primo gruppo specificamente legato alle caratteristiche funzionali e riconducibile alla natura dell'involucro visto come elemento di separazione tra l'esterno e l'interno, (interrotto da aperture, oppure completamente impenetrabile) determinante le prestazioni e sottoposto a tutti i vincoli che questo comporta sul piano fisico.
Possiamo indicare un secondo gruppo di mansioni affidate all'involucro di tipo espressivo-comunicativo, riconducibile al fatto che l'esterno, e la facciata in particolare, propone e rappresenta l'immagine dell'organismo architettonico.
"I due ordini di requisiti hanno sempre interagito nella storia dell'architettura, anche se con un certo alterno prevalere degli uni sugli altri, in un rapporto fortemente condizionato dagli stretti vincoli imposti dalle necessità strutturali: la facciata è stata a lungo relegata al ruolo di rivestimento o di riempimento della struttura portante, recuperando la propria dignità solo come supporto dell'apparato decorativo. Il punto di svolta coincide con il diffondersi delle strutture a scheletro o a gabbia in cemento armato e soprattutto con la possibilità che queste hanno di arretrarsi rispetto all'involucro esterno, liberandolo da ogni condizionamento."
L'involucro contemporaneo può quindi essere considerato, per le possibilità che gli consentono le tecnologie attuali, l'elemento principale nella determinazione delle prestazioni dell'edificio. Il controllo dell'irraggiamento termico e quindi l'acquisizione dell'energia, il controllo della temperatura dell'aria, delle qualità termiche delle superfici, dell'umidità, del flusso dell'aria, della visibilità, dell'acustica, dell'ingresso delle creature viventi, dell'ingresso dell'acqua, dell'aria, parte delle funzioni statiche si svolgono direttamente sulla superficie dell'involucro o vengono determinate dalla tipologia del sistema di involucro. Inoltre la necessità di proporre architetture che rispondano adeguatamente alle problemati-

che del rapporto con l'ambiente ha nella progettazione tecnologica dell'involucro uno strumento fondamentale che abbisogna di tecniche di redazione sempre più raffinate. Propongo quindi una serie di esemplificazioni che esprimono alcuni esiti delle possibilità che l'applicazione delle tecnologie innovative consente. Tutti i sistemi indicati presuppongono, per ottenere lo sfruttamento delle possibilità dell'involucro edilizio per produrre energia, l'impiego di materiali isolanti di sicura efficacia per non disperdere l'energia prodotta.

SISTEMI	CARATTERISTICHE
A GUADAGNO DIRETTO	Lo spazio dell'edificio è nel contempo: collettore solare, accumulatore e distributore dell'energia captata
FINESTRE Aperture nelle superfici verticali dell'involucro	Le finestre consentono, oltre a fornire illuminazione e aerazione ai locali, di sfruttare l'effetto calorico della radiazione solare che penetra attraverso la superficie trasparente e non viene ritrasmessa all'esterno
LUCERNARI Aperture nella falda del tetto, con la stessa inclinazione	Caratteristiche analoghe al precedente
LUCI Apertura verticale sopra il piano del tetto	Caratteristiche analoghe al precedente
SERRE ADDOSSATE Strutture trasparenti, addossate o facenti parte di un edificio, rivolte a sud	Le serre addossate consentono, oltre ad accumulare energia per il proprio riscaldamento, di fornire energia per il riscaldamento dell'edificio di cui fanno parte

SISTEMI	CARATTERISTICHE
A GUADAGNO INDIRETTO	La radiazione non entra nello spazio interno dell'edificio ma colpisce una massa in grado di accumulare energia termica che viene trasferita successivamente all'edificio
SERRE Strutture trasparenti chiuse	Accumulano l'energia calorica della radiazione solare che penetra attraverso la superficie trasparente e non viene ritrasmessa all'esterno
SISTEMI TROMBE- MICHELLE Sistemi di accumulo ad acqua o materiali solidi	Sistemi basati sull'accumulo ottenibile dalla muratura posta dietro una superficie trasparente; l'energia calorica accumulata viene restituita per convezione e irraggiamento
SISTEMI A COLLETTORE SOLARE (Pannello solare)	Sistemi costituiti da elementi di captazione posti usualmente in copertura costituiti da una parte trasparente che protegge una serie di condotti nei quali scorre un fluido termoconvettore; il fluido che viene riscaldato viene fatto circolare agli elementi distributori interni all'edificio.

SISTEMI	CARATTERISTICHE
A GUADAGNO ISOLATO	La radiazione colpisce una massa d'accumulo termico fisicamente separata dallo spazio abitato dell'edificio
SISTEMI BARRA - COSTANTINI	Sistemi che sfruttano l'energia calorica immagazzinata da una lastra metallica posta all'interno di una superficie trasparente e divisa da questa da un'intercapedine d'aria; la lastra metallica è a sua volta separata dall'interno dell'edificio da un'altra intercapedine d'aria che trasferisce attraverso i moti convettivi l'energia calorica agli ambienti interni
ROOF POND (Tetto ad acqua)	In copertura vengono realizzate intercapedini chiuse, riempite d'acqua, sopra vengono posti pannelli mobili; i pannelli vengono aperti quando è necessario riscaldare le masse d'acqua e chiusi quando si vuole trasferire, per irraggiamento l'energia calorica all'edificio

SISTEMI	CARATTERISTICHE
CONTROLLO DEL SOVRACCARICO TERMICO	Metodo di controllo dell'eccessivo accumulo di energia termica
SCHERMI (Fissi o mobili a getto verticale od orizzontale)	Elementi come tettoie, brise-soleil, persiane, tende esterne, tapparelle, lovres che impediscono alla radiazione luminosa di penetrare all'interno dell'edificio
RIFLETTORI FISSI O MOBILI	Superfici fisse e mobili che riflettono la radiazione luminosa nella direzione necessaria al suo sfruttamento
PARETE VENTILATA	Sistemi che prevedono il passaggio dell'aria, in una intercapedine tra la parete perimetrale dell'edificio e rivestimento esterno
CAMINI VENTILATI	Sistemi che attraverso lo sfruttamento dei moti convettivi dell'aria (con o senza impiego di meccanismi di aspirazione) consentono l'allontanamento dell'aria viziata dagli ambienti
TORRI A VENTO	Sistemi analoghi ai precedenti che impiegano per la movimentazione dell'aria la spinta del vento
SISTEMI A PIASTRA RADIANTE	Sistemi che sfruttano la capacità di assorbimento e reirraggiamento del metallo per alleggerire il carico termico estivo

SISTEMI	CARATTERISTICHE
METODI PER LO SFRUTTAMENTO E L'ACCUMULO DI ENERGIA	Sistemi che consentono di impiegare e immagazzinare l'energia termica fornita dalla radiazione solare
MATERIALI ISOLANTI TRASPARENTI **Isolamento e trasmissione luminosa**	Materiali che riuniscono la capacità di isolare termicamente a quella di trasmettere la luce. Possono essere combinati al vetro in sistemi per l'assorbimento energetico oppure impiegati come pareti traslucide che portano luce all'interno dell'edificio garantendo un efficace isolamento. Possono essere realizzati con vari materiali quasi sempre a base polimerica
PELLICOLE OLOGRAFICHE **Riorientamento della radiazione luminosa**	Pellicole poste tra due vetri trasparenti che consentono di modificare la direzione della radiazione luminosa orientandola nella direzione voluta. Le pellicole funzionano per determinati angoli di incidenza della radiazione, risultando trasparenti ad altre angolazioni con assorbimento inferiore al 10%. Possono essere impiegati per convogliare la luce verso dispositivi di sfruttamento energetico e per migliorare la qualità dell'illuminazione interna.
PRISMI RIFLETTENTI **Riorientamento della radiazione luminosa**	Pannelli trasparenti, a sezione prismatica, realizzati in materiali polimerici che filtrano la radiazione luminosa variandone l'inclinazione secondo l'inclinazione degli spigoli del prisma. La radiazione prodotta può essere concentrata o diffusa

SISTEMI	CARATTERISTICHE
METODI PER LO SFRUTTAMENTO E L'ACCUMULO DI ENERGIA	Sistemi che consentono di impiegare e immagazzinare l'energia termica fornita dalla radiazione solare
CAMINI DI LUCE **Trasmissione luminosa**	Sistemi che, attraverso la riflessione della radiazione luminosa, convogliano la luce all'interno dell'edificio fino a zone nelle quali sarebbe impossibile ottenere illuminazione naturale
EFFETTO FOTOVOLTAICO **Produzione di energia elettrica**	I dispositivi che utilizzano l'effetto fotovoltaico per produrre energia sfruttano la capacità di alcuni materiali di convertire la radiazione solare in energia elettrica. Gli elementi base del sistema sono le cosiddette celle fotovoltaiche. Le celle sono integrate in moduli, montati su supporti di varia forma e natura e impiegabili nell'involucro edilizio in tutte le situazioni in cui coperture o facciate vengono investite dalla radiazione solare. L'elemento di più largo impiego è il silicio. Il rendimento dei sistemi è attualmente limitato ma l'esperienza derivante dall'impiego di materiali innovativi ne determina il progressivo aumento prestazionale.

Arch. Alessandro Marata
Università di Ferrara

Materiali e tecnologie bioclimatiche

Per quanto riguarda la disciplina dell'architettura, si può osservare che finalmente, negli ultimi decenni, e con sempre maggior evidenza, si sta diffondendo una nuova e crescente sensibilità. C'è chi la definisce, correttamente, una nuova alleanza operazionale tra natura e tecnologia. Le biotecnologie, o tecnologie ecologicamente sostenibili – le tecnologie, per intendersi, che lavorano con l'ambiente e non contro l'ambiente . cominciano ad essere considerate un valore culturale, un obiettivo non più eludibile. Per meglio comprendere questo tipo di approccio progettuale è opportuno considerare l'architettura secondo una visione olistica: un organismo, cioè, il cui insieme è un tutto superiore alla somma delle sue parti e che è in grado di riconoscere, metabolizzare, entrare in empatia con il suo ambiente o, più precisamente, con le risorse del suo ambiente. Un organismo, in sintesi, che ci aiuta ad essere consapevoli e a riflettere sui "limiti ambientali"; ad esempio la diminuzione delle risorse, il problema dello smaltimento dei rifiuti, il progressivo e veloce aumento delle fonti di inquinamento. Un progetto di architettura è quindi consapevole di questi limiti ambientali se si fonda sulla conoscenza delle condizioni locali, delle risorse esistenti, se utilizza comunque componenti e tecniche eco-compatibili, bio – sostenibili.
Il progetto consapevole deve pensare alla "quantità minima di energia" come ad un traguardo da raggiungere con priorità: è molto importante, però, non cadere nell'equivoco che sia sufficiente ideare un edificio che "consuma poco" in termini di combustibile. Si tratta invece di ottenere un bilancio energetico globale sostenibile, cioè corretto, coerente, efficiente. Questo bilancio dovrà tenere conto, ad esempio del costo energetico dei materiali (estrazione, lavorazione), del costo in termini di inquinamento dei materiali e delle tecnologie (produzione, trasporto, rilascio di sostanze nocive nell'aria), dei costi di smantellamento, demolizione, modifiche e adeguamenti, dei costi di esercizio per il comfort ambientale e la manutenzione. Tra i materiali possiamo individuare quelli più compatibili con i nostri propositi. Tra quelli naturali il legno è il classico esempio di materiale rinnovabile, in quanto accumula energia e richiede poca energia di produzione. È anche semplice da rimuovere e da sostituire. Per quanto riguarda il problema della scelta dei materiali, è importante però, per il progettista e per il committente, non cadere nell'equivoco che tutti i materiali "naturali" sono "giusti" e, al contrario, tutti i materiali "non naturali" sono da respingere con disdegno. Emblematico il caso del sughero, propagandato e pubblicizzato come materiale naturale e compatibile da utilizzare per l'isolamento termico degli edifici; in realtà è evidente come quest'uso sia estremamente improprio per un materiale la cui disponibilità in natura è estremamente limitata. Per non parlare del danno che si crea nel patrimonio arboreo e dei costi ambientali di trasporto in termine di inquinamento. Emblematico in senso inverso è invece il caso del polistirene espanso, materiale di sintesi, e per questo erroneamente avversato, che per le sue caratteristiche di produzione, traspirazione e stabilità nel tempo può essere considerato un ottimo materiale dal punto di vista della biocompatibilità ambientale. Dal punto di vista puramente architettonico esiste poi il pericolo che strutture alquanto discutibili vengano erette in nome del "solare", del risparmio energetico, ma che di fatto non soddisfino né i requisiti di una corretta progettazione, né la verifica della bio-sostenibilità. Nel panorama architettonico mondiale, nel quale purtroppo l'Italia si ritaglia un ruolo estremamente marginale, esiste però oggigiorno una grande quantità di interessanti ed efficaci edifici concepiti nel rispetto del concetto di sviluppo sostenibile. Il progettista attento ha quindi l'opportunità di utilizzare una serie di esperienze che non hanno più carattere sperimentale. L'architettura bioclimatica, ormai, è una

disciplina consolidata che descrive un preciso modo di costruire, di modificare l'ambiente, che è strettamente connesso al sito, al clima, ai materiali da costruzione locali e al sole. Che implica un particolare rapporto con i processi naturali e che per questo rapporto offre la possibilità di un inesauribile rifornimento di energia vitale. Ovviamente questo atteggiamento non è del tutto nuovo dato che gran parte dell'architettura spontanea ha sempre avuto uno stretto rapporto con le variazioni climatiche e solari giornaliere e stagionali. Hassan Fathy, decenni orsono, scriveva in "Energia naturale ed architettura vernacolare" che le tecnologie attuali dell'aria condizionata hanno completamente rimosso "culture materiali locali sofisticate ed ambientalmente consapevoli". Portava come esempio le tecniche costruttive "bioclimatiche" del passato: i grandi sistemi di raffrescamento utilizzati nei climi aridi, le torri a vento, i condotti ed i locali ipogei. Ed ancora affermava che siamo prigionieri, negli edifici, di complicati impianti meccanici; guasti, anche semplici, possono a volte rendere inabitabili i nostri spazi abitativi o di lavoro. Possiamo diventare fisicamente prigionieri di un ascensore, ma anche dover fuggire, da locali sigillati con grandi vetrate, nel momento in cui smette di funzionare l'impianto di condizionamento. Le tecnologie bioclimatiche, i sistemi solari passivi, non possono certo risolvere tutti i problemi relativi al comfort negli spazi architettonici; possono però aiutarci in grande misura a soddisfare molti dei requisiti di controllo ambientale, e lo fanno in maniera molto semplice. Con sistemi elementari nell'uso, richiedendo poca o nessuna manutenzione, non inquinando e non producendo sottoprodotti materiali o rifiuti, eliminando, poiché l'energia solare è dappertutto, le costose (in termini anche energetici) reti di trasporto e distribuzione. Il sistema solare passivo è l'edificio e viceversa: l'edificio, nel suo insieme, come organismo, è il sistema solare passivo. Nel caso particolare di interventi sul patrimonio edilizio esistente si possono utilizzare solamente alcuni elementi dell'insieme complesso ed articolato delle biotecnologie disponibili. È evidente quindi come, nel caso del recupero, dovendosi concentrare su pochi e mirati interventi, ed essendo in presenza di vincoli edilizi ed ambientali, sia necessario essere estremamente precisi nel calcolo dei guadagni termici e sullo spostamento delle masse d'aria all'interno degli edifici. Con l'utilizzo delle biotecnologie si inseriscono nuove variabili e quindi nuove difficoltà progettuali, ma anche nuove potenzialità; compaiono nuovi elementi e nuove possibilità. Si può individuare un nuovo parametro di valutazione del progetto architettonico, un concetto che in poche parole sintetizza quanto osservato sin ora: la legittimità in termini ambientali, che vale sia per edifici di nuova progettazione che per interventi sul patrimonio edilizio esistente. Dobbiamo abituarci a porci, come progettisti, committenti, amministratori, questa domanda: questo progetto ha legittimità in termini ambientali? E quindi per sillogismo possiamo allora affermare che se un progetto deve avere legittimità ambientale allora il progettista ha responsabilità ambientale. Il ruolo dell'architettura quale professione responsabile in termini ambientali, dovrà essere allora anche quello di salvaguardare le risorse del pianeta, di privilegiare l'uso di forme rinnovabili di energia, di armonizzarsi con l'ambiente sia naturale che antropico che lo circonda, di progettare un edificio consapevole dell'entropia che esso produce, in armonia con una alleanza tra natura e architettura.

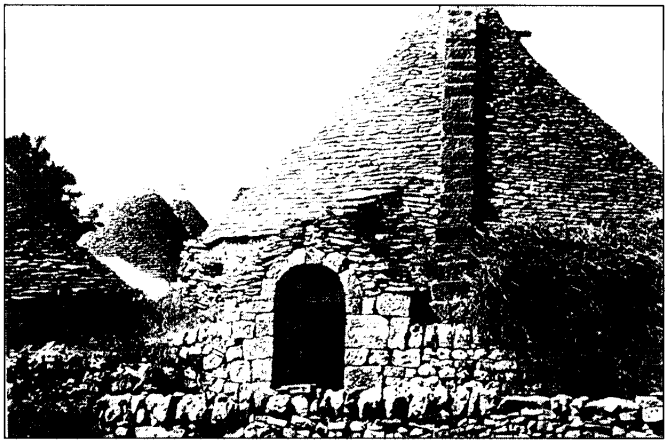
Archetipi e architetture

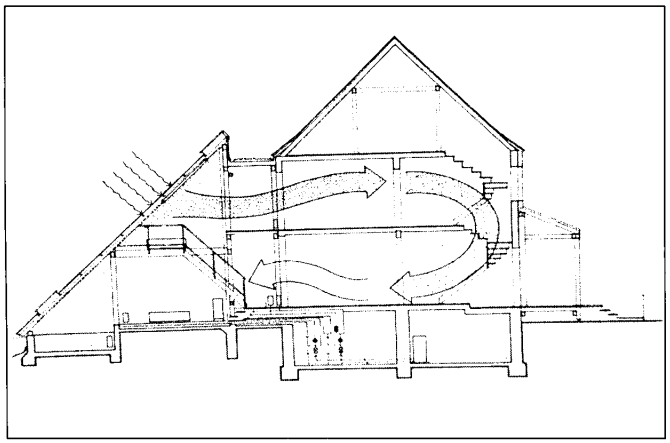
L'adattamento dell'uomo al suo ambiente ha sempre portato, nell'evoluzione delle tecniche edilizie, a privilegiare sistemi e materiali naturalmente compatibili con il proprio ambiente e le sue caratteristiche. Sistemi e materiali che ottimizzassero il rapporto tra le risorse disponibili in un dato territorio ed i requisiti e le prestazioni che una data architettura avrebbe dovuto fornire. Il progresso tecnologico, la facilità di trasporto dei materiali, la non consapevolezza dei costi ambientali, la perdita di professionalità specifiche nel campo delle maestranze edilizie, la globalizzazione di idee, immagini, riferimenti culturali, hanno portato ad un depauperamento, come già accennato in precedenza, di sapere tecnico e di ragionevolezza costruttiva. Molte delle tecniche che le costruzioni bioclimatiche utilizzano sono in realtà riproposizioni o reinterpretazioni di

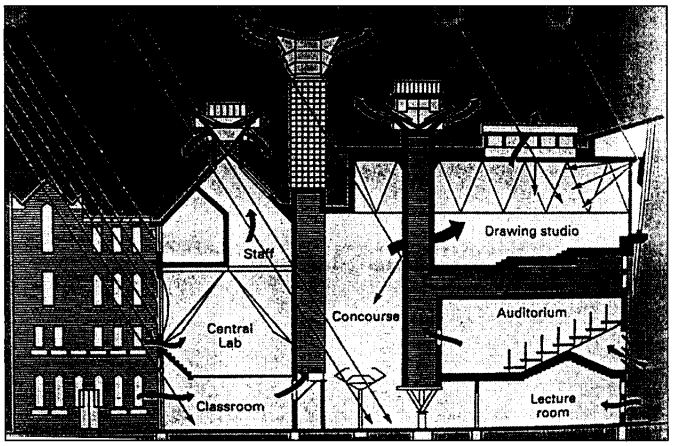
tecnologie antiche e spesso spontanee: le masse ad inerzia termica, la ventilazione trasversale, gli elementi per ripararsi dalla pioggia, sole, vento; l'utilizzo dell'energia ricavabili dall'acqua o dal vento; l'uso dei diversi materiali che ogni tipo di ambiente può fornire. È evidente quindi come siano molteplici gli elementi tecnologici, i materiali, anche gli archetipi formali, che il progettista ha a sua disposizione per procedere nella ricerca e nella creazione di una architettura che "lavora" con la natura e con l'ambiente. Santiago Calatrava, nelle sue splendide architetture, ricerca, nel rapporto tra elemento strutturale e forma simbolica, una via molto personale e riconducibile al connubio natura-architettura. Il Padiglione del Kuwait realizzato dall'Expo di Siviglia del 1992, è emblematico in questo senso: un "brise soleil", magicamente mobile, costituito da ossature in legno che schiudendosi, aprono lo spazio verso il cielo stellato della notte, dopo averlo protetto durante tutta la giornata dalla calura estiva. Ed aver protetto, con un porticato che si dissolve aprendosi, il locale chiuso, al livello inferiore, nel quale avviene l'attività espositiva. Una architettura magica, come magiche sono le coperture "a duna" di un bazar. Gli archetipi che possiamo individuare sono molteplici e affascinanti. Nel centro abitato di Pampaneira, in Sierra Nevada, tutte le costruzioni sono protette alla sommità da un manto erboso, con copertura piana o con falde leggermente inclinate; una architettura spontanea, senza architetti, che rappresenta una applicazione totale e sorprendente di ciò che Le Corbusier, molto tempo dopo, avrebbe definito come uno dei punti fondamentali delle sue teorie: il tetto – giardino. Il trullo di Alberobello, per le sue caratteristiche, può essere considerato come una perfetta unione di tecnologia e risorse locali. Un solo materiale, lavorato in diverse forme e dimensioni, è stato sufficiente per dare vita ad una bellissima architettura. La tecnica costruttiva, tutta a secco, lo rende virtualmente smontabile; la costruzione non necessita di centinature o altre opere provvisionali in quanto procede in modo autoportante; gli spessori dei muri conferiscono grande inerzia termica, con benefici sia nel periodo estivo che in quello invernale. Una costruzione certo non da riproporre nella sua integrità, ma da comprendere e studiare per la perfetta sintesi di elementi tecnici e formali che rappresenta. Avendo memoria delle abitazioni ipogee del deserto cinese dove per difendersi dalle condizioni climatiche estreme l'uomo si è spinto nelle viscere della terra, scavando case molto articolate che si affacciano su grandi corti quadrate, profonde oltre dieci metri, possiamo guardare con interesse alla sede della stazione radio, realizzata da Gustav Peichl in Austria, ad Aflenz. In questo progetto l'inserimento nel contesto naturale (per usare un termine troppo usato, a bassissimo impatto ambientale), la semplicità dell'architettura e l'utilizzo di tecnologie appropriate costituiscono un insieme unico e omogeneo, di rara qualità. Le torri di aerazione della sede della facoltà di ingegneria di Lercester ci riportano alla mente i famosi camini a vento del Pakistan: il controllo della ventilazione naturale diventa, in questo caso un elemento che caratterizza fortemente l'immagine architettonica. Compiendo un passo indietro nel tempo di qualche decennio, è opportuno soffermarsi brevemente ai movimenti di controcultura americani degli anni settanta che, per primi, riportarono alla giusta attenzione il problema dell'energia e del riciclaggio dei materiali di scarto. Il Wobo Project di Habraken del 1973, la casa che Steve Baer realizzò per sé nel 1971 in Messico, il villaggio di Drop City costruito in Colorado nel 1976 sono solo alcuni degli esempi di sperimentazione che vennero proposti, anche con intento provocatorio, per suggerire modelli e tecnologie per dare risposte concrete agli eccessivi consumi di energia e materiali che, dovendo ancora verificarsi la crisi energetica, la società dei consumi provocava. Il centro sociale che Peter Huebner ha costruito in Germania nel 1993, con il suo "occhio solare" girevole, rappresenta una naturale evoluzione delle architetture sperimentali prima descritte. Come pure gli edifici di Thomas Herzog. E ancora i diaframmi che Jean Nouvel ha inventato per l'Istituto del Mondo Arabo di Parigi rappresentano una sofisticata evoluzione dei diaframmi in muratura tipici dell'architettura orientale. Ed è proprio lo studio della storia dell'architettura che ci insegna che non si devono porre limiti alla sperimentazione ed all'utilizzo di nuove tecnologie e di nuovi materiali. Dal tradizionale trullo in pietra, allo sperimentale Wobo project realizzato con bottiglie, dalla tipologia millenaria delle case in terra cruda all'edificio di carta in Giappone, dalle abitazioni di ghiaccio dell'Antartide a quelle di polistirene espanso.

Bibliografia essenziale

- *Solar Energy in Architecture and Urban Planning.* A cura di Thomas Herzog, Edizioni Prestel. Monaco, New York 1996.
- Sala Marco, Ceccherini Nelli Lucia, *Tecnologie Solari*, Alinea Editrice. Firenze 1993.
- Expo '92 Siviglia *Architettura e design.* Electa, Milano, 1992.
- Fathy Hassan, *Natural energy and vernacular architecture*, University of Chicago Press, USA, 1986
- Olgyay Victor. *Progettare con il clima,* Franco Muzzio editore. Padova, 1981
- Los Sergio, *L'architettura dell'evoluzione,* Edizioni Luigi Parma, Bologna, 1977
- Grosso Mario, *Il raffrescamento passivo degli edifici*, Maggioli Editore, Rimini, 1997
- Rudowsky Bernard, *Architetture senza architetti,* 1964.
- Rudowsky Bernard, *Le meraviglie dell'architettura spontanea*, 1979, Bari
- Papanek Victor, *The green imperative,* Thames and Hudson, 1995, Singapore.







Prof. Marco Masoero
Politecnico di Torino

Microclima e benessere

Introduzione

Un impianto di climatizzazione può essere valutato, dal punto di vista termodinamico, come una "macchina" che produce un effetto utile, creare condizioni ambientali confortevoli per gli occupanti, a spese di una determinata quantità di energia primaria. Poiché lo stesso effetto utile può essere ottenuto con tipologie di impianto diverse, si pone il problema di definire i criteri per il confronto delle prestazioni energetiche delle varie alternative di impianto. La teoria del comfort permette di identificare i valori delle proprietà ambientali (temperatura, umidità relativa e velocità dell'aria, temperatura media radiante) che determinano condizioni statisticamente soddisfacenti per gli occupanti (secondo le raccomandazioni contenute nella norma ISO 7730, tali condizioni implicano una percentuale di insoddisfatti non superiore al 10%). Assumendo quindi che tutte le tipologie di impianto esaminate siano in grado di mantenere le condizioni di comfort, l'analisi prestazionale si fonda sul confronto delle quantità di energia primaria consumate. Concentriamo l'attenzione, per maggiore chiarezza espositiva, sugli impianti di riscaldamento ad acqua calda. Il consumo di energia primaria è facilmente identificabile nel caso di riscaldamento autonomo a gas, in quanto la contabilizzazione dell'energia primaria (gas) è riferita alla singola utenza. Nel caso di impianti centralizzati, la contabilizzazione dell'energia termica erogata all'utenza è relativamente semplice se la distribuzione dell'acqua avviene con sistema a collettori complanari o monotubo, in cui tutti i terminali sono collegati ad un'unica coppia di tubazioni di andata e ritorno: in questo caso l'energia si calcola come:

$Q_u = \acute{U} G c_p (T_{in} - T_{out})\, dt$

Q_u = energia termica utile, erogata all'utenza (J)
G = portata in massa di acqua (Kg/s)
c_p = calore specifico dell'acqua (= 4186 J/Kg°C)
T_{in} = temperatura di andata del circuito utilizzatore (°C)
T_{out} = temperatura di ritorno del circuito utilizzatore (°C)

Il legame tra energia erogata all'utenza ed energia primaria consumata presuppone la conoscenza del rendimento globale dell'impianto, dato dal prodotto dei quattro rendimenti di:

- Generazione
- Distribuzione
- Regolazione
- Emissione

Questo stesso approccio si applica, con i dovuti adattamenti, al caso di sistemi di teleriscaldamento. Ovviamente la valutazione dei rendimenti è molto più complessa in quanto il rendimento di generazione deve tenere conto dell'eventuale presenza di sistemi cogenerativi, ed il rendimento di distribuzione deve considerare, oltre alla rete interna all'edificio, anche la rete di trasporto dell'acqua surriscaldata dalla centrale alle sottocentrali di scambio situate nei singoli edifici collegati al sistema. Considerazioni diverse si applicano invece in presenza di generatori di acqua calda non a combustione, ad esempio nel caso di impianti a pompa di calore azionata elettricamente. In tale caso, infatti, l'energia "primaria" utilizzata dall'impianto di riscaldamen-

to (il cui costo entra in gioco nel bilancio economico dell'impianto) è rappresentata dall'energia elettrica che l'utente finale acquista. In un'ottica di sistema energetico complessivo, invece, l'energia primaria deve essere valutata considerando i rendimenti di produzione e trasporto dell'energia elettrica, a partire dalla centrale. Scopo di questa relazione è illustrare alcune tipologie di impianto di climatizzazione che rappresentano significative innovazioni, rispetto alle soluzioni tradizionali, e che si contraddistinguono per le interessanti prestazioni energetiche. In particolare vengono considerati i sistemi di riscaldamento e raffrescamento radiante e, per quanto riguarda la produzione di fluidi termovettori, i generatori di calore a condensazione ed i sistemi di accumulo.

Cosa sono i sistemi radianti

Nella categoria dei *sistemi radianti* rientrano una numerosa varietà di soluzioni impiantistiche, sebbene, nell'accezione più comune, ci si è soliti riferire alle tipologie caratterizzate da ampie superfici di scambio termico a temperatura non molto diversa da quella dell'aria ambiente, che utilizzano un fluido termovettore a livello termico modesto. Il termine *radianti* che definisce tali sistemi si riferisce al fatto che il contributo della componente radiativa di scambio termico risulta significativa (anche maggiore del 60% dello scambio termico globale) rispetto ad impianti tradizionali. Al fine di mantenere in un locale le condizioni di temperatura e umidità relativa ai valori desiderati, in generale si deve prevedere l'utilizzo di un impianto che garantisca il controllo di tali parametri entro limiti prefissati. I sistemi radianti agiscono solo sui carichi sensibili (scambiando calore per irraggiamento con le superfici circostanti e per convezione con l'aria): con essi quindi è possibile solo il controllo della temperatura operativa. Viceversa non sono in grado di esercitare alcun controllo diretto sull'umidità relativa.
Nello loro diverse configurazioni, i sistemi radianti possono essere utilizzati sia per il riscaldamento invernale che per il raffrescamento estivo.

Differenze rispetto ad impianti tradizionali

Gli impianti tradizionali basano il proprio funzionamento su principi opposti rispetto ad un sistema radiante: l'elemento riscaldante/raffrescante è localizzato in un punto della stanza e si utilizzano fluidi termovettori che presentano differenze di temperatura rispetto all'aria decisamente più elevate (basti pensare agli 80°C di un radiatore, o ai 7°C di un ventilconvettore per il raffrescamento). Questi, inoltre, scambiano calore prevalentemente per convezione, mentre la quota radiativa è limitata (20-25%). Mentre l'obiettivo primario di un sistema tradizionale è quello di controllare la temperatura dell'aria (20°C in inverno, 26 °C in estate), i sistemi radianti ottimizzano il comfort degli occupanti agendo sulla temperatura operativa, influenzando direttamente il valore assunto dalla temperatura media radiante. Questa strategia ha importanti benefici sul benessere percepito in quanto vengono bilanciate perfettamente le quote radiative e convettive emesse dalle persone.

Livelli di temperatura superficiale e considerazioni di comfort

Numerosi studi sono stati condotti al fine di valutare la sensazione di comfort provata dagli individui in locali riscaldati e raffrescati con superfici radianti. Tali studi hanno permesso di stabilire le temperature limite al fine di garantire che la *percentuale prevista di insoddisfatti* sia minore di una soglia fissata.

- **Pavimento:** i limiti pratici di progettazione concordano nello stabilire accettabile una temperatura del pavimento compresa tra 18°C e 30°C, limiti ai quali corrisponde una *percentuale prevista di insoddisfazione* di circa il 10%.
- **Soffitto:** la massima temperatura accettabile è influenzata da numerosi fattori, tra i quali il più significativo è l'altezza del soffitto. Nell'edilizia residenziale, con una tipica altezza di 3 metri e temperatura dell'aria a 20°C, la massima temperatura del soffitto è pari a circa 55°C. La minima temperatura non è invece legata a problemi di benessere dagli occupanti il quale viene abbondantemente soddisfatto con le usuali temperature di esercizio. Il vincolo è legato ai problemi di condensa sulla superficie del pannello, che insorgono qualora la sua temperatura scenda al di sotto di quella di rugiada dell'aria ambiente. Indicativamente, con una temperatura dell'aria di 26°C la temperatura di rugiada varia da 12°C per U.R. del 40% a 18°C per U.R. del 60%.

Classificazione dei sistemi radianti

Si è detto come tra i sistemi radianti vengano ascritte numerose soluzioni e tipologie tra loro differenti. Tra le classificazioni proposte, si riporta quella indicata da ASHRAE.
- **Pannelli radianti:** sono caratterizzati da basse temperature di esercizio e possono essere impiegati anche per il raffrescamento. Trovano applicazione prevalentemente nell'edilizia residenziale, in scuole, ospedali, palestre etc.
- **Elementi radianti:** sono caratterizzati *da medio e alte temperature di esercizio* e sono impiegati esclusivamente per il riscaldamento. Trovano applicazione prevalentemente nel riscaldamento di grandi ambienti, hangars, serre, aziende agricole, ecc.

Per i *pannelli radianti* è utile proporre un'ulteriore suddivisione:
- *Pannelli ad elevata capacità termica,* in cui le serpentine (tubazioni) sono annegate nelle strutture del pavimento, del soffitto o delle pareti.
- *Pannelli a capacità termica trascurabile,* pannelli metallici prefabbricati, impiegati tipicamente nella soluzione a controsoffitto.

Il riscaldamento

Introduzione
Adottato già ai tempi dei romani (ipocausto), ritrova applicazione nei primi anni di questo secolo (Baker) per poi diffondersi a partire dagli anni '50 in seguito a studi mirati all'analisi del funzionamento di questi sistemi (Missenard, Shoemaker).
Le soluzioni impiegate possono essere a pavimento, a soffitto e, anche se meno comunemente, a parete. Il principio base è quello di disporre di ampie superfici di scambio a temperatura non troppo più alta dell'aria ambiente. Attualmente, soprattutto negli Stati Uniti, si stanno sviluppando applicazioni in cui la superficie estesa è riscaldata con sistemi elettrici al posto delle tradizionali serpentine percorse da fluido caldo.

Il pavimento radiante
In Italia questa soluzione impiantistica ha vissuto negli anni '50 – '60 un periodo di grande fortuna e diffusione, a cui è seguita una crisi ancor più rapida e profonda. Problemi legati all'utilizzo di adeguati materiali (tubi, coperture superficiali, ecc.), di adeguate temperature dell'acqua calda e superficiale, di valutazione degli scambi termici, hanno avuto come conseguenza una serie di errori commessi sia in fase di progettazione che di realizzazione che ben presto hanno determinato negli utenti un vero e proprio rifiuto nell'adottare questa soluzione. Oggi, i

pavimenti radianti stanno vivendo una fase di rinnovato interesse, grazie alle nuove normative (Legge 10/91) che, attraverso il contenimento dei consumi, impone minori richieste energetiche e quindi permette l'adozione di tali sistemi, essendo richieste rese compatibili con i vincoli legati alle basse temperature superficiali, nel rispetto dei limiti imposti per il benessere degli occupanti (ISO 7730, temperatura massima a pavimento pari a 29°C). Nel caso di pavimento caldo, il coefficiente globale di scambio termico vale **9-11 W/m²K** a cui corrispondono, con una differenza di temperatura tra ambiente e pavimento di 8-9°C, rese che vanno da **72 a 99 W/m²**, che per un locale di altezza pari a 3 metri corrispondono a 24-33 **W/m³** .
Passando alla posa in opera, la disposizione dei tubi attualmente più utilizzata è quella a serpentina, realizzata con tubo continuo. Il passo deve essere diminuito laddove siano presenti zone a più elevata dispersione termica (vetri, muri esterni, disuniformità strutturali). Le tubazioni possono essere in acciaio, rame o plastica: questi ultimi sono oggi quelle maggiormente impiegate per una serie di vantaggi (flessibilità, leggerezza, facilità di installazione, basse perdite di carico, resistenza alla corrosione e, soprattutto, basso costo) che le fanno preferire alle altre. La tipica soluzione realizzativa per un pavimento prevede che la serpentina sia incorporata nella caldana (di spessore variabile tra i 50 e 80 mm), sopra la quale è posto il rivestimento (piastrelle ceramiche, PVC, parquet, moquette). La tipologia di rivestimento adottato, oltre allo spessore della caldana, ha una notevole influenza sul livello termico a cui è richiesto il fluido termovettore: in fase di progetto bisogna prevedere che l'acqua calda sia inviata ad una temperatura tale da garantire la desiderata temperatura superficiale, per esempio 29°C. La regolazione di questi impianti è una delle problematiche più spinose da risolvere. In particolare, nel caso di pannelli incorporati nelle strutture, la capacità termica gioca un ruolo fondamentale nell'introdurre ritardi tra il momento in cui la regolazione viene effettuata ed il momento in cui questa ha effetto. Oggi, si stanno studiando sistemi di regolazione "intelligenti" che cercano di considerare tali ritardi. I sistemi di regolazione proposti per questi impianti possono agire o sul controllo della portata o sulla temperatura di mandata, tenendo conto del vincolo imposto al salto termico del fluido termovettore limitato a 4-6 °C per ragioni di uniformità di temperatura superficiale e del valore di temperatura a cui si vuole mantenere il pavimento, legato alla temperatura media dell'acqua che circola nelle serpentine. Inoltre è sempre previsto l'utilizzo di un termostato di sicurezza al fine di evitare che l'acqua di mandata superi i 55-60°C.

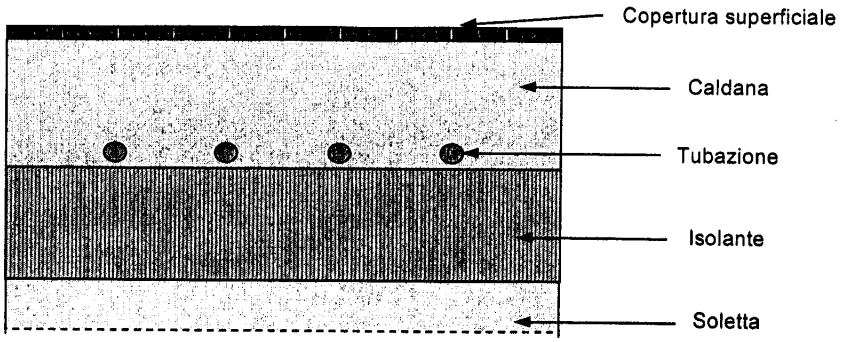


Fig. 1. Pavimento radiante con serpentina annegata nella caldana

Il soffitto radiante

Considerazioni di comfort (il problema cosiddetto del "hot head effect") limitano di fatto la temperatura superficiale del pannello e quindi la sua resa, comunque superiore rispetto al caso a pavimento per effetto del più elevato valore di temperatura superficiale tollerata. Questa, come detto, è fortemente dipendente dall'altezza del soffitto: per applicazioni residenziali il limite di 50°C è da considerarsi un buon riferimento. Rispetto al pavimento, il coefficiente di

scambio termico globale per soffitti caldi è naturalmente più basso e vale circa **6 W/m²K** a cui corrispondono, con una differenza di temperatura tra ambiente e pavimento di 10-20 °C, rese che vanno da **60 a 120 W/m²**, che per un locale di altezza pari a 3 metri corrispondono a **20-40 W/m³**.
Anche in questo caso, esiste la soluzione con serpentine incorporate nelle strutture, ma la tipologia oggi più diffusa è quella a controsoffitto con pannelli radianti metallici. La loro peculiare caratteristica è quella di avere una bassa inerzia termica. Questi consistono in un pannello metallico (tipicamente in alluminio), di dimensioni standard e modulare sul quale è posizionata, attraverso un opportuno sistema di fissaggio, la serpentina di materiale metallico (di solito rame). Sono fissati al soffitto tramite appositi ganci. A tali pannelli possono essere demandate anche funzioni di controllo acustico dell'ambiente.

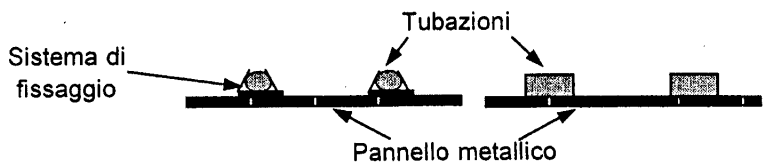


Fig. 2. Controsoffitto radiante con serpentina a sezione circolare e rettangolare

Il raffrescamento

Introduzione

Grande interesse è oggi rivolto al raffrescamento radiante. I sistemi precedentemente descritti possono essere, con opportuni accorgimenti, anche convertiti in impianti per il raffrescamento, inviando alle serpentine acqua refrigerata. In questo caso, la resa è vincolata alla minima temperatura superficiale che può essere raggiunta, limitata dal problema legato all'insorgere di condensa sulla superficie fredda qualora la temperatura superficiale raggiunga quella di rugiada dell'aria ambiente. Tale limitazione, la necessità di un attento controllo dell'umidità nei locali e di integrare l'azione raffrescante del pannello, qualora questa fosse insufficiente ad estrarre tutto il carico ambiente, rendono indispensabile l'adozione di un impianto misto acqua - aria, nel quale, quindi, alla portata di ventilazione non vengano solo attribuiti compiti di rinnovo dell'aria. Rispetto ad un tradizionale sistema a tutt'aria, la soluzione radiante presenta numerosi aspetti vantaggiosi: riduzione della portata d'aria alla sola quota di ventilazione (si evitano problemi legati a fastidiose correnti), a parità di temperatura operativa la temperatura dell'aria può essere mantenuta a valori più alti (circa 1°C, con conseguenti riduzioni delle dispersioni), utilizzo di un fluido termovettore a livello termico più elevato (con conseguente miglioramento del COP del gruppo frigorifero).
Sebbene i pannelli adottati per il raffrescamento siano costruttivamente identici a quelli descritti per il riscaldamento, il calcolo di progetto per il dimensionamento di tali sistemi diviene significativamente più complicato e necessita di un grado di accuratezza decisamente superiore. In particolare, i pannelli radianti sono in grado di asportare parte degli apporti radiativi che gravano sul locale prima che questi possano trasformarsi in carico sull'ambiente. Tali apporti vengono così direttamente asportati dall'acqua refrigerata. All'azione raffrescante della superficie fredda viene invece solo addossato il residuo carico ambiente. In fase di calcolo, si dovrà ottimizzare il sistema in modo che l'acqua refrigerata asporti tutto il carico attribuito al sistema radiante e allo stesso tempo mantenga una temperatura superficiale del pavimento tale da garantire la sottrazione del carico ambiente, prevedendo inoltre, nelle ore in cui sia necessario, il contributo integrativo dell'aria primaria.

Il pavimento radiante

Strutturalmente identici a quelli per il riscaldamento, in raffrescamento hanno rese inferiori poiché il coefficiente di scambio termico convettivo, con superficie fredda verso il basso, è minore, pari a circa **7 W/m²K**. La minima temperatura superficiale per ragioni fisiologiche è 19°C: tipicamente queste fase di progetto è fissata a 20°C. Con una differenza di temperatura tra ambiente e pavimento di 6°C, la *resa superficiale* di un pavimento radiante freddo è di **42 W/m²** (corrispondente a **14 W/m³** con h = 3m). Viceversa, la *resa del sistema radiante*, legata al carico asportato dall'acqua refrigerata, può essere decisamente superiore, anche dell'ordine di **100 W/m²** (**33 W/m³** con h= 3m) in presenza di considerevoli carichi radiativi solari ed endogeni interni (illuminazione artificiale, persone). Si ribadisce la notevole influenza sulle dinamiche del sistema legata alla significativa capacità termica del pavimento.

Il soffitto radiante

Sono largamente utilizzati nella versione a controsoffitto, soprattutto quando si preveda di effettuare la climatizzazione di un ambiente già esistente del quale non si vuole modificare il layout. Trovano allora largo impiego nella ristrutturazione di uffici, scuole, ospedali oltre che per le ragioni di flessibilità di installazione, anche e soprattutto per gli elevati livelli di comfort che si raggiungono nel locale. Nel caso di soffitto freddo, il coefficiente globale di scambio termico vale circa 11W/m²K a cui corrisponde, con una differenza di temperatura tra ambiente e pavimento di 6° C, una resa superficiale di 66 W/m² (corrispondente a 22 W/m³ con h=3 m). Come nel caso precedente, la resa del sistema radiante è dell'ordine di 100 W/m², sebbene, a parità di apporti termici che gravano sul locale, inferiore rispetto al pavimento, nel quale gli apporti radiattivi incidenti sul pannello (in special modo quelli solari) sono superiori e quindi una maggior frazione viene direttamente asportata. Di contro, sono caratterizzati da una capacità e da una resistenza termica molto basse, che consentono rispettivamente rapide risposte del sistema alla regolazione e l'utilizzo di acqua refrigerata ad un livello termico più alto.

In fase di progetto, al fine di escludere problemi di condensa, si è soliti fissare la temperatura minima a circa 1°C sopra alla temperatura di rugiada dell'aria ambiente.

	Resa [W/m2]			
	Riscaldamento		Raffrescamento (con D T = 6 °C)	
	Emissiva		Superficiale	Totale
Pavimento	D T = 9 °C	99	42	ordine dei 100, in funzione
Soffitto (h = 3m)	D T = 20 °C	120	66	ammontare degli apporti radiativi

Tabella 1 - Prospetto riassuntivo delle rese

Principi base per il dimensionamento estivo

Mentre per il riscaldamento invernale la resa remissiva è sufficiente a caratterizzare la potenzialità riscaldante del sistema radiante, per il dimensionamento estivo è necessario operare una distinzione tra la resa raffrescante superficiale q_s, legata alla differenza di temperatura tra superficie fredda e ambiente, e dal resa raffrescante totale q_t del sistema radiante, legata invece alla potenza termica complessivamente asportata dall'acqua refrigerata.

Ad ogni istante di tempo τ, le due rese sono legate dalle relazioni:

$q_t = q_s + q_q$ (2)

dove q_q rappresentala quota di potenza specifica estratta dal fluido termovettore, generata dagli apporti radiattivi direttamente asportati dal sistema radiante. Infatti, opportune frazioni degli apporti solari, per illuminazione artificiale e dovuti alle persone occupanti il locale che incidono sul pannello, vengono da questo istantaneamente estratte, prima quindi che tali apporti si tramutino in carico sull'ambiente.

Alla luce di queste considerazioni, sulla resa raffrescante superficiale, limitata dai vincoli sulla minima temperatura del pannello, deve gravare solo il carico ambiente, generato dai residui apporti radiattivi non direttamente asportati e dagli apporti convettivi. Viceversa, all'acqua refrigerata deve essere attribuito il carico nel suo complesso seconda la (1.).
Se la potenzialità raffrescante superficiale non è sufficiente ad asportare tutto il carico ambiente, è necessario che l'aria primaria di ventilazione provveda, altre a controllare l'umidità relativa, anche ad estrarre il residuo carico ambiente.
Il meccanismo di distribuzione dei carichi descritto è illustrato in figura (3).
Il q_d può essere espresso, per ogni tipo di apporto, in funzione della geometria del locale e del coefficiente di riflessione delle pareti, tra le quali il ruolo più importante è giocato dal pavimento. Per effetto del miglior fattore di vista tra sorgenti radioattive (in special modo di origine solare) e pavimento, nella configurazione a pavimento freddo si registrano i valori di q_d maggiori. Di contro, però, come precedentemente visto, al resa superficiale è inferiore rispetto al caso a controsoffitto.
Se il dimensionamento del sistema radiante non venisse affrontato seguendo la metodologia descritta, si attribuirebbe tutto il carico, generato da tutti gli apporti che gravano sul locale, all'azione raffrescante superficiale, che viceversa ne deve asportare solo una parte. Essendo però la resa superficiale fissata, una volta stabilita la minima temperatura superficiale, si sarebbe portati a sovradimensionare l'impianto ad aria primaria, in quanto erroneamente si sarebbe previsto un carico ambiente superiore a quello che realmente si registra, e a sottodimensionare quello ad acqua, al quale viceversa sarebbe addossato un carico inferiore.

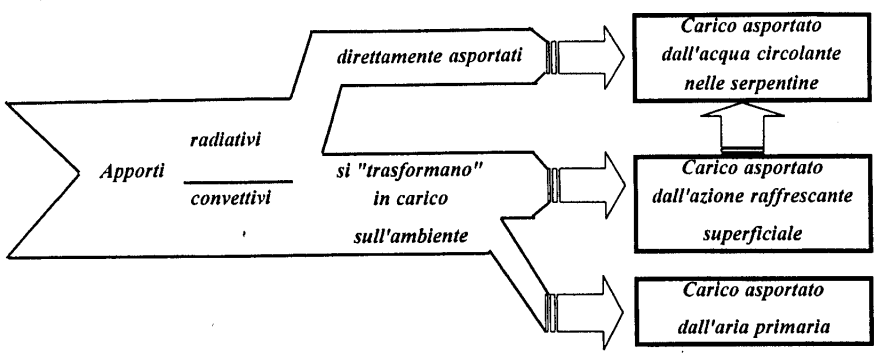


Fig. 3. Flusso di formazione del carico asportato dall'impianto

Cenni sugli elementi radianti

Sempre basati sull'idea di agire prevalentemente sugli scambi di tipo radioattivo, gli elementi radianti, a differenza dei pannelli, sfruttano superfici più ridotte e temperature di lavoro elevate. Si trovano esclusivamente sospesi a soffitto, utilizzati per il riscaldamento di grandi ambienti (capannoni, garage, magazzini etc.) laddove l'utilizzo di sistemi ad aria provocherebbero problemi di stratificazioni, correnti, etc. nonché ingenti consumi energetici.
In base alla temperatura di funzionamento, vengono classificati come elementi radianti a :

- Bassa intensità (T=150-650°C)
- Media intensità (T=650-980°C)
- Alta intensità (t=980-2800°C)

Tra le diverse tipologie di elementi radianti ricordiamo:

- Termostrisce radianti: si tratta di tubazioni opportunamente fissate ad una piastra, general-

mente rettangolare, entro le quali scorre il fluido termovettore (acqua, vapore, olio diatermico o aria), che porta la superficie alla temperatura di esercizio di 100°-150°C

- A gas combustibile: i più diffusi dei quali sono i cosiddetti ad irraggiamenti indiretto, nei quali i gas combusti da un bruciatore sono inviati ad un tubo orizzontale, ricoperto superiormente da una cappa riflettente verso il basso, che rappresenta temperatura superficiale media di circa 300-400°C
- Elettrici: esistono numerose tipologie che permettono di raggiungere temperature di esercizio da 650° a 2200°C.

Possibilità di risparmio energetico nella generazione del calore

Il rendimento dei generatori di calore

La produzione dell'acqua calda che alimenta i terminali degli impianti termici può essere effettuata con dispositivi che utilizzano processi termodinamici e vettori energetici diversi. La soluzione di gran lunga più comune si basa sui generatori di calore a combustione, alimentati con combustibili liquidi o gassosi. Meno diffusi, almeno in Italia, sono i sistemi a pompa di calore, in cui la produzione di potenza termica utile avviene riscaldata nel condensatore di una macchina frigorifera che opera un ciclo termodinamico invero tra due serbatoi termici costituiti, rispettivamente, da una sorgente termica a bassa temperatura (aria esterna, acqua di falda o di superficie, ecc.) e dal fluido termovettore dell'impianto utilizzatore.

Le prestazioni energetiche dei generatori di calore a combustione si esprimono attraverso il rendimento, h, definito dal rapporto:

$$h = Q_u / Q_s \qquad (3)$$

con:

$Q_u = Gc_p (T_{in}-T_{out})$

$Q_s = G_c H_i$

Dove:

Q_u = potenza termica utile, trasferita all'acqua (W)

G = portata in massa di fluido termovettore (Kg/s)

c_p = calore specifico del fluido termovettore (J/Kg°C)

T_{in} = temperatura di mandata del generatore di calore (°C)

T_{out} = temperatura di ritorno del generatore di calore (°C)

Q_s = potenza termica spesa (W)

G_c = portata in massima di combustibile (Kg/S)

H_i = potere calorifico inferiore del combustibile (J/Kg)

Nel caso di combustibili gassosi, è consuetudine esprimere la portata come portata in volume (in condizioni normali) e quindi calorifico viene riferito al volume anziché alla massa.

Poiché la determinazione sperimentale del rendimento attraverso la misura delle potenze utile e spesa (metodo diretto) è realizzabile solo in laboratorio, è conveniente esprimere il rendimento attraverso le perdite (metodo indiretto), ovvero applicando la relazione:

$$h = 1 – P_d – P_i - P_c \qquad (4)$$

dove:

P_d = perdita per dispersione

P_i = perdita per incombusti

P_c = perdita al camino

Le perdite sono grandezze adimensionali, in quanto rappresentano il rapporto tra le potenze perse (rispettivamente per dispersione, per incombusti e al camino) e la potenza spesa.
La perdita per dispersione dipende dallo scambio termico attraverso l'involucro del generatore di calore e, in generatori di nuova costruzione e a pieno carico, ha valori dell'ordine dell'1%. Al diminuire del calore (ovvero del rapporto tra potenza effettivamente richiesta e potenza massima di progetto), se il generatore è regolato a temperatura costante, le perdite per incombusti aumentano, in quanto le dispersioni di calore restano praticamente costanti mentre la potenza spesa diminuisce.
La perdita per incombusti deriva dal fatto che nei fiumi sono generalmente presenti prodotti di combustione suscettibili di ulteriore ossidazione, come il monossido di carbonio (CO). Con una opportuna regolazione dell'indice d'aria (pari al prodotto fra la portata d'aria comburente effettiva e la portata d'aria stechiometrica) si può mantenere la percentuale di CO inferiore a 0,1% (limite prescritto dalle vigenti normative sulle emissioni in atmosfera), per il quale la perdita per incombusti risulta trascurabile.
Le perdita al camino si determina a partire dall'analisi dei fiumi, applicando la nota formula di Siegert (v. norma Uni 10389):

$$P_c = (B + A/[CO_2])(T_f - T_a) \qquad (5)$$

Dove:
$[CO_2]$ = percentuale di anidride carbonica nei fiumi
T_f = temperatura dei fiumi (°C)
T_a = temperatura dell'aria (°C)
A = 0,38 (gas naturale); 0,50 (gasolio)
B = 0,010 (gas naturale); 0,007 (gasolio)

I generatori di calore a condensazione
Nella definizione delle perdite e del rendimento, si assume l'ipotesi che l'acqua contenuta nei fiumi sia allo stato di vapore, come avviene di regola nei generatori di calore ad alto rendimento, in cui la temperatura dei fiumi è superiore a valori dell'ordine di 150°C. In questo caso è effettivamente corretto esprimere la potenza spesa in funzione del potere calorifico inferiore.
Portando i fumi all'interno del generatore a valori inferiori alla temperatura di rugiada, e ottenendo quindi la condensazione del vapore d'acqua, si verifica la possibilità di trasferire all'acqua anche la quota di energia corrispondente al calore latente. L'incidenza percentuale di tale quota, rispetto al potere calorifico inferiore, varia da combustibile a combustibile in funzione del tenore di acqua nei fiumi: essa è massima (11%) per il metano che, essendo fra tutto gli idrocarburi quello con il massimo rapporto fra numero di atomi di idrogeno e numero di atomi di carbonio, produce fumi particolarmente ricchi di acqua. Poiché la definizione del rendimento viene comunque sempre riferita al potere calorifico inferiore, per le caldaie a condensazione il rendimento risulta normalmente superiore al 100%, sia perché la bassa temperatura dei fumi determina una riduzione delle perdite al camino, sia perché almeno una parte del calore latente (di cui il potere calorifico interiore non tiene conto) viene trasferita come calore utile al fluido termovettore.
Le operazioni operative che permettono di realizzare la condensazione del vapore d'acqua dei fumi dipendono dalla temperatura di ritorno del fluido termovettore nel generatore; essa dovrà infatti essere sufficientemente bassa per poter raffreddare i fumi al di sotto del punto di rugiada: pertanto, l'applicazione tipica della caldaie a condensazione è negli ultimi impianti a bassa temperatura.
Dal punto di vista costruttivo, la condensazione può avvenire sia direttamente all'interno del percorso dei fumi, sia in uno scambiatore di calore dedicato, montato immediatamente prima

della scarico al camino. In entrambi i casi si adottano tutte le dovute cautele per la raccolta e lo smaltimento della condensa acida.

Le pompe di calore

Anche nel caso delle pompe di calore, le prestazioni termodinamiche aumentano al diminuire della temperatura del fluido termovettore. Pertanto si può affermare che i sistemi di riscaldamento a bassa temperatura permettono di raggiungere un duplice obiettivo di risparmio energetico:

- Incrementando la temperatura media radiante dell'ambiente, permettono di garantire il comfort per valori più bassi di temperatura dell'aria.
- Consentono l'impiego ottimale di sistemi di produzione del calore di elevate prestazioni energetiche, quali le caldaie a condensazione o i sistemi a pompa di calore.

Ulteriori opportunità di risparmio energetico derivano da una gestione ottimale del sistema di generazione al variare del carico dell'impianto, ovvero della frazione di potenza termica richiesta dal circuito utilizzatore rispetto al valore di progetto.
L'evoluzione dei sistemi di regolazione dei generatori di calore, resa possibile dall'innovazione nell'elettronica di controllo e nella tecnologia di combustione, consente ad esempio una gestione dei generatori di calore a temperatura variabile con il carico (generatori a temperatura scorrevole), fatto che comporta una riduzione delle perdite per dispersione a carico ridotto.

I sistemi di accumulo di energia termica

Le prestazioni globali del sistema possono essere ulteriormente migliorate agendo a livello di progetto e dimensionamento del sistema. Come precedentemente evidenziato, infatti, la potenza (termica o frigorifera) installata in centrale è di regola molto superiore a quella mediamente richiesta dai circuiti utilizzatori. Un miglior accoppiamento fra produzione e utilizzazione, con la conseguente possibilità di ridurre la potenza installata, può essere ottenuto dotando l'impianto di un sistema di accumulo dell'energia termica.
Sebbene sia possibile dotare si sistemi di accumulo tanto gli impianti termici che quelli frigorigeni, è per questi ultimi (in particolare per i sistemi di climatizzazione e di refrigerazione industriale) che si hanno le applicazioni più interessanti. Un impianto dotato di accumulo può infatti utilizzare un gruppo frigorifero di taglia ridotta, in quanto la produzione del freddo può essere distribuita su un intervallo di tempo più lungo di quello di effettiva domanda sa parte dell'utenza: il funzionamento del sistema prevede allora l'alternarsi di fasi di "carica" dell'accumulo e di fasi in cui l'energia accumulata viene prelevata dall'accumulo e resa disponibile al circuito utilizzatore.
Generalmente il dimensionamento ottimale dei componenti del sistema è quello per cui, nel periodo di massima domanda di energia da parte dell'utenza, vengono utilizzati congiuntamente sia il prelievo dall'accumulo, sia la produzione diretta con la macchina frigorifera.
Significativi benefici economici possono inoltre essere ottenuti, nel caos di sistemi di generazione alimentati elettricamente (ad es. refrigeratori d'acqua con ciclo a compressione di vapore), dall'opportunità di utilizzare la macchina in periodi (ad esempio durante la notte) in cui l'energia elettrica può essere acquistata a costi notevolmente ridotti grazie all'applicazione di tariffe differenziate per fasce orarie.
L'accumulo di energia termica può essere effettuato in due modi:

- Sotto forma di calore sensibile, utilizzando acqua allo stato liquido come mezzo di accumulo; grazie all'elevata capacità termica dell'acqua, si ottiene una buona capacità di accumulo per unità di volume, capacità che è però limitata dall'intervallo massimo delle temperature di lavoro del circuito utilizzatore;
- Sotto forma di calore latente, utilizzando come mezzo di accumulo un materiale che subi-

sce un cambiamento di stato; poiché tale processo è isotermo e poiché il calore latente ha valori notevoli in rapporto al volume, la capacità di accumulo di tali sistemi è superiore al caso precedente.

La scelta del materiale di accumulo per cambiamento di stato dipende dal livello di temperatura richiesto; particolarmente interessanti nelle applicazioni frigorifere sono le miscele eutettiche, in alternativa all'accumulo in ghiaccio o acqua gelida; con questa soluzione, l'accumulo è costituito da un serbatoio cilindrico riempito con sferette in materiale plastico, di diametro compreso fra 70 e 100 mm circa, contenenti una miscela eutettica la cui composizione dipende dalla temperatura di accumulo richiesta, variabile in un intervallo indicativamente compreso fra ±30°C.
In definitiva, i benefici che i sistemi ad accumulo permettono di conseguire sono:

- La riduzione (dal 50% al 90%) della potenza installata;
- La diminuzione della massa di fluido refrigerante utilizzato;
- L'aumento dell'affidabilità del sistema;
- La riduzione dei costi di esercizio (energia, manutenzione, ecc.)

Requisiti di comfort, igometrico, acustico e illuminotecnico negli ambienti abitativi

Introduzione
In questi ultimi anni si è venuta affermando, nell'attività progettuale, una sempre più spiccata attenzione per la "qualità" dell'ambiente abitato dall'uomo e, conseguentemente, per tecniche e metodi del confronto ambientale.

La qualità di un ambiente costruito è il risultato della complessa integrazione di numerose componenti che hanno a che fare con fenomeni di natura fisica e psico-fisiologica, dall'altro con fattori di carattere eminentemente architettonico (organizzazione degli spazi, scelta dei materiali, ecc.). In questa memoria si farà riferimento esclusivo ai primi ed in particolare agli aspetti della qualità ambientale che interessano le discipline fisico-tecniche della climatizzazione, dell'acustica e dell'illuminotecnica, ovvero il comfort termoigometrico, acustiche visivo negli ambienti abitativi. Queste tre discipline, pur nella loro individualità, condividono quale matrice comune l'essere basate sullo studio delle correlazioni fra grandezze fisiche "oggettive" e quindi misurabili, che rappresentano gli stimoli fisici presenti nell'ambiente, e risposta "soggettiva" a tali stimoli, da cui dipende il grado di soddisfazione individuale rispetto alla qualità dell'ambiente abitativo.

Nell'affrontare il tema del confronto ambientale nell'ambito di un corso sull'eliminazione delle architettoniche è inevitabile chiedersi quale sia il legame tra tematiche apparentemente così distanti. Per rispondere a questa domanda conviene porsi dal punto di vista dell'utente dello spazio costruito: così come una arriera architettonica è spesso inavvertibile per un non disabile, così come un ambiente poco confortevole (perché mal climatizzato, o troppo rumoroso, o poco illuminato) può costituire un fastidio trascurabile, ovvero essere causa di grave disagio, a seconda dello stato fisico dell'utente.

Nella cultura e nella prassi dell'architetto devono quindi trovare spazio strumenti conoscitivi ed operativi che consentano di verificare l'impatto delle scelte progettuali sulla qualità termica, acustica ed illuminotecnica dell'ambiente costruito, anche prescindenti dall'apporto, comunque auspicabile, dello specialista. Tale esigenza dovrà essere particolarmente sottolineata nel pro-

getto di spazi “critici” quali ospedali o residenze per anziani.

Nel progettare la qualità di un ambiente, un primo passo consiste nella definizione quantitativa dei requisiti di qualità ambientale: questi dati costituiscono il punto di partenza per la progettazione sia del sistema edilizio, sia dei sistemi impiantistici. Molto spesso i dati di progetto che vengono indicati in capitolato sono incompleti, per cui ricade sul progettista il compito della loro integrazione.

Il passo successivo è rappresentato dalla verifica, con opportuni strumenti di tipo analitico, grafico, informatico o sperimentale, della rispondenza delle scelte progettuali ai requisiti prima citati, con particolare riferimento al dimensionamento di componenti “critici” (ad esempio le superfici vetrate), alla scelta dei materiali (ad esempio per l’isolamento termico), e all’integrazione di sistemi impiantistici, tale processo progettuale si fonda sulla conoscenza dei presupposti teorici su cui si basano le tecniche per il controllo ambientale. In questa memoria, che non ha ovviamente la pretesa di esaurire un argomento di tale vastità, vengono forniti alcuni riferimenti, anche di carattere bibliografico e normativo, utili all’inquadramento del problema.

Comfort termico

E’ noto che, per funzionare correttamente, l’organismo umano deve poter mantenere costantemente a 37°C la propria temperatura interna, con una tolleranza inferiore a ±1°C. come per qualsiasi sistema termodinamico, la temperatura del corpo umano è il risultato di un bilancio di energia e massa: il mantenimento della temperatura interna ad un livello costante presuppone quindi che il calore prodotto internamente dal metabolismo sia esattamente pari alla somma del lavoro muscolare sviluppato e del calore dissipato all’esterno attraverso i vari meccanismi di trasporto termico (conduzione, convenzione e irraggiamento) e di massa (respirazione, evaporazione del sudore).

L’organismo umano è dotato di sofisticati sistemi di termoregolazione che consentono di controllare adeguatamente la temperatura corporea anche per variazioni considerevoli delle condizioni ambientali esterne e del livello metabolico dell’individuo. L’apparato circolatorio, agendo sulla circolazione sanguigna nei vasi periferici, consente di regolare la temperatura superficiale del corpo, da cui dipende l’entità dello scambio termico del conduttivo, convettivo e radioattivo (da cui la sensazione di freddo nei piedi e nelle mani quando ci si trova in un ambiente a bassa temperatura). Il meccanismo della sudorazione consente di dissipare considerevoli quantità di calore, grazie all’elevato calore di vaporizzazione dell’acqua (ecco perché un clima caldo-secco è assai meglio tollerabile di un clima caldo-umido).

Tra le numerose teorie che mirano a correlare la sensazione soggettiva di “caldo“ e di “freddo” (indice del processo di adattamento termico del corpo all’ambiente) con parametri ambientali oggettivi, costituisce in effetti la base di numerose normative, tra cui la normativa internazionale ISO 7730, recepita anche dal CEN e conseguentemente anche dall’UNI, sul comfort termoigrometrico negli ambienti “moderati” (intesi come ambienti in cui è tecnicamente possibile garantire il benessere degli occupanti, le cui condizioni escludono quindi situazioni “severe” quali si possono verificare in taluni ambienti industriali).

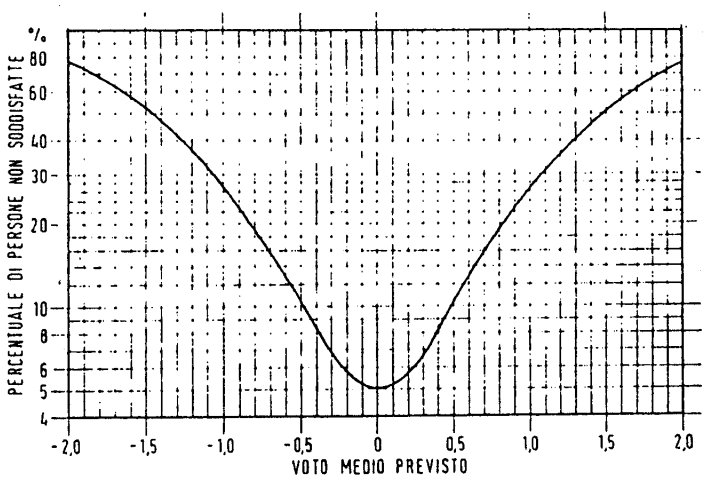
La teoria di Fanger introduce un indice di qualificazione delle condizioni di comfort termoigrometico denominato PMV (Predicted Mean Vote = Voto Medio Previsto), che esprime l valore medio previsto dalla sensazione termica da parte degli occupanti dell’ambiente attraverso la scala numerica riportata in tabella seguente.

PMV	Sensazione termica soggettiva
+ 3	molto caldo
+ 2	caldo
+ 1	leggermente caldo
0	neutro
– 1	molto freddo
– 2	freddo
– 3	leggermente freddo

Scala psico-fisiologica di sensazione termica

L'indice PMV è stato derivato mettendo in relazione i dati sperimentali sulla sensazione termica soggettiva con le equazioni di bilancio termico dell'organismo, tenendo conto dell'effetto psico-fisico connesso con l'intervento del sistema di termoregolazione corporea. Tale indice è applicabile in ambienti moderati, per condizioni stazionarie ed in assenza di forti disuniformità di temperatura all'interno dell'ambiente.

Nella teoria di Fanger viene introdotto un secondo indice, denominato PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied – Percentuale Prevista di Insoddisfatti), che tiene conto della variabilità soggettiva del giudizio sulle condizioni termiche dell'ambiente. In condizione di neutralità termica (PMV=1) l'indice PPD non vale 0, bensì sia pari al 10%: questo fatto indica che un ambiente mediamente percepito come termicamente neutro può risultare non confortevole per una piccola percentuale della popolazione, ovvero per individui il cui organismo, a causa dell'età o di una salute precaria, si comporta difformemente dalle media.



Percentuale di persone insoddisfatte (PPD) in funzione del voto medio previsto (PMV)

La valutazione degli indici PMV e PPD si effettua sulla base dei seguenti parametri:

- temperatura dell'aria Ta
- umidità dell'aria Ura
- velocità dell'aria Va
- temperatura media radiante Tmr

- livello metabolico (o di attività) M
- resistenza termica dell'abbigliamento I

Dei sei parametri sopra elencati, i primi quattro caratterizzano l'ambiente, mentre gli ultimi due definiscono lo stato dell'individuo: in particolare il livello di attività si misura sulla scala dei met (1 met=58 W per m^2 di superficie corporea rappresenta il livello medio di un individuo che svolge un'attività sedentaria), mentre il tipo di abbigliamento si misura sulla scala dei cio (1 cio = 0.155 m^2°C/W rappresenta la resistenza termica media di un abbigliamento di lavoro maschile invernale: pantaloni e giacca di lana, camicia e pullover a maniche lunghe, calze e scarpe pesanti).

Per quanto riguarda i parametri ambientali, Ta, Ura e Va definiscono le condizioni dell'aria in termini di temperatura, contenuto di vapor d'acqua e movimento rispetto al corpo: tali parametri determinano l'entità dello scambio termico per conduzione, convezione ed evaporazione tra corpo ed ambiente, tenendo conto del tipo di abbigliamento dell'individuo.

La temperatura media radiante, definita come media (pesata rispetto alle aree) delle temperature superficiali delle pareti che delimitano l'ambiente, regola invece l'entità dello scambio termico per irraggiamento tra superficie corporea e ambiente circostante, fenomeno che in alcune circostanze può essere assai significativo: è tipica, ad esempio, la sensazione di freddo che si prova, in inverno, in un ambiente delimitato da vaste superfici vetrate (di norma aventi temperature molto inferiore a quella dell'aria), anche quando la temperatura dell'aria risulta sufficientemente elevata.

Nella tabella seguente sono riassunti una serie di valori di riferimento che possono essere assunti come dati di progetto relativamente al comfort termico di ambientali residenziali, per uffici e servizi.

Grandezza	**Condizioni invernali**	**Condizioni estive**
Temperatura dell'aria	22 °C ± 1 °C	24 °C ± 1 °C
Umidità relativa dell'aria	45% ± 5%	55% ± 5%
Temperatura media radiante	15 °C ÷ 29 °C	21 °C ÷ 32 °C
Velocità dell'aria	≤ 0,15 m/s	≤ 0,15 m/s
Tipo di abbigliamento	1 clo	0,5 clo
Livello di attività	1,2 met	1,2 met
	Ulteriori condizioni	
Temperatura superficiale del pavimento	19 °C ÷ 29 °C	
Asimmetria di temperatura radiante di superfici verticali	≤ 10 °C	
di superfici orizzontali	≤ 5 °C	
Gradiente di temperatura fra testa e caviglie	≤ 3 °C	

Dati di progetto per il comfort termoigrometrico

Dal punto di vista progettuale merita infine sottolineare alcuni aspetti che richiedono attenzione da parte dell'architetto:

- Le condizioni termoigrometriche di un ambiente possono essere controllate in modo completo solamente tramite un impianto di climatizzazione in grado di operare in condizioni invernali ed estive; peraltro soprattutto in climi moderati quali si incontrano nel nostro paese, condizioni estive accettabili possono essere garantite, in assenza di impianto, con un'attenta progettazione dell'involucro edilizio, almeno per gli edifici residenziali.

- La resistenza e capacità termica dell'involucro edilizio, funzione della stratigrafia delle pareti, determina la "risposta" termica dell'edificio agli apporti e alle dispersioni di calore. Nelle condizioni invernali, caratterizzate da modeste escursioni giornaliere dei parametri climatici, l'isolamento termico delle strutture risulta essere il fattore determinante; al contrario, nelle condizioni estive in cui predominano carichi solari ed endogeni, la "massa" delle strutture, grazie alla capacità di smorzare e ritardare nel tempo il carico termico rispetto alle sollecitazioni esterne, gioca un ruolo decisivo e ritardare nel tempo il carico termico rispetto alle sollecitazioni esterne, gioca un ruolo decisivo riguardo alla confortevolezza termica dell'ambiente.
- Il dimensionamento delle superficie vetrate deve tener conto delle esigenze di illuminazione naturale, senza dimenticare che la superficie vetrata rappresenta di norma, in inverno, la zone più fredda dell'involucro: l'impiego di vetrature ad elevate resistenza termica (vetri camera, eventualmente basso-emissivi) è fondamentale per garantire temperature superficiali interne adeguate.
- Al fine di ottenere una qualità dell'aria accettabile ed evitare l'insorgere di fenomeni di condensazione del vapore e sviluppo di muffe, è necessario garantire un tasso di ricambio d'aria mediamente non inferiore a 0.5 volumi/ora. Nei moderni edifici residenziali, esigenze di risparmio energetico hanno favorito l'adozione di serramenti a buona tenuta d'aria, tale soluzione, di per sé corretta, è stata spesso causa di un peggioramento della qualità dell'aria laddove non sono stati previsti adeguati sistemi di ventilazione naturale o meccanica controllata. Nella progettazione ed installazione di tali sistemi di ventilazione occorre prestare particolare attenzione ai problemi di rumore e alla localizzazione delle bocchette di immissione dell'aria, che non devono causare fastidiose correnti d'aria fredda.
- La scelta della tipologia di impianto di riscaldamento, in particolare per quanto riguarda i terminali, può avere significative conseguenze di comfort. Ad esempio, un sistema di riscaldamento "diffuso", quali i pannelli radianti a pavimento, se correttamente progettato e gestito, può garantire condizioni di comfort migliori rispetto ad un sistema "puntuale" quale il classico impianto a radiatori.

Comfort visivo

L'illuminazione di uno spazio interno, sia essa, effettuata con luce naturale o artificiale, deve svolgere tre ruoli fondamentali:
garantire la sicurezza delle persone;
facilitare l'esecuzione dei "compiti visivi";
aiutare la creazione di un ambiente visivo "adeguate".

La qualità dell'ambiente visivo, ancor più di quello termico, è strettamente correlata con il tipo di attività svolta nell'ambiente ed è fortemente influenzate da fattori culturali e psicologici. A differenza del comfort termoigrometrico, non esiste per il comfort visivo una teoria onnicomprensiva che consenta di qualificare l'ambiente con un singolo parametro, esistono invece numerosi indici della cui correlazione si può stabilire la qualità illuminotecnica un ambiente interno.
I principali requisiti che devono essere soddisfatti in un progetto illuminotecnico sono i seguenti:

- il livello di illuminamento sul piano di lavoro;
- il fattore di luce diurna (per l'illuminazione naturale);
- la distribuzione di luminanza delle superfici;
- la limitazione dell'abbagliamento;
- la resa del contrasto e direzionalità della luce;
- il colore della luce e la resa cromatica.

Livello di illuminamento e fattore di luce diurna
Il requisito base per qualsiasi progetto illuminotecnico è costituito dal livello di illuminamento richiesto per un dato compito visivo.
Nel caso di un'illuminazione generale di tipo artificiale, per sua natura diffusa ed uniforme, si fa riferimento all'illuminamento medio ed al fattore di uniformità (rapporto tra illuminamento minimo e medio).
In presenza di compiti visivi impegnativi (lettura, disegno, ecc.) possono essere previsti, ad integrazione dell'illuminazione generale, sistemi di illuminazione localizzati (task lighting).
Nel caso di illuminazione naturale, a causa della forte variabilità temporale del fenomeno, si fa riferimento ad un indice relativo, detto fattore di Luce Diurna (FLD) definiti come rapporto tra l'illuminamento interno sulla superficie considerata e l'illuminamento che si ha, nel medesimo istante, su una superficie orizzontale esterna non schermata (ovvero che "veda" l'intera volta celeste).

Nella definizione di FLD si prescinde in genere dall'apporto della radiazione solare diretta e si considera solo quello della volta celeste; questo assunto è giustificato da due ordini di considerazioni: da un lato ci si pone nelle condizioni più sfavorevoli (cielo coperto), dall'altro si presuppone che la radiazione diretta, per sua intensità, debba essere comunque schermata. Spesso è sufficiente riferirsi al valore medio del fattore di luce diurna FLDM; numerose normative sull'edilizia scolastica o residenziale utilizzano tale indice come criterio per il dimensionamento delle superfici vetrate: ad esempio, la Normativa tecnica regionale dell'Emilia Romagna stabilisce per le residenze un valore minimo pari al 2%. E' inoltre facile verificare che i criteri di dimensionamento generalmente adottati dai regolamenti igienico-edilizi (ad es. una superficie vetrata non inferiore a 1/7 o 1/8 della superficie di pavimento) soddisfatto il requisito minimo di FLDM prima citato.

Comfort acustico
La progettazione acustica di un ambiente abitativo si propone sostanzialmente due obbiettivi:

- rendere agevole e soddisfacente l'effettuazione di attività che coinvolgono l'udito (comprensione del parlato, ascolto della musica, ecc.);
- tutelare gli occupanti dagli effetti negativi indotti dal rumore (inteso come suono non gradito, ovvero che crea danno o disturbo senza veicolare informazioni utili).

Gli approcci utilizzati nella definizione dei dati di progetto e nella ricerca di soluzioni tecniche idonee devono ovviamente tenere conto di entrambi i fattori sopra menzionati. Nell'edilizia residenziale, tuttavia, l'aspetto di gran lunga preponderante è il secondo, mentre l'ottimizzazione delle condizioni di ascolto (obbiettivo primario dell'acustica architettonica) assume rilievo in spazi destinati al pubblico, quali le sale di concerto, le aule scolastiche, gli auditoria, ecc.

Focalizzando l'attenzione sul rumore, va innanzitutto precisato che i problemi di interesse pratico riguardano innanzitutto la tutela dei lavoratori dai rischi professionali specifici, connessi con l'esposizione a lavorazioni o ambienti particolarmente rumorosi. Tale aspetto del problema è stato disciplinato dalla normativa sull'igiene del lavoro, a partire dal fondamentale D.P.R. 303 del 1956, sino ai recenti D. Lgs. 277/91 e D. Lgs. 626/94. La popolazione in senso lato è invece soggetta soprattutto ad effetti di disturbo, dovuti al rumore presente nell'ambiente esterno e negli ambienti abitativi, intendendo come tale qualunque effetto, oggettivamente ascrivibile al rumore, di natura temporanea e reversibile: interferenza con il sonno, riduzione della possibilità di comprensione del parlato, riduzione della capacità di concentrazione, ecc.

Numerosi sono gli studi ed i criteri proposti per valutare i fenomeni di disturbo da rumore; data

la complessità del problema, una teoria onnicomprensiva non è infatti ancora stata proposta. Allo stato attuale, la maggior parte delle normative tecniche e delle disposizioni di legge utilizzano come indicatore di disturbo il cosiddetto livello continuo equivalente di pressione sonora ponderata A (d'ora in avanti indicato per brevità LeqA), che rappresenta il valore del livello di pressione sonora (in decibel) corretto secondo la curva A 8tenere conto della risposta dell'apparato uditivo umano nelle varie frequenze) di cui suono costante che, nel corso di un periodo specificato, risulta energeticamente equivalente al suono variabile in esame.

La Legge Quadro sul rumore ambientale (L. 26 ottobre 1995, n.447) si riferisce al LeqA per stabilire i valori limite di emissione sonora (relativi alle sorgenti) e di immissione (relativi ai livelli di esposizione al rumore negli ambienti esterni ed interni). Una descrizione puntuale e completa della Legge Quadro esula dagli obiettivi di questo lavoro (anche in considerazione del fatto che non tutti i decreti attuativi della legge sono stati emanati), per cui a richiamare gli aspetti salienti dei principali decreti già in vigore:

- Il DPCM 14 novembre 1997, riprendendo l'approccio già adottato nel precedente DPCM 1 marzo 1991, ha fissato i criteri generali per la definizione dei valori limite di emissione ed immissione (assoluti e differenziali) per le varie classi di destinazione d'uso in cui viene suddiviso il territorio comunale (zonizzazione acustica); tali limiti verranno integrati dai decreti "settoriali", relativi alle infrastrutture di trasporto stradale, ferroviario, aeroportuale e portuale, attualmente in fase di stesura o approvazione.
- Il D.M. 16 marzo 1998 stabilisce le caratteristiche della strumentazione e le metodologie da utilizzare per le tecniche di rilevamento e misurazione dell'inquinamento acustico.
- Il DPCM 5 dicembre 1997 stabilisce i requisiti acustici passivi degli edifici con riferimento a:
  - tempo di riverberazione dei locali;
  - potere fonoisolante, relativamente alla trasmissione di rumore per via aerea, di elementi verticali di facciata (pareti esterne, serramenti);
  - potere fonoisolante di divisori interni;
  - isolamento da calpestio dei solai;
  - livello di pressione sonora indotto dagli impianti tecnologici di servizio a funzionamento discontinuo o continuo.

Merita infine ricordare che sono citati in letteratura numerosi altri criteri per la valutazione del rumore. Fra questi ricordiamo il criterio delle curve Noise Rating (NR), adatte a quantificare il disturbo indotto dal funzionamenti di impianti tecnici a funzionamento continuo (tipicamente, impianto di ventilazione o condizionamento dell'aria).

Per quanto riguarda la comprensione del parlato, si segnalano i metodi dell'Indice di Articolazione (AI), del SIL(Speech Interference Level) e del RASTI (Rapid Speech Trasmission Index) che, tenendo conto delle caratteristiche di riverberazione del locale e del livello del rumore di fondo, definiscono un criterio quantitativo per valutare la bontà delle condizioni di ascolto ed interpretazione di informazioni di tipo vocale (23). Tali criteri, largamente utilizzati nella progettazione acustica delle sale, non trovano al momento impiego nelle norme di legge vigenti in Italia.

Arch. Giulio Ceppi
Società TOTAL TOOL

Bioedilizia, perché? Riflessioni sui rapporti tra mercato ed ecologia

Sostenibilità e qualità globale

Indubbiamente la tematica ella sostenibilità si sta finalmente traducendo in processi innovativi che toccano i criteri di produzione delle merci (ecodesign) e i modi della gestione dell'architettura (bioarchitettura), la diversa gestione energetica delle città e dei suoi servizi (ecologia urbana) fino le politiche di intervento sul territorio e sull'ambiente in generale (ecopiani).
Al di là di sterili definizioni disciplinari la ricerca della sostenibilità ha imposto in verità l'urgenza strategica di una visione globale, per cui le caratteristiche d'uso dei prodotti sono altrettanto importanti di quelle relative alle modalità di produzione, piuttosto che di quelle relative alla dismissione e al recupero degli oggetti stessi. Di fatto tutti richiediamo una maggiore compatibilità del nostro mondo artificiale con quanto definiamo "naturale", ricercando sinteticamente una migliore qualità ambientale. Per dirla con Ezio Manzini, possiamo forse parlare di nuova ecologia dell'artificiale.
L'attenzione ai criteri della sostenibilità ambientale implica quindi una concezione allargata ed estesa della nozione sia di prodotto quanto di architettura.
Avviene sul piano della conoscenza collettiva qualcosa di estremamente vicino a quanto accaduto nel mondo imprenditoriale con gli approcci tipici dei processi di Total Quality, in cui la visione dinamica e olistica è di fondamentale importanza.
Anche la qualità ambientale, come la qualità totale, mira alla soddisfazione del cliente: tuttavia nel primo caso si manifesta in maniera più indiretta, attraverso il rispetto di un etica condivisa, mentre nel secondo avviene in termini più individualistici, relativi al giudizio sulle prestazioni. Si potrebbe allora auspicare la nascita della Qualità globale, indicando con tale espressione criteri che soddisfano sia i principi sociali della sostenibilità che quelli del cliente.

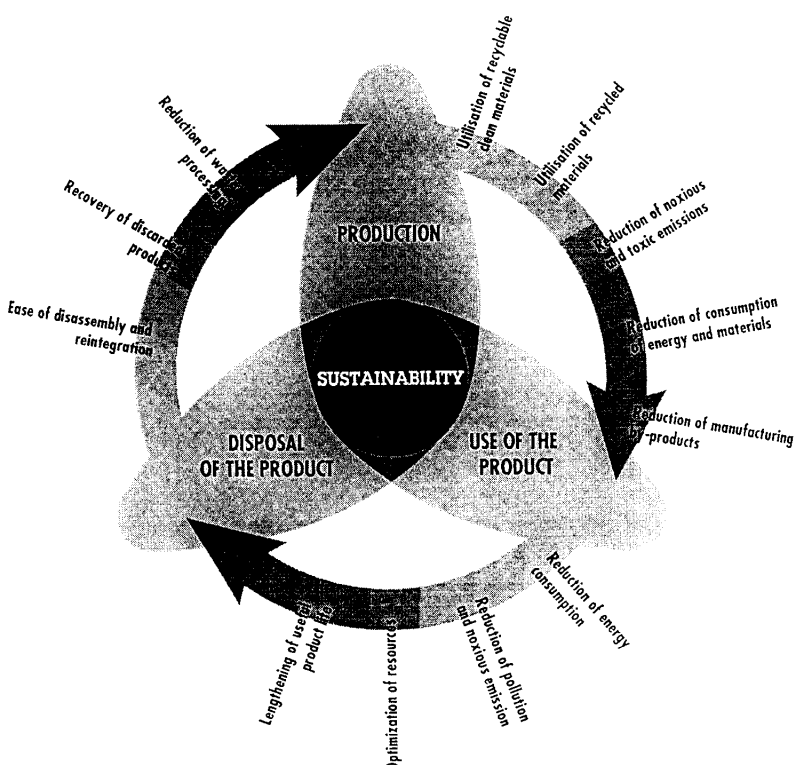
Il paradosso nichilista della sostenibilità

La questione della qualità globale non è solo un vezzo terminologico. Se infatti il sillogismo "bene per il pianeta=bene per me=bene per entrambe" sembra teoricamente ineccepibile, tale logica è ben lontana dal tradursi sempre in effettive e coerenti politiche gestionali.
Infatti, ancora oggi, nonostante le dichiarate qualità ambientali di prodotti e architetture, nella pratica quotidiana non si crea alcuno scenario differente: anzi il consumatore/cliente si aspetta, come per consenso implicito, che una soluzione ecologica sia di necessità più scadente, povera, quando non brutta rispetto allo standard, e che per giunta costi di più.
Dichiarare l'ecologicità di un prodotto è un plus sul piano dell'offerta competitiva tale da giustificarne un costo maggiore: tale vantaggio si traduce però, in modo quasi automatico, in qualcosa che vale di meno sul piano estetico. Esiste allora una sorta di paradosso nichilista dell'ecologia: come dire, maggior costo per una minore qualità apparente.
Tale aberrazione si giustifica tenendo conto dell'enorme impatto emotivo che tuttora l'ecologia

esercita su tutti noi: acquistare un prodotto ecologico, abitare una architettura verde, significa essere anche protagonisti di un'azione sociale, per cui si è disposti a sopportarne pionieristicamente il costo aggiunto che tale scelta implica.
Ci sembra allora che la ricerca di una qualità ambientale migliore, di una nuova ecologia dell'artificiale, non si possa tradurre in maniera così subdola ed evidente in costi sociali tantomeno sul piano dello stile di vita, dell'ecolifestyle.
Lo sfruttamento emotivo e comunicativo della sostenibilità ne produce una posizione di scacco, impedendone il decollo come modello produttivo alternativo.
Bisogna invece assai urgentemente sviluppare un'estetica della sostenibilità, capace di garantire nuovi livelli di qualità sul piano della accettabilità culturale.
Una sfida tutt'altro che facile, ma necessaria per i prossimi anni, affinché in un domani più maturo, la sostenibilità non sia solo un'estetica tra le estetiche, uno stile tra gli stili.

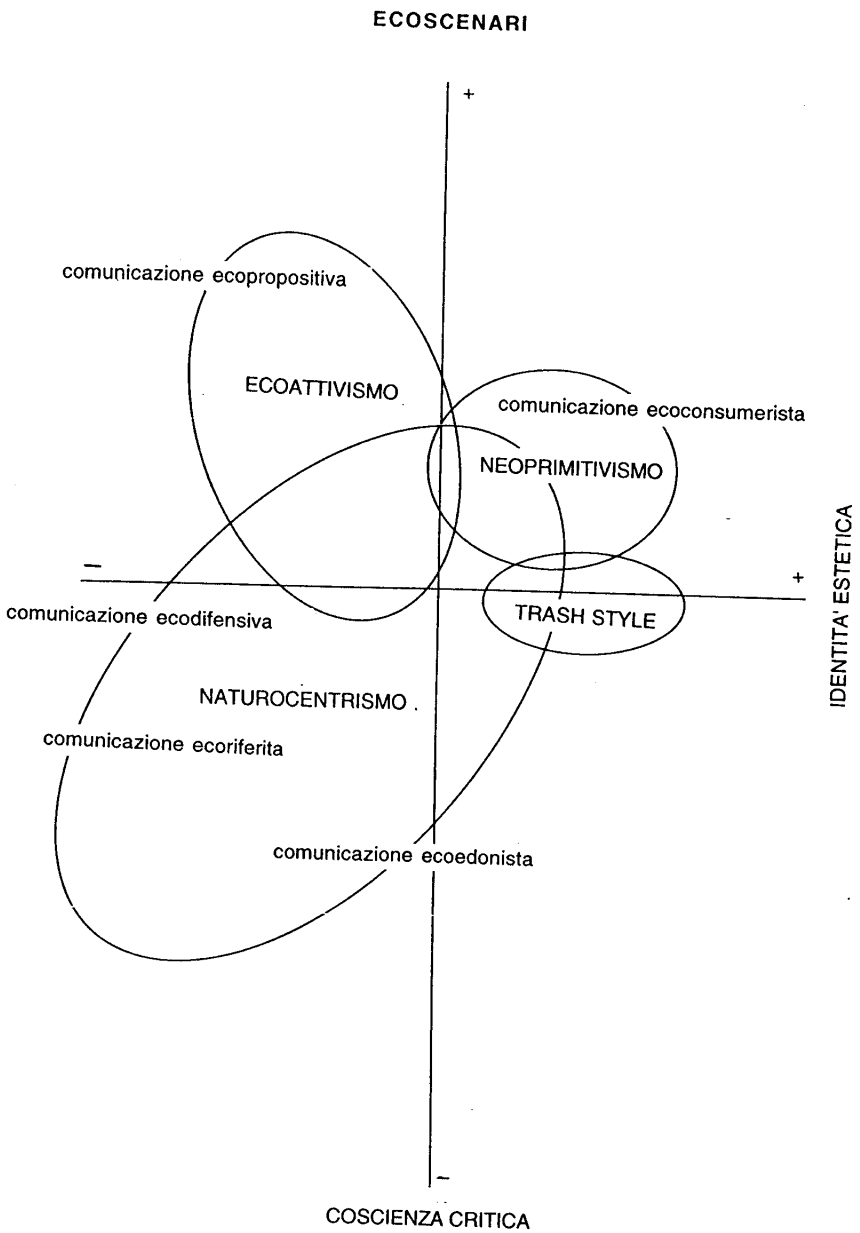
Estetica della sostenibilità: prodotti e architetture come media

I prodotti e le architetture oggi sono i media più significativi delle strategie della sostenibilità, misure concrete di quanto politicamente generare nella costruzione di un nuovo modello di sviluppo.
Le merci e le città sono contemporaneamente gli strumenti e i luoghi dove si misurano le tanto promesse qualità ambientali.
Per questo è impossibile che la sostenibilità decolli come modello di sviluppo vincente se non la si dota inizialmente di una propria estetica, prodotta da un nuovo modello relazionale, che non si limiti più ad aspetti puramente formali. Un'estetica generata da una vera etica, da processi di senso condivisi.



E' evidente quanto l'ecologia sia oggi ancora una merce comunicativa coccolata e protetta dal mondo imprenditoriale: se è vero business ecologico implica maggiori costi, tuttavia consente la diversificazione e l'aumento di competitività del prodotto: in un mercato saturo il limite diventa risorsa.

Anche per i progettisti l'ecologia può apparire, senza meno cinismo, come una risorsa professionale non indifferente. In tutto ciò potrebbe non esserci nulla di male, in fondo, se si affermassero così facendo un nuovo modello di sviluppo, nuove visioni, nuove competenze. Già troppo a lungo si è speculato su tali aspettative: prendere effettiva conoscenza del tempo e dello spazio che si restano a disposizione, di come si possa vivere oggi un futuro migliore, senza promesse, senza inganni, dovrebbe poi interessare a noi tutti.



Dott. Lucio Castelnuovo

Il rispetto dell'ambiente

Quadro di riferimento

	ZINGARELLI '25	ZINGARELLI '83/2000	GABRIELLI 94
ECOLOGIA	Studio della vita esterna delle piante	Branca della biologia che studia i rapporti reciproci fra organismi viventi e ambiente circostante e le conseguenze di tali rapporti, specialmente al fine di limitarne od eliminarne la nocività (gli effetti negativi)	Disciplina biologica che studia gli esseri viventi nelle loro relazioni reciproche e con l' ambiente nel quale vivono, da un punto di vista biologico, chimico e fisico Complesso di studi, attività ed iniziative vòlti alla difesa dell' ambiente e dell' equilibrio naturale
AMBIENTE	Aria che sta attorno Ciò che ci circonda : anche di cose, dei luoghi e di persone Circostanze fisiche e morali tra le quali viviamo	Insieme, indissolubilmente interrelato, costituito da una comunità di organismi animali e vegetali e dall' ambiente fisico in cui essa vive.Complesso delle condizioni esterne all' organismo, in cui si svolge la vita vegetale o animale	Insieme delle condizioni esterne legate al luogo, allo spazio, al clima, a fattori chimico-fisici e a rapporti con altri esseri viventi in cui un organismo vegetale o animale vive
ECOSISTEMA	–	L' insieme degli esseri viventi, dell' ambiente e delle condizioni fisico-chimiche che, in uno spazio delimitato, sono inseparabilmente legati tra loro, sviluppando interazioni reciproche.	Insieme, indissolubilmente interrelato, costituito da una comunità di organismi animali e vegetali e dall' ambiente fisico in cui essa vive.

Dalle definizioni date dai due Zingarelli appare evidente quanto sia recente l' interesse per questi argomenti.
In realtà poi, esso si è manifestato in forma sensibile solo dagli anni '60.
E' vero che, a quei tempi, non si parlava neppure di elettronica e si telefonava con fatica in interurbana mentre ora l' elettronica è dappertutto e lo sviluppo della comunicazione ha completamente mutato il panorama economico ed il nostro stesso modo di vivere.
Ma il bisogno di comunicare e di creare strumenti operativi sempre più efficaci erano connaturati al nostro modo di essere e profondamente radicati nella nostra cultura.
Qui, invece, non si tratta di sviluppare e usare tecnologia ma di assimilare un nuovo modo di rapportarsi all' ambiente in cui viviamo, addirittura contrastante con quello che avevamo sempre ritenuto naturale e giusto :

> **E Dio li benedì e disse loro :"Prolificate, moltiplicatevi e riempite il mondo, assoggettatelo e dominate sopra i pesci del mare e su tutti gli uccelli del cielo e sopra tutti gli animali che si muovono sopra la terra"**
>
> **(Genesi1,28)**

Questo è scritto nel testo che sta alla base delle culture ebraica, cristiana e mussulmana, quelle cioè che hanno dominato lo sviluppo del mondo attuale.
Si tratta quindi, alla base, di un problema di etica, su cui ferve tuttora una intensa discussione a livello teorico.
In realtà "dominare" non significa stravolgere o distruggere ma l' istinto di tutte le specie, ed anche di quella umana, è di espandersi a spese delle altre e dell' ambiente. Se osserviamo un ecosistema, vediamo che il suo equilibrio è frutto di una continua lotta fra le diverse specie, man mano insediatesi in quello spazio, che tendono a sfruttare il proprio ambiente per espandersi e che, in questo, si limitano reciprocamente.
Manifestazioni di autolimitazione si manifestano solo in caso di evidente mancanza di risorse (cibo, spazio, etc.), cioè per costrizione.
Ed è quello che ci sta succedendo !
Lo sfruttamento umano dell' ecosistema Terra non può più continuare con gli stessi schemi del passato senza causare pesanti ripercussioni sulla stessa specie umana :

Quantità giornaliere attuali

- Perdita di 300 Km^2 di foresta pluviale
- 190 Km^2 di desertificazione
- Perdita di circa 40-100 specie viventi
- Aumento di popolazione di 250.000 unità
- Aumento di concentrazione di idrocarburi alogenati di 2.700 tonnellate
- Emissione di CO_2 di 15 milioni di tonnellate

(Da : The Campaign for Political Ecology-On Ecological Ethics: A Critical Introduction (Patrick Curry)

Su questo punto almeno c' è un sostanziale accordo.
Più difficile è invece concordare le necessarie nuove modalità di relazione Uomo-Ambiente ed attuarle.
Ci vorrà molto tempo prima di arrivare ad una soluzione equilibrata e condivisa, soprattutto tenendo conto degli enormi interessi economici e problemi sociali coinvolti.

Oltre al basilare problema filosofico, c' è poi da considerare quello della conoscenza scientifica degli effetti causati dalle azioni sull' ambiente e quello dell' approccio metodologico.
Ricordiamo che l' oncogenicità di alcuni prodotti chimici, così come l' effetto distruttivo dei cloro-fluorocarburi sulla fascia di ozono, sono stati rilevati solo "a posteriori".
Con la tecnologia che si evolve con andamento esponenziale, il numero di nuovi prodotti e nuovi comportamenti che appaiono, e la velocità con cui appaiono, sono tali da rendere estremamente difficile determinarne gli effetti e le interazioni.
Le valutazioni devono poi essere effettuate con un approccio rigoroso e scientifico, scevro da pregiudizi e condizionamenti d' altro genere.

È "ecologico" o no ?

La tendenza di molti "ambientalisti" è di demonizzare tutto ciò che è tecnologico, specie se chimico.
Quella di molti "modernisti" è di ritenere qualunque problema risolvibile con l' opportuna tecnologia.
I primi dimenticano, per esempio, il contributo della scienza e della tecnologia alla lunghezza e qualità di vita attuali (nel mondo occidentale).

I secondi dimenticano che, come dicono i medici, è meglio prevenire che curare e che la cura non sempre c' è.
Entrambi, generalmente, sembrano dimenticare che, per poter con certezza condannare o accettare qualcosa, ci vuole una completa conoscenza dei suoi effetti.
Un piccolissimo, ma molto significativo esempio di superficialità ecologica è rappresentato nella figura qui accanto:
La zona dell' Appennino in questione è coperta di bosco misto : castagno, quercia, pino, faggio, carpino, frassino, etc., con una certa abbondanza di begli agrifogli.
Secondo la legge regionale, l' agrifoglio è specie protetta, per difenderlo giustamente dai saccheggi natalizi : non se ne può tagliare nemmeno un esemplare, anche in occasione del taglio del bosco.
Alcuni anni fa, vennero immessi nella zona dei caprioli (specie non autoctona), per "arricchire" l' ambiente, con divieto assoluto di abbattimento anche a scopo limitativo.
Osservando una zona di bosco tagliata da due anni, si può notare come le ceppaie di faggio, quercia e altre piante non abbiano potuto rivegetare, a causa della costante brucatura dei germogli, mentre ricresce il castagno e soprattutto, dato il suo carattere infestante, l' agrifoglio.
Il bosco quindi rinascerà completamente mutato ed impoverito.
Due provvedimenti presi in buona fede, senza interessi economici alle spalle, solo per il bene dell' ambiente, lo hanno in realtà danneggiato.

Cosa si può fare... e come

l' Agenda 21 (Guida allo sviluppo socialmente, economicamente ed ecologicamente sostenibile), ratificata nel 1992 al vertice di Rio su Ambiente e Sviluppo, invitava le singole Nazioni e le Comunità ad attuare politiche e programmi per raggiungere un *equilibrio sostenibile* tra consumo, situazione demografica e reali potenzialità del pianeta.
Con il termine ***sviluppo sostenibile*** si indica :

SVILUPPO SOSTENIBILE

miglioramento della qualità della vita umana senza eccedere la capacità produttiva e recettiva degli ecosistemi

- riconoscimento del limite rappresentato dalle risorse naturali e dalla loro capacità riproduttiva
- utilizzazione della porzione rinnovabile delle risorse con un ritmo che consenta loro di riprodursi
- utilizzazione della porzione non rinnovabile delle risorse tenendo conto della loro esauribilità

Si tratta evidentemente di una posizione antropocentrica, giacchè, in sostanza, dice :
"difendiamo l' ambiente per evitarci guai futuri"
A un "non integralista" appare però del tutto naturale. E' la risposta, armonica con le caratteristiche della nostra specie, alla percezione di una situazione di prossima crisi.

A seguito della risoluzione del vertice di Rio, la Comunità Europea ha emanato il 5°

Programma a favore dell'Ambiente e per uno Sviluppo Sostenibile (1993), che si basa su quattro punti fondamentali:

a) migliorare la gestione delle risorse, al fine di ridurne il prelievo e la dispersione
b) sviluppare una normativa tecnica comunitaria per i processi produttivi e per i prodotti, basata sul miglioramento continuo delle loro prestazioni ambientali
c) aumentare l'informazione per rendere le scelte dei consumatori uno strumento più efficace di orientamento del mercato
d) accrescere la fiducia del pubblico nei confronti delle attività produttive trasparenti sul piano ambientale, del sistema dei controlli volontari e della qualità dei prodotti

Si tratta di un' impostazione nuova, non più basata solo sulla fissazione di norme restrittive e vincolanti per determinate attività o prodotti (incentrate sul controllo dell' inquinamento e dei danni ambientali emergenti), ma volta a generare un nuovo modello eco-responsabile di gestione delle attività.

Strumenti principali per l' attuazione della suddetta politica sono :
- **Regolamento UE 880/92 (Ecolabel)**
- **Regolamento UE 1836/93 (EcoManagement and Auditing Scheme - EMAS)**

Il primo riguarda la qualificazione delle caratteristiche ambientali dei prodotti, il secondo quelle dei siti produttivi.

Inoltre, sempre a seguito ed in armonia con la risoluzione di Rio, nel 1993, la International Organization for Standardization (ISO)[1] ha iniziato l' elaborazione delle :
- **Norme Ambientali ISO 14000**

Intese come linee guida generali e condivise a livello mondiale per un comportamento eco-responsabile.
Queste norme vengono recepite dal Comitato Europeo di Normazione (CEN)[2], come normativa comunitaria.
Anch' esse si possono dividere in due gruppi, relativi alla qualificazione di prodotto ed alla qualificazione dei siti.

Questa differenziazione non è una sottigliezza per intenditori ma è fondamentale, come vedremo meglio in seguito.
Non è detto infatti che un prodotto ottenuto con un processo a basso impatto ambientale non determini nel suo ciclo di vita impatti più elevati di altri, così come non è detto che un sito produttivo o un' attività, per quanto di impatto non elevato, non siano migliorabili.

Qualificazione ambientale di siti e organizzazioni

EMAS
Il Regolamento Comunitario 1836/93 EMAS istituisce un sistema europeo di ecogestione e audit per la valutazione e il miglioramento dell'efficienza ambientale delle attività industriali e per la presentazione al pubblico dell'informazione relativa.

---

1) Federazione mondiale degli organi di unificazione (non governativa), in cui l' Italia è rappresentata dall' UNI
2) Federazione europea degli organi di unificazione (non governativa), in cui l' Italia è rappresentata dall' UNI

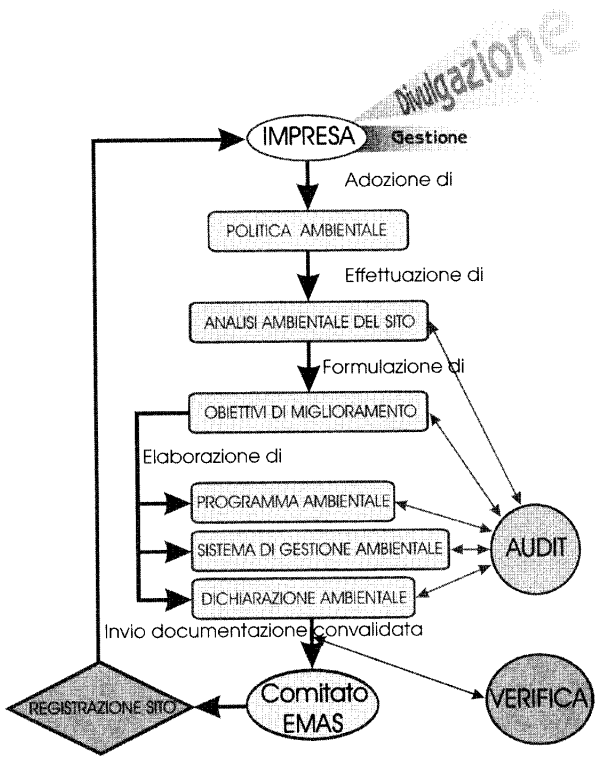
Si pone l'obiettivo di :

- **ridurre ai minimi livelli possibili l'inquinamento derivante da un sito industriale**
- **garantire una buona gestione delle risorse di energia e materie prime.**

Tramite :

a) Introduzione e attuazione, da parte delle imprese, di politiche, programmi e sistemi di gestione dell'ambiente in relazione ai loro siti
b) Valutazione sistematica, obiettiva e periodica dell'efficienza di tali elementi
c) Informazione del pubblico sull'efficienza ambientale

La procedura per ottenere la Registrazione EMAS di un sito è rappresentata nella seguente figura:



L' Azienda deve :

a) Adottare una politica ambientale relativamente al sito, fondata sull' impegno verso un costante miglioramento dell'efficienza ambientale
b) Effettuare un'analisi ambientale del sito esaminando tutti gli aspetti dell' attività
c) Fissare, al più elevato livello appropriato di direzione, obiettivi ragionevoli e coerenti con la politica ambientale assunta. Per "ragionevoli" si intende compatibili con l'applicazione economicamente praticabile della migliore tecnologia disponibile
d) Introdurre, alla luce dei risultati di tali analisi, un programma ambientale per il sito e un sistema di gestione ambientale applicabile a tutte le attività svolte nel sito. Il programma ambientale deve essere volto al conseguimento degli obiettivi definiti
e) Effettuare o far effettuare audit ambientali nel sito in questione

f) Elaborare una dichiarazione ambientale specifica per ciascun sito sottoposto ad audit
g) Far esaminare da un Verificatore accreditato indipendente la politica, il programma, il sistema di gestione, la procedura di analisi o di audit e la dichiarazione o le dichiarazioni ambientali al fine di accertarne la conformità al regolamento e far convalidare le dichiarazioni ambientali
h) Comunicare le dichiarazioni ambientali convalidate all' Organismo competente dello Stato membro in cui è situato lo stabilimento. Tale Organismo, accertato che il sito soddisfi tutte le condizioni imposte dal Regolamento, lo registra e gli conferisce un numero di registrazione
i) Portare alla conoscenza del pubblico in modo appropriato, nello Stato membro interessato, la dichiarazione Ambientale e la registrazione

L' adesione ad EMAS è volontaria ed il sistema è aperto alle imprese che gestiscono uno o più siti in cui si svolge un'attività industriale.
Dall'anno 2000, tutti i settori di attività economica potranno partecipare allo schema EMAS (compresi quindi alberghi, banche, servizi ed enti pubblici etc.).

L'organizzazione dell'EMAS è gestita in Italia dal **Comitato Ecolabel Ecoaudit - Sezione Emas Italia, presso ANPA[3]/Ministero dell'Ambiente-Via Vitaliano Brancati 48-00144 ROMA**
Il Comitato è articolato in due Sezioni (Ecolabel ed Emas Italia) ed è composto da rappresentanti dei Ministeri dell'ambiente, dell'industria, della sanità e del tesoro, nominati con DM 12.11.96 ; si avvale del supporto tecnico dell'ANPA e svolge anche le funzioni di accreditamento e controllo dei Verificatori Ambientali.

Il Regolamento EMAS è in sostanza una guida per l' istituzionalizzazione di procedure finalizzate ad un' oculata gestione delle risorse e all'uso delle migliori tecnologie disponibili.
Come le norme ISO 9000 e ISO 14000, esso non pone dei vincoli o traguardi assoluti, ma delle linee guida e metodologie per la formulazione, da parte delle Aziende, delle politiche, degli obiettivi ambientali e dei relativi programmi e per la gestione operativa e l' esecuzione dei controlli e degli auditing.
Non è obiettivo di EMAS fare e far rispettare le norme di legge sulle emissioni e cose simili.
L' obiettivo è stimolare e guidare il sistema produttivo verso un comportamento eco-responsabile.
Come nella pianificazione economica è scontato che si tenda verso il massimo risultato di utile, anche se nessuna legge lo impone, così nella pianificazione ambientale si dovrebbe tendere verso il miglior risultato, anche al di là dei vincoli di legge (che vanno comunque rispettati).
Giacchè lo scopo di un' Azienda è la creazione di utile, la sua adesione volontaria ad un certo tipo di comportamento non può essere contraria a tale scopo.
Il Regolamento EMAS prevede a questo proposito dei sostegni alle Aziende iscritte.
Non è ora il caso di discutere se quanto è attualmente previsto sia un incentivo sufficiente.
Certo è che un buon sistema di pianificazione-gestione-auditing su di un' area, magari fin lì trascurata, porta sempre alla luce costi indebiti e sprechi.
Un aspetto importante del Regolamento sta nel fatto che :
politica, programmi e obiettivi ambientali devono essere verificati e aggiornati periodicamente e l'opinione pubblica deve essere informata sull'efficienza ambientale del sito industriale.
Ciò ha lo scopo di rendere trasparenti, apprezzabili e controllabili dal "pubblico" in contatto con il sito (popolazione dei centri abitati limitrofi, associazioni ambientali, sindacati, enti pub-

3) Agenzia Nazionale per l' Ambiente

blici e privati, etc.) l'impegno e l' attività dell'Azienda per una corretta gestione ambientale.
Da un lato, quindi, si impegna pubblicamente l' Azienda a fare piani seri ed a rispettarli e dall' altro si responsabilizza l' ambiente circostante al controllo. Il tutto sulla base di un documento scritto, ufficializzato e pubblicamente divulgato.

Politiche, obiettivi e programmi ambientali
La politica ambientale deve mirare a migliorare costantemente l'efficienza ambientale.
Politica, obiettivi e programma devono essere stabiliti per iscritto e deve essere indicato come il programma ambientale e il sistema di gestione del sito siano connessi alla politica e ai sistemi dell'impresa nel suo insieme.
Devono essere trattati i seguenti aspetti:
1. Valutazione, controllo e riduzione delle incidenze dell'attività in questione sulle varie componenti dell'ambiente
2. Gestione, risparmio e scelte di fonti energetiche e materie prime; gestione e risparmio dell'acqua
3. Riduzione, riciclaggio, riutilizzazione, trasporto e smaltimento dei rifiuti
4. Valutazione, controllo e riduzione del rumore all'interno e all'esterno dello stabilimento
5. Scelta dei nuovi processi di produzione e modifiche dei processi di produzione
6. Gestione dei prodotti (progettazione, imballaggio, trasporto, uso e smaltimento)
7. Efficienza e prassi ambientali di appaltatori, subappaltatori e fornitori
8. Prevenzione e riduzione degli incidenti ambientali
9. Definizione di apposite procedure di emergenza qualora si verifichino incidenti ambientali
10. Informazione e formazione del personale riguardo ai problemi ambientali.
11. Informazione esterna riguardo ai problemi ambientali.

La politica ambientale deve essere periodicamente riesaminata ed eventualmente corretta, al più alto livello di direzione. Essa deve essere comunicata al personale dell'impresa e resa disponibile al pubblico.

Dichiarazione ambientale
La dichiarazione ambientale viene redatta in seguito all'analisi ambientale iniziale e al completamento di ogni audit o ciclo di audit successivo. Ciascuna dichiarazione deve evidenziare le variazioni di rilievo rispetto alla dichiarazione precedente.
In relazione alle caratteristiche del sito, il Verificatore può inoltre richiedere che venga elaborata annualmente, negli anni intermedi, una dichiarazione ambientale semplificata.
Tali dichiarazioni semplificate saranno convalidate solo alla fine dell'audit o ciclo di audit.
Essendo concepita per il pubblico, la dichiarazione deve essere redatta in forma concisa e comprensibile. Possono esservi allegati documenti tecnici.
Essa comprende in particolare i seguenti elementi:
a) Descrizione delle attività dell' impresa nel sito in questione
b) Valutazione di tutti i problemi ambientali rilevanti connessi con tali attività
c) Compendio dei dati quantitativi concernenti le emissioni inquinanti, la produzione di rifiuti, il consumo di materie prime, di energia e acqua, il rumore e, se del caso, altri aspetti ambientali rilevanti
d) Presentazione della politica, del programma e del sistema di gestione dell'ambiente
e) Scadenza per la presentazione della dichiarazione successiva
f) Nome del Verificatore Ambientale accreditato

Audit e convalida
L'audit ambientale interno di un sito può essere effettuato da revisori dell'impresa, oppure da persone od organismi esterni che operano per conto dell'impresa.

La frequenza degli audit è fissata in funzione delle caratteristiche del sito e, in ogni caso, ad intervalli non superiori a tre anni.
Le politiche, i programmi e i sistemi di gestione, le procedure di analisi o di audit e le dichiarazioni ambientali sono esaminati da un Verificatore Ambientale accreditato indipendente, al fine di accertarne la conformità alle esigenze del Regolamento.
In caso di verifica positiva, il Verificatore convalida la dichiarazione ambientale.

Il Verificatore accerta che:
a) Sia stata fissata la politica ambientale e che essa soddisfi le esigenze del Regolamento
b) Il programma e il sistema di gestione ambientali siano stati stabiliti e siano operativi nel sito e che essi siano conformi alle esigenze del Regolamento
c) L'analisi e l'audit ambientali siano svolti in conformità alle esigenze del Regolamento
d) I dati e le informazioni contenuti nella dichiarazione ambientale siano attendibili e che la dichiarazione includa in modo adeguato tutte le rilevanti questioni ambientali relative al sito

ISO 14000
Riportiamo il quadro normativo attuale, disponibile presso UNI, riguardante i Sistemi di gestione Ambientale e l' Audit :

UNI EN ISO 14001 (1996)
Sistemi di Gestione Ambientale - Requisiti e guida per l'uso
UNI ISO 14004 (1997)
Sistemi di Gestione Ambientale - Linee guida generali su principi, sistemi e tecniche di supporto
ISO 14031 (1999)
Gestione Ambientale - Valutazione delle Performance Ambientali - Linee Guida
ISO 14032 (1999)
Gestione Ambientale - Esempi di Valutazione delle Performance Ambientali
UNI EN ISO 14010 (1996)
Linee guida per l' Audit Ambientale - Principi Generali
UNI EN ISO 14011 (1996)
Linee guida per l' Audit Ambientale - Procedure di Audit. Audit dei Sistemi di Gestione Ambientale
UNI EN ISO 14012 (1996)
Linee guida per l' Audit Ambientale - Criteri di qualificazione per gli Auditor ambientali

Guide e supporti

ISO TR 14061 (1998)
Informazioni per assistere le Organizzazioni della silvicoltura all' uso del Sistema di Gestione Ambientale

La norma **ISO 14001** specifica come deve essere organizzato un sistema di gestione ambientale (Environmental Management System - EMS) per consentire ad un' Azienda di formulare una politica ambientale e stabilire degli obiettivi di miglioramento delle proprie prestazioni ambientali.
Essa si applica a quegli aspetti ambientali significativi, sui quali l'Azienda può esercitare un controllo ed attuare modifiche.
Non prende in considerazione alcun criterio specifico di prestazione ambientale al di fuori dell'impegno di essere conformi alla legislazione ed al principio del **miglioramento continuo**.
La norma è rivolta a tutte le organizzazioni che desiderino :

– applicare, mantenere attivo e migliorare un sistema di gestione ambientale
– assicurarsi di ottemperare alla propria politica ambientale
– effettuare una auto valutazione o un' auto dichiarazione di conformità alla norma stessa
– richiedere la certificazione del proprio sistema di gestione ambientale presso un Organismo Accreditato

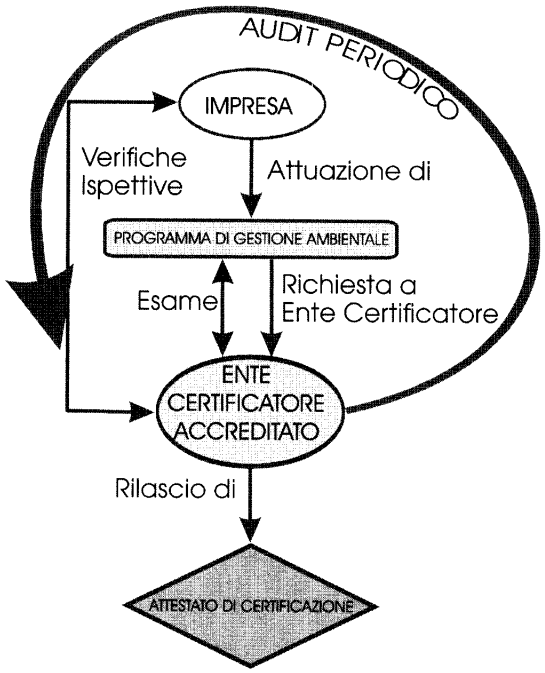
Essa indica le modalità generali con cui l' Azienda deve :
- Definire la propria politica ambientale
- Stabilire e mantenere procedure idonee ad individuare le aree controllabili su cui agire
- Attivare procedure idonee a seguire le prescrizioni legali
- Stabilire traguardi
- Impostare ed attuare programmi di intervento e di Audit
- Assegnare le responsabilità, definire le risorse e la formazione

In fase di pianificazione, qualora l' Azienda non avesse in precedenza un sistema di gestione ambientale, deve essere effettuata un' analisi ambientale.
E' da sottolineare che la conformità alle norme non significa automaticamente che l' esercizio del sito abbia un basso impatto ambientale. Questo infatti dipende dalla situazione specifica e dallo stadio di evoluzione del sistema di gestione.

La norma **ISO 14004** rappresenta una guida utile per la gestione ambientale, con esempi e descrizioni dettagliate per lo sviluppo e l'implementazione di un Sistema di Gestione Ambientale ed i princìpi chiave per coordinarlo con gli altri sistemi del management.

Le norme **ISO 14031** e **14032** forniscono una descrizione del metodo di gestione della valutazione delle prestazioni ambientali di un' Azienda (Environmental Performances Evaluation-EPE). In particolare la 14032 dà esempi di applicazione del metodo in tipi diversi di organizzazione, dal piccolo mobilificio, alle Ferrovie Statali, dalla lavanderia alla multinazionale petrolchimica.
La norma **ISO 14010** stabilisce i principi generali applicabili a qualunque tipo di audit ambientale, definito come processo di verifica, sistematico e documentato, per conoscere e valutare oggettivamente se determinate attività riguardanti l'ambiente, avvenimenti, condizioni, sistemi di gestione, obiettivi della politica o informazioni ad esso riferite, sono conformi ai criteri di audit e per comunicare al cliente i risultati di tale processo.
La conformità di un' Organizzazione o di un sito alle norme ISO 14000 può essere certificata da un Organismo accreditato dal Sistema Nazionale di Accreditamento (in Italia il SINCERT)[4].
La certificazione può essere effettuata nell' ambito dell' intera organizzazione o in singole unità operative.
La procedura di certificazione è schematizzata nella figura che segue.

4) Associazione di cui fanno parte UNI e CEI (promotori), Min. Industria, CNR, ENEA e altri.- via Ripamonti 89, Milano



EMAS vs. ISO

La registrazione EMAS serve a garantire il "pubblico circostante un sito europeo" (popolazione centri abitati limitrofi, associazioni ambientali, sindacati, enti pubblici e privati ecc.) riguardo all'impegno dell' Azienda per una corretta gestione ambientale.
Tale garanzia è assicurata dalla Comunità tramite il suo Organo nazionale competente (governativo).
La certificazione di conformità alla norma UNI EN ISO 14001 da parte di un Ente certificatore riconosciuto dal sistema di certificazione (non governativo) assicura ad un qualunque Cliente in qualsiasi Paese l' impegno dell' Azienda per l'ambiente e la sua conservazione.

Principali differenze tra i due sistemi

	ISO 14001	**EMAS**
Oggetto	Organizzazione/sistema	Siti produttivi
Standard	di gestione	di gestione e performance
Ambito territoriale	in tutto il mondo	solo in Europa
Destinatari	si applica a qualsiasi organizzazione, pubblica o privata	si applica solo ai siti industriali
Funzione dell'audit	strumento di controllo di gestione con periodicità non predefinita	strumento di controllo di gestione con periodicità predefinita
Obiettivi	mercato	Pubblica Amministrazione mercato
Vincoli istituzionali	attualmente autonomo dall'operato di organismi pubblici	dipendente dall'attività di soggetti accreditati dall' Organo nazionale competente
Tipo di procedimento	modalità semplificate della documentazione del Sistema di Gestione Ambientale	dichiarazione ambientale vincolante e certificata obbligatoriamente dal competent body nazionale

(da : "Environment Park s.p.a. - Parco Scientifico Tecnologico per l'ambiente Via Livorno 60 - 10144 Torino)

In sostanza, al di là degli aspetti, diciamo, burocratici, si tratta di due sistemi che hanno lo stesso obiettivo e, affrontando la medesima problematica, hanno fondamenti tecnico-scientifici e meccanismi operativi simili.

Nella tabella seguente è indicato il numero di organizzazioni certificate EMAS e ISO 14001 nei principali Paesi europei:

PAESE	n° siti registrati EMAS	n° imprese certificate ISO
Germania	1.785	1.460
Austria	185	200
Regno Unito	71	1.009
Irlanda	6	95
Danimarca	108	350
Svezia	146	850
Norvegia	56	90
Finlandia	27	214
Olanda	22	475
Belgio	9	130
Lussemburgo	1	0
Francia	32	367
Italia	21	166
Spagna	37	309
Portogallo	0	0
Grecia	1	0
Totali	2.507	5.715

Fonte: EMAS Helpdesk, Settembre 1999
Fonte:www.ecology.orip/isoworld, set. 1999

Il sistema di certificazione ISO è inoltre molto esteso nei Paesi asiatici (2531 Aziende in Giappone, 506 a Taiwan, 463 in Corea, 178 in Thailandia, 117 in India) ma relativamente poco in USA (520 Aziende).

Da ISO 14000 a EMAS

Il Regolamento EMAS stabilisce che, se un' Azienda applica norme nazionali, europee o internazionali per i sistemi di gestione dell' ambiente e audit certificate, secondo appropriate procedure di certificazione, gli aspetti regolamentati da tali norme siano considerati conformi alle corrispondenti esigenze previste dal regolamento stesso, a condizione che:

a) Le norme e le procedure siano riconosciute dalla Commissione
b) La certificazione sia effettuata da un organismo il cui accreditamento sia riconosciuto nello Stato membro in cui è situato il sito

Le norme ed i criteri riconosciuti sono pubblicati nella Gazzetta ufficiale della Comunità europea. Per permettere la registrazione di tali siti nell'ambito del sistema EMAS, le Aziende devono comunque soddisfare le esigenze relative alla dichiarazione ambientale, compresa la convalida da parte del Verificatore Ambientale, ed alla registrazione.

Il Verificatore deve:

– Controllare che il certificato sia stato emesso nell'ambito di uno schema di accreditamento approvato
– Controllare che le aree coperte dalla certificazione siano le stesse di cui all'estensione della registrazione EMAS
– Assicurare che l'attuazione delle ISO 14000 comprenda tutti gli elementi elencati nel Regolamento EMAS
– Controllare che gli aspetti ambientali e gli impatti ambientali significativi individuati dall'impresa siano conformi alle prescrizioni del Regolamento EMAS
– Controllare che il sito abbia adottato provvedimenti per assicurare la conformità legislativa
– Controllare che il ciclo di audit sia completato ad intervalli non superiori a 3 anni e che gli audit siano mirati alla verifica delle prestazioni ambientali
– Assicurare che i dati contenuti nella dichiarazione ambientale siano una presentazione veritiera ed equilibrata delle prestazioni ambientali del sito e che la dichiarazione sia in accordo ai requisiti previsti nel Regolamento EMAS

Esistono una normativa CEN ed un manuale UNI in proposito :

CEN 12968 (1997)
Documento comparativo tra regolamento EMAS e norme ISO 14000
CEN 12969 (1997)
Uso delle norme ISO 14001, 14010, 14011, 14012 per gli obiettivi EMAS
Manuale UNI (1999)
Gestione Ambientale - Adesione al Regolamento CEE 1836/93 EMAS e norme ISO 14000

Qualificazione ambientale di prodotto

Valutazione del ciclo di vita
Per stabilire l' impatto ambientale di un prodotto (o servizio, o qualunque attività), è necessario ricorrere a metodi complessi di analisi che esaminino tutti gli effetti da esso causati.
Questa analisi viene definita Analisi del Ciclo di Vita (Life Cycle Analysis - LCA) ed è un sistema di contabilità che tende a determinare il costo ambientale delle attività umane.
La Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC), che ha impostato le linee guida per redigere una LCA[5], recepite nella norma ISO 14040, definisce LCA come :

"un processo oggettivo di valutazione dei carichi ambientali associati ad un prodotto, un processo o una attività, attraverso l'identificazione e la quantificazione dell' uso di energia e di materiali e del rilascio di rifiuti nell'ambiente, per valutare l'impatto di questi usi di energia e di materiali e dei rilasci nell'ambiente e per valutare ed attuare le opportunità di miglioramento ambientale.
La valutazione include l'intero ciclo di vita del prodotto, processo o attività, comprendendo l'estrazione e il trattamento delle materie prime, la fabbricazione, il trasporto, la distribuzione, l'uso, il riuso, la manutenzione, il riciclo e lo smaltimento finale".

5) Le norme ISO 14040 usano il termine Life Cycle Assessment (in forma abbreviata sempre LCA), che UNI traduce Valutazione del Ciclo di Vita.

La LCA dovrebbe esaminare in modo sistematico ed adeguato tutte queste fasi.
Purtroppo è una cosa tutt' altro che facile !
Spesso i termini LCA ed ECOBILANCIO vengono usati come sinonimi e si parla di LCA "dalla culla alla tomba", "dalla culla al cancello (della fabbrica)" o riferendosi a segmenti ancor più limitati della vita del prodotto.
E' chiaro che, se si vuol raffrontare due prodotti, si dovrà effettuare il primo tipo di analisi, mentre il secondo tipo potrà servire per selezionare il processo di produzione più sostenibile per un determinato prodotto.
Data la complessità di esecuzione di una LCA, è stato introdotto, anche a livello normativo, il concetto di *Campo di Applicazione*, cioè di una dichiarata limitazione dell' estensione dell' analisi, in relazione ai suoi scopi (ad esempio, l' ottimizzazione dell' imballo e trasporto di un prodotto).
A me sembra comunque più corretto intendere LCA in senso letterale, come analisi dell' intero ciclo di vita, dalla culla, anzi dal concepimento, alla tomba ed usare il termine più generale "Ecobilancio" per le analisi parziali, definendone i confini.
Come la stessa ISO 14040 dichiara, gli studi di LCA sono in fase iniziale ed il quadro metodologico e scientifico per la valutazione degli impatti è ancora in sviluppo.
Non esiste un unico metodo per eseguire una LCA, non esistono metodologie e modelli universalmente accettati per associare i dati di inventario a specifici pesi dell' impatto, e non esistono basi scientifiche per ridurre i risultati ad un unico *Voto Ambientale*.
La norma quindi raccomanda di adottare il grado di dettaglio e l' estensione temporale più consoni all' obiettivo ed al campo di applicazione scelti e di dichiarare e documentare campo di applicazione, assunzioni, descrizione dati e metodologie.

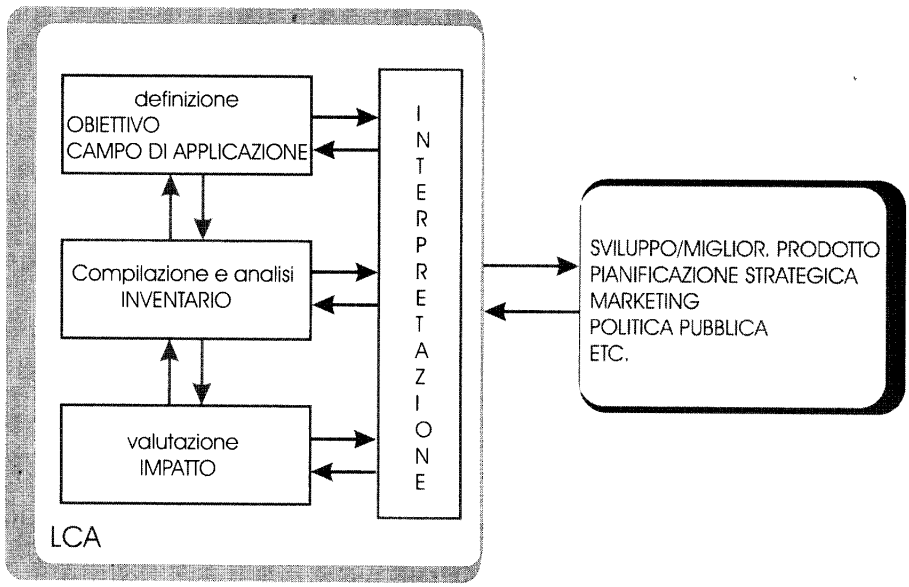
Quadro Normativo LCA
Riportiamo il quadro normativo attuale, disponibile presso UNI, riguardo alla valutazione del ciclo di vita di un prodotto :

UNI EN ISO 14040 (1998)
Gestione Ambientale - Valutazione del Ciclo di Vita - Principi e Quadro di riferimento
UNI EN ISO 14041 (1999)
Gestione Ambientale - Valutazione del ciclo di vita - Definizione dell' obiettivo e del campo di applicazione e Analisi dell'Inventario
ISO 14042 (2000)
Gestione Ambientale - Valutazione del ciclo di vita - Valutazione dell'impatto del ciclo di vita
ISO 14043 (2000)
Gestione Ambientale Valutazione del ciclo di vita - Interpretazione del ciclo di vita
ISO TR 14049 (2000)
Gestione Ambientale Valutazione del ciclo di vita - Esempi di applicazione della ISO 14041nella definizione degli obiettivi e del campo di applicazione dello studio e dell' analisi dell' inventario.

Guide e supporti

UNI ISO 14050 (1999)
Gestione Ambientale - Vocabolario
•ISO 14060
Guida per l'Inclusione degli Aspetti Ambientali negli Standard di Prodotto.

Struttura di una LCA
La ISO 14040 definisce le fasi costituenti una LCA :

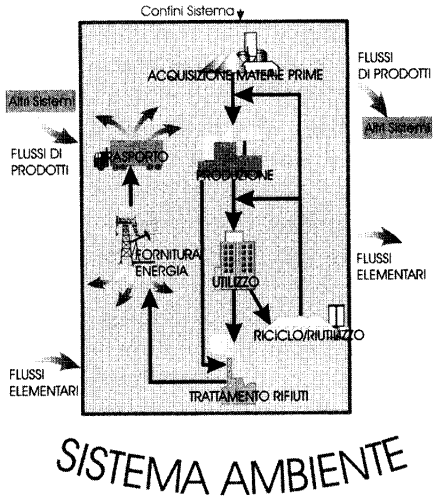


Definizione degli Obiettivi e del Campo di Applicazione dello studio
Una LCA può essere condotta per conseguire differenti **Obiettivi** :

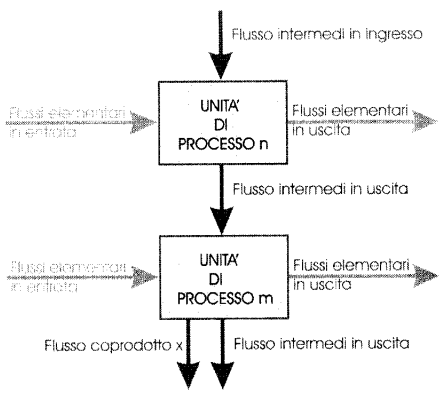
- Identificare i punti deboli di un prodotto nei diversi stadi del suo ciclo di vita e quindi le opportunità di miglioramento (di processo produttivo, prestazioni funzionali, fine vita, etc.)
- Confrontare le prestazioni ambientali di prodotti diversi
- Progettare nuovi prodotti
- richiedere l'Ecolabel

L' estensione dello studio da eseguire, e quindi la quantità di risorse da investire, variano in base agli obiettivi.
Questi perciò devono essere stabiliti con chiarezza in termini di motivazione dello studio e di prevista applicazione dei risultati.
In fase preliminare è necessario compiere analisi conoscitive (scoping) per individuare i punti chiave del ciclo, cioè le aree più critiche dal punto di vista ambientale ed energetico.
Il **Campo di Applicazione** deve essere definito in termini di :
Sistema Prodotto e suoi confini, che racchiudono tutte le unità di processo da considerare
Funzioni del Sistema Prodotto (o Sistemi, nel caso di studi di confronto)
Unità Funzionale, cioè l' entità unitaria riferita alla prestazione che viene assunta come riferimento, rispetto a cui vengono normalizzati i dati
Requisiti di qualità dei dati (tempo, luogo, origine, precisione, affidabilità, etc.)

Sistema Prodotto
La norma ISO 14041 definisce il "**Sistema Prodotto**" come :
Insieme elementare di unità di processo, connesse tra loro per quanto riguarda materia ed energia, che perseguono una o più funzioni definite (per prodotto si intende anche servizio) :



Il Sistema Prodotto è suddiviso in "**Unità di Processo**", ciascuna delle quali include tutte le attività relative ad un' operazione o ad un gruppo di operazioni:



Le Unità sono connesse tra di loro da flussi di prodotti, di intermedi, di residui da trattare e da flussi elementari[6] con altri Sistemi Prodotto e con l'ambiente.

La rappresentazione del Sistema Prodotto comporta una descrizione quantitativa delle unità di processo, dei flussi elementari e di prodotto attraverso i confini del sistema e dei flussi di intermedi all'interno del sistema.
Per una "vera" LCA, il Sistema dovrebbe essere configurato in modo che i flussi in entrata ed in uscita siano flussi elementari.
In relazione agli Obiettivi ed al Campo di Applicazione si operano, nella pratica, delle limitazioni.
Vanno in genere sviluppati dei modelli che descrivano gli elementi chiave del sistema, perché

6) cioè di materia e di energia prelevati dall' Ambiente (o scaricati nell' ambiente), senza alcuna preventiva (o ulteriore) trasformazione operata dall' uomo.
es., argilla e combustibili, energia eolica e solare; emissioni in aria e acqua, radiazioni.

non sarebbe materialmente possibile analizzare tutte le relazioni fra le unità di processo. La scelta degli elementi da usare nei modelli dipende dagli Obiettivi e dal Campo di Applicazione ipotizzati.

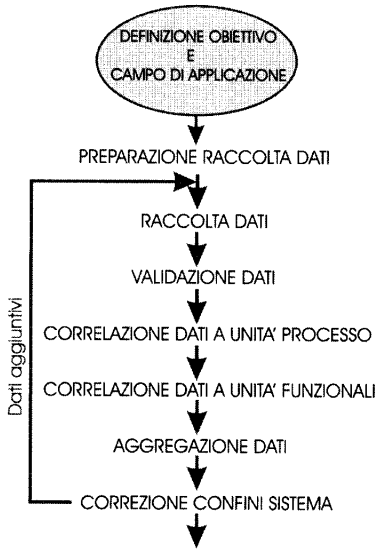
Funzioni e Unità Funzionale
Un Sistema Prodotto può avere più di una **Funzione** (prestazione caratteristica). Quella di riferimento sarà scelta in base agli obiettivi.
Scopo principale dell' **Unità Funzionale** è fornire un punto di riferimento per l'omogeneizzazione dei flussi.
La comparazione tra sistemi dovrà essere fatta in base alle stesse funzioni, misurate in base alla stessa unità funzionale nella forma di flussi di riferimento equivalenti.
(Es.: nel caso di due funzioni "asciugamento mani" si possono paragonare asciugamani di carta e asciugatori elettrici; l'unità funzionale saranno le "mani asciugate". Nel primo caso il flusso di riferimento seguirà il peso della carta consumata, nel secondo probabilmente l'energia consumata).
La norma ISO TR 14049 dà una serie di esempi sulla definizione delle funzioni, dei flussi di riferimento e delle unità di processo.
Ne riportiamo uno, riguardante una pittura per pareti :

funzioni	protezione decorazione
funzione rilevante (in relazione all' obiettivo dello studio)	protezione
unità funzionale	20 m^2 - opacità 98% - durata 5 anni
prestazioni del prodotto	8, 7 m^2/litro
flusso di riferimento	2,3 litri di prodotto

I dati di inventario del ciclo di vita del prodotto in questione saranno quindi normalizzati in rapporto a 2,3 litri.

Inventario

- Sempre secondo la ISO 14041, la fase di inventario (di ciò che,di rilevante,.entra ed esce da un Sistema Prodotto) deve seguire lo schema seguente :



La **raccolta dei dati** presuppone la conoscenza completa e dettagliata di tutte le unità di processo. I dati devono essere descritti (se rilevati direttamente, se calcolati, e come, se di letteratura, etc.)
Devono anche essere definiti i procedimenti di calcolo (ad esempio, per l' energia elettrica, la composizione delle fonti, le efficienze di produzione, trasmissione e distribuzione).
Ecco perché luogo e tempo sono parametri determinanti per la significatività dei dati.
Attraverso bilanci di massa ed energia e comparazione dei fattori di emissione, i dati debbono poi essere **validati**, cioè verificati e corretti.
I dati vengono poi **correlati** alle Unità di Processo, stabilendo l' opportuna unità di misura e, nel caso, un criterio di ripartizione (allocazione), come nella contabilità industriale.
La norma ISO TR 14049 dà esempi di costruzione dell' inventario, di allocazione e di trattamento delle opzioni di riuso e riciclaggio.

I dati vengono quindi **normalizzati** rispetto all' Unità Funzionale ed infine **aggregati** in categorie omogenee :
– Energia
– M.Prime
– Prodotti
– Emissioni in aria
– Emissioni in acque
– Rifiuti solidi
– Etc.

eventualmente ulteriormente suddivise.
Una volta consolidata la contabilizzazione, è necessario un esame per l' identificazione degli argomenti significativi e per la valutazione della completezza e qualità dei dati e delle scelte metodologiche, attraverso analisi di sensitività, in relazione agli obiettivi dello studio, da cui può derivare una correzione dei confini del Sistema Prodotto, di Funzioni del Sistema ed Unità Funzionali.
Questa **interpretazione** si sostanzia in un rapporto contenente conclusioni e raccomandazioni.

Valutazione dell' Impatto del Ciclo di Vita (LCIA)
E' la 3° fase della LCA , la più delicata, ed ha lo scopo di stabilire la portata degli impatti rilevati dai risultati dell' inventario.
Il quadro metodologico per questo è ancora in corso di sviluppo, la norma ISO 14042 ne indica le linee guida, i fattori chiave e le limitazioni.
Vediamo innanzitutto alcune definizioni :

- **Categoria di Impatto** : Classe che rappresenta il tipo di problematica ambientale (environmental issue of concern) a cui l' impatto può essere assegnato.
- **End Point di Categoria** : Attributo o aspetto dell' ambiente, della salute o delle risorse che identifica un tipo di problematica ambientale.
- **Indicatore di Categoria** : Rappresentazione quantificabile di una categoria di impatto.
- **Meccanismo Ambientale** : Sistema di processi fisici, chimici e biologici che lega un impatto, risultante dall' inventario, all' indicatore di categoria ed all' end point di categoria.
- **Fattore di caratterizzazione** : Fattore di calcolo ricavato da un **modello di caratterizzazione**, usato per convertire i risultati dell' inventario del ciclo di vita ad una unità di misura comune per ciascun indicatore di categoria.

Cioè:

Ad esempio, considerando il risultato di inventario "emissione di un gas a effetto serra" avremo:

– Categoria di Impatto	Modificazioni Climatiche
– Endpoint	Barriera corallina, foreste, raccolti
– Indicatore di Categoria	infrared radiative forcing (W/m2)
– Fattore di caratterizzazione	Potenziale di riscaldamento globale (Kg CO_2 equiv.)
– modello di caratterizzazione	Modello IPCC (Panel intergovernamentale modificazioni climatiche)
– Risultato indicatore	Kg CO_2 equiv.

Descrivere i parametri ecologici tramite indicatori presuppone la conoscenza di una relazione corretta fra la grandezza prescelta per indicare il fenomeno ed il fenomeno stesso.
Gli studi attualmente in corso mirano a definire un insieme di indicatori degli effetti ambientali globali, come ad esempio il buco nella fascia di ozono o l'effetto serra.
E' chiaramente necessario conoscere i meccanismi ambientali, che sono generalmente molto complessi.

Vediamone in sintesi estrema due esempi :

Smog fotochimico *(fattore di caratterizzazione Photochemical Ozone Creation Potential - POCP, Kg di etilene eq.)*
Le emissioni di biossido di azoto, per fotodissociazione dànno origine ad ossido di azoto ed ossigeno atomico, che si combina con le molecole di ossigeno dell' aria formando ozono negli strati bassi dell' atmosfera :

$$NO_2 + LUCE \text{ Æ } NO + O$$
$$O + O_2 \text{ Æ } O_3$$

L' ozono è di per se stesso tossico, inoltre in presenza di radicali ossidrili, provenienti dalla fotolisi dell' acqua e di idrocarburi, provenienti anch' essi dalle emissioni di combustione, dà luogo ad una serie di ossidazioni di questi ultimi ad aldeidi, chetoni, perossoaldeidi, etc., sostanze poco volatili che, in determinate condizioni climatiche possono condensare, dando luogo al cosiddetto "smog fotochimico", che ha effetti irritanti per gli occhi e le vie respiratorie.

Buco nella fascia di ozono *(fattore di caratterizzazione Ozone Depletion Potential - ODP, Kg di Freon 11 eq.)*
Le molecole di ossigeno, sotto l' azione di radiazioni ultraviolette di lunghezza d' onda inferiore a 240 nanometri (10^{-9} metri), si dissociano in atomi di ossigeno, molto reattivi, che si combinano con un' altra molecola, formando ozono :

$$O_2 \text{ Æ } 2\,O$$
$$O + O_2 \text{ Æ } O_3$$

L' ozono, a sua volta, viene decomposto dalle radiazioni ultraviolette a lunghezza d' onda compresa fra 240 e 300 nm :

$$O_3 \text{ Æ } O + O_2$$

In questo modo viene assorbita la frazione nociva di raggi ultravioletti.
La presenza di cloro-fluorocarburi interferisce nel processo.
Ad esempio :

$$\text{a)} \quad CFCl_3 \text{ Æ } CFCl_2\bullet + Cl\bullet$$

Cioè il tricloro-fluorometano, si fotodissocia dando due radicali liberi.
Il radicale cloro reagisce con l' ozono :

$$\text{b)} \quad Cl\bullet + O_3 \text{ Æ } ClO\bullet + O_2$$

Il radicale ossido di cloro, reagendo con l' ossigeno atomico, produce ossigeno molecolare e un radicale cloro che ricomincia il ciclo :

$$\text{c)} \quad ClO\bullet + O \text{ Æ } Cl\bullet + O_2$$

Cioè il radicale cloro funziona da catalizzatore della conversione di ozono in ossigeno, come si evidenzia sommando le reazioni b) e c) :

$$O_3 + O \text{ Æ } 2\,O_2$$

(Anche altri gas, come metano ed ossidi di azoto dànno luogo a meccanismi di distruzione dell' ozono)

Si osserva anche che uno stesso tipo di emissione è coinvolta in entrambi i casi, ad esempio gli ossidi di azoto che, tra l' altro, sono anche agenti acidificanti.

Ora, il risultato dell' inventario dice semplicemente la quantità di ossidi di azoto emessa durante il ciclo di vita di un prodotto, ma non quale porzione va ad intaccare la fascia di ozono e quale, restando negli strati bassi dell' atmosfera crea smog fotochimico o va ad acidificare le acque.
Oltre alla difficoltà di indagare i meccanismi quindi, c' è anche la necessità di creare dei modelli per descrivere gli effetti complessivi.

La valutazione dell' impatto del Ciclo di Vita si svolge in tre fasi :
1. Selezione delle Categorie e dei relativi Indicatori, Modello di caratterizzazione e End Point
2. Classificazione, cioè assegnazione degli impatti inventariati a specifiche Categorie
3. Caratterizzazione, cioè calcolo dell' indicatore per ciascuno degli impatti assegnati alla categoria

La serie di risultati così ottenuta costituisce il **Profilo di Impatto del Ciclo di Vita**.

Analogamente ai dati di inventario, viene quindi effettuata una revisione critica dei risultati della valutazione degli impatti, per individuare gli argomenti significativi, valutare la completezza, sensitività e consistenza dello studio ed assicurare che i metodi usati siano coerenti con le prescrizioni della norma ISO 14040 e con gli Obiettivi e siano scientificamente e tecnicamente validi e basati su dati appropriati (in caso di studi comparativi si raccomanda che sia effettuata da un Revisore esterno indipendente.
l' **interpretazione** in relazione agli obiettivi dello studio serve per individuare le opportunità di miglioramento, attraverso la riduzione dell' entità degli impatti.

Ecolabel
Le esperienze di eco-etichettattura sono numerose e già operanti da parecchi anni, sia in Paesi europei che extraeuropei :

Marchio	**Paese**	**Anno istituz.**
Blauer Engel	Germania	77
White Swan	Svezia, Norvegia, Islanda e Finlandia	89
NF Environnnement	Francia	92
Baume	Austria	91
Environmental Choice	Canada	88
Stichting Milieukeur	Olanda – Paesi Bassi	92
ASAOS	Grecia	
Eco Mark	Giappone	89
AENOR	Spagna	93
Green Mark	Taiwan (ROC)	92
Green Seal	USA	
The Thai Green Label	Tailandia	94
Green Label	Israele	
Environmental label of the	Croazia	96
Republic of Croatia		

(Elaborazione Osservatorio sulla Certificazione - Environment Park)

Questi marchi sono assegnati sulla base dei risultati di una LCA eseguita secondo i criteri che l' Ente certificatore ha stabilito per ciascun prodotto.
Dato che, come abbiamo visto, i criteri di conduzione e di definizione dei risultati di una LCA sono ancora attualmente non consolidati, è facile intuire la non confrontabilità delle suddette etichette.

Al fine di uniformare le diverse procedure, la Comunità Europea ha introdotto il sistema comunitario di etichettatura ecologica **Ecolabel**.
Il Reg. 880/92 CE, istitutivo dell'Eco-label, prevede che esso venga assegnato solo ai prodotti che superino una rigorosa analisi del loro ciclo di vita, dimostrando di ridurre al minimo l'impatto ambientale.
Il marchio di qualità ambientale attesta un grado di compatibilità ambientale del prodotto superiore a quello richiesto dagli standard legali.
L' Ecolabel mira a promuovere la progettazione, la produzione, la commercializzazione e l' uso di prodotti con minore impatto ambientale, evidenziando i prodotti più "puliti" ed informandone i consumatori, facendo così del rispetto dell'ambiente un fattore strategico e competitivo per l' Azienda produttrice.
Il consumatore è infatti messo in condizione di orientare, con le proprie scelte, le strategie produttive delle imprese, che dovrebbero così essere sempre più incentivate ad investire nella ricerca di prodotti o processi che garantiscano il minor impatto ambientale.
Il sistema è volontario e può aderirvi chi produce o commercializza per la prima volta in un Paese della Comunità un prodotto rientrante in un gruppo per il quale la Commissione europea abbia stabilito i criteri ecologici relativi.
Tali criteri riguardano l'intero ciclo di vita del prodotto, con riferimento alla quantità di rifiuti, all'inquinamento e al degrado del suolo, alla contaminazione dell'atmosfera, ai rumori, al consumo di energia, al consumo di risorse naturali e agli effetti sugli ecosistemi (vedi Allegato 1).
Attualmente sono definiti i criteri di assegnazione dell' Ecolabel per i seguenti prodotti :

PRODOTTO	**PUBBLICAZIONE SU G.U.**
Lavatrici	G.U.C.E. L 16 del 21.01.00
Frigoriferi	G.U.C.E. L 13 del 19.01.00
Carta per uso domestico	G.U.C.E. L 19 del 24.01.98
Lavastoviglie	G.U.C.E. L 216 del 04.08.98
Ammendanti	G.U.C.E. L 219 del 07.08.98
Materassi da letto	G.U.C.E. L 302 del 12.11.98
Vernici	G.U.C.E. L 5 del 09.01.99
Calzature	G.U.C.E. L 57 del 05.03.99
Tessili	G.U.C.E. L 57 del 05.03.99
Personal computer	G.U.C.E. L 70 del 17.03.99
Detersivi per lavatrici	G.U.C.E. L 187 del 20.07.99
Detersivi per lavastoviglie	G.U.C.E. L 167 del 02.07.99
Carta per fotocopie	G.U.C.E. L 210 del 10.08.99
Lampadine	G.U.C.E. L 216 del 14.08.99
Computer portatili	G.U.C.E. L 276 del 27.10.99

(Fonte: UE - DG XI)

Mentre sono in via di definizione i criteri per :

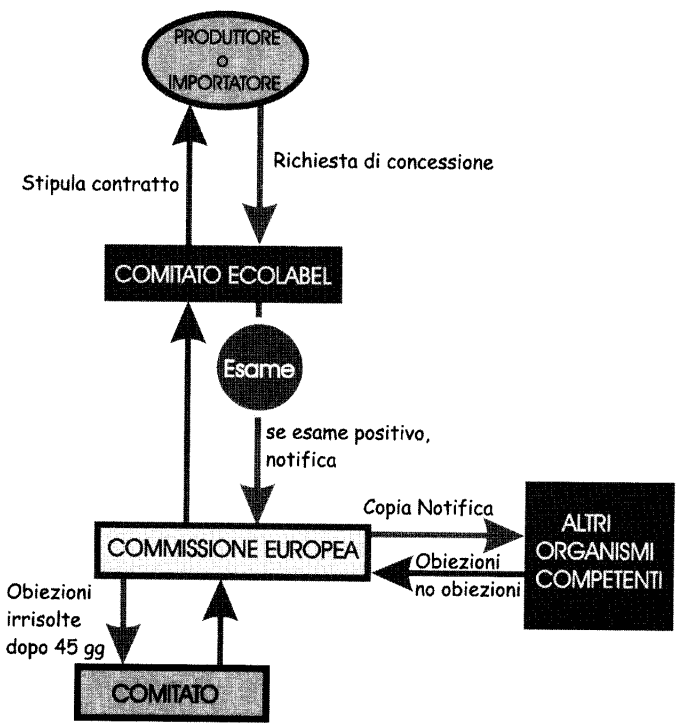
- prodotti di pulizia delle superfici
- prodotti per la pulizia dei sanitari
- detersivi liquidi per piatti
- gomme
- mobili
- aspirapolvere
- televisori
- piastrelle ceramiche
- pile per beni di consumo

- buste per spazzatura
- prodotti di carta convertiti

In previsione di uno sviluppo tecnologico del prodotto e/o delle relative norme, sono previste periodiche revisioni dei criteri (ogni 3-4 anni).

L' assegnazione dell' Eco-Label è gestita in Italia dal **Comitato Ecolabel Ecoaudit- Sezione Ecolabel-Italia, presso ANPA- Via Vitaliano Brancati 4800144 ROMA**
Tale Organismo Competente può anche proporre alla Commissione europea nuovi gruppi di prodotti.
I requisiti di idoneità dei laboratori abilitati ad eseguire l'accertamento tecnico preliminare indipendente a fini Ecolabel sono accertati dall 'Ispettorato tecnico del Ministero dell'industria.

Il marchio di qualità ambientale è attribuibile solo a beni di consumo destinati al consumatore finale e non a prodotti intermedi.
In ogni caso non può essere concesso a prodotti alimentari, farmaceutici, bevande, sostanze pericolose o fabbricate con processi che possono nuocere all'uomo o all'ambiente.
La procedura di concessione dell'Eco-label è rappresentata nella figura seguente:



a) L' Azienda presenta al Comitato Ecolabel-Ecoaudit la domanda di assegnazione del marchio, utilizzando l'apposito formulario, corredato dai documenti e certificati necessari alla valutazione tecnica di accertamento della rispondenza ai criteri previsti, rilasciati da laboratori indipendenti iscritti nello specifico elenco curato dal Ministero Ind. Comm. Art.
b) L' istruttoria tecnico-amministrativa è curata dall'ANPA, e deve essere espletata entro 60 giorni dal ricevimento della domanda
c) Il Comitato decide, entro 30 giorni dalla data di ricevimento della pratica, tenendo conto del parere dell'ANPA e comunica la propria decisione alla Commissione Europea, corredandola dei risultati completi della valutazione e di un sommario dei medesimi

d) Entro cinque giorni dalla notifica, la Commissione trasmette agli Organismi Competenti degli altri Stati membri copia della decisione e del sommario sopra menzionati nonché, a richiesta dei suddetti Organismi, copia dei risultati completi della valutazione
e) Dopo un periodo di 30 giorni dall'invio della notifica alla Commissione, il Comitato Ecolabel-Ecoaudit può procedere alla stipula del contratto sui diritti d'uso dell'etichetta Ecolabel
f) L' etichetta è assegnata per una periodo di produzione determinato, che non può comunque superare il periodo di validità di tre anni, salvo proroga
g) Qualora siano manifestate obiezioni non risolubili nel termine dei 30 giorni, la Commissione lo comunica al Comitato Ecolabel e, entro 45 giorni dalla data di ricevimento della decisione dell'organismo competente per l' assegnazione del marchio, presenta al comitato composto dai rappresentanti degli Stati membri e presieduto dal rappresentante della Commissione un progetto delle misure da adottare
h) Di conseguenza, il Comitato Ecolabel soprassiede alla stipula del contratto fino a quando il problema non sia risolto

Quadro normativo eco-etichettatura
Ecolabel è, come abbiamo già detto, un sistema di certificazione gestito da Enti governativi.
Da parte sua, ISO sta lavorando per elaborare norme unificanti sui procedimenti di etichettatura ambientale :

ISO 14020 (1998)
– Etichettatura Ambientale e Dichiarazioni - Principi Generali.
ISO 14021 (1999)
– Etichettatura Ambientale e Dicharazioni - Autodichiarazioni - (Etichettatura ambientale tipo II)
ISO 14024 (1999)
– Etichettatura Ambientale e Dichiarazioni - Etichettatura tipo I, Principi e Procedure
ISO TR 14025 (2000)
– Etichettatura Ambientale e Dichiarazioni - Dichiarazione tipo III

Sono in elaborazione :

•***ISO 14022***
– Etichettatura Ambientale - Simboli
ISO 14023
– Etichettatura Ambientale - Metodologie di Collaudo e Verifica

La **ISO 14021** ha lo scopo di armonizzare le modalità di autodichiarazione (cioè effettuata dal produttore o distributore del prodotto, senza certificazione da una Terza Parte indipendente), sia per quanto riguarda la terminologia sia per il tipo di documentazione, sia per la simbologia adottabile.
Ad esempio, essa richiede che non vengano usati termini privi di una possibilità di valutazione scientifica oggettiva (es. *sostenibile*).

La **ISO 14024** stabilisce i princìpi e le procedure per sviluppare un sistema di etichettatura, inclusa la selezione delle categorie di prodotti, i criteri ambientali, le caratteristiche e per stabilire e dimostrare la conformità.
Definisce anche le procedure di certificazione per la concessione dell' Etichetta.

La **ISO TR 14025** stabilisce princìpi, e modalità per redigere una dichiarazione di Analisi del Ciclo di Vita Ambientale di un prodotto, che deve essere verificata da un Ente indipendente, anche se non implica necessariamente un Ente di certificazione e deve ovviamente rispondere alle prescrizioni delle ISO 14040.

Commenti finali

Mentre il quadro, prima filosofico, poi scientifico e quindi normativo, se pur faticosamente, si va sviluppando, noi operatori dobbiamo comunque agire, utilizzando le conoscenze e le guide che attualmente esistono.

Tutto ciò che abbiamo visto può apparire macchinoso e, nella sua riconosciuta incertezza, poco incoraggiante.
Ma è, oggettivamente, quanto di meglio si possa fare.
Senza un rigoroso approccio scientifico, pur con tutte le sue attuali lacune di conoscenze, si rischia infatti, in tutta buona fede, di ripetere su vasta scala l' errore del capriolo e dell' agrifoglio.

Certo, come si diceva all' inizio, il problema di convertire il mondo ad un comportamento eco-sostenibile è tutt' altro che semplice.
Abbiamo capito che un risultato di LCA non è Verità Rivelata e quindi un Ecolabel od una certificazione di sito non significano assoluta sostenibilità ambientale (che peraltro è già una definizione di compromesso e del tutto priva di valore scientifico).
Sappiamo che non è facile valutare se sia peggiore l'emissione di tre Kg di inquinante A piuttosto che uno di inquinante B, e che, cambiando di luogo, e quindi di situazione ambientale e disponibilità tecnologiche locali, gli stessi dati di inventario e gli stessi criteri di valutazione degli impatti possono portare a risultati diversi.
Perciò non prenderemo per oro colato qualunque rivendicazione di eco-sostenibilità.
Sappiamo però che il possesso di una certificazione o di un Ecolabel indicano che quel sito produttivo o quel prodotto sono sulla strada giusta.
Una strada meno romantica delle "Marce per l' Ambiente" e meno divertente delle "Feste dell' Ambiente", peraltro indispensabili a portare alla ribalta i problemi.
Una strada che affronta pragmaticamente dei problemi complessi con il necessario rigore.
Se il mercato, cioè le nostre scelte, presteranno a questo aspetto la dovuta attenzione, l' impegno delle strutture produttive sarà assicurato.
Potremmo anche far esplodere il mercato dei prodotti eco-compatibili, se ci mettessimo lo stesso impegno che abbiamo avuto per riempirci di telefonini e di attrezzi elettronici sempre più nuovi e sofisticati!

GLOSSARIO

Allocazione (**Allocation or Partitioning** - *ISO 14040, par. 3.1): Ripartizione dei flussi in ingresso o uscita di un processo unitario appartenente al sistema-prodotto studiato*. Attribuzione, nel presente contesto, secondo regole e metodologie particolari, del carico di energia, di materiali e di emissioni corrispondente ad un output del sistema produttivo in esame.

Analisi degli impatti (**Life Cycle Impact Assessment** - *ISO 14040, par. 3.10): fase di una LCA destinata allo studio e alla valutazione del potenziale impatto ambientale provocato dal sistema-prodotto in esame,* che ha lo scopo di evidenziare l'entità delle modificazioni generate a seguito dei consumi di risorse e dei rilasci nell'ambiente calcolati nell'Inventario.

Analisi del ciclo di vita (**LCA** - *ISO 14040, par. 3.9*): *Raccolta e valutazione degli ingressi, uscite ed impatti potenziali sull'ambiente di un sistema-prodotto lungo il suo ciclo di vita*; è un procedimento oggettivo di valutazione dei carichi energetici ed ambientali relativo ad un processo o una attività, effettuato attraverso l'identificazione e la quantificazione dell'energia e dei materiali usati e dei rifiuti rilasciati nell'ambiente. La valutazione include l'intero ciclo di vita del processo o attività, comprendendo l'estrazione e il trattamento delle materie prime, la fabbricazione, il trasporto, la distribuzione, l'uso, il riuso, il riciclo e lo smaltimento finale. Una LCA si compone delle seguenti quattro fasi principali: Definizione degli Scopi e degli Obiettivi, Inventario, Analisi degli Impatti, Interpretazione e Miglioramento. Le linee guida per redigere una LCA sono state redatte dalla SETAC e sono ora disponibili nelle norme ISO della serie 14.040. In italiano il termine LCA viene comunemente tradotto in analisi del ciclo di vita.

Analisi energetica (Energy analysis): tecnica per esaminare il modo con cui le risorse energetiche sono sfruttate per realizzare delle operazioni utili.

Analisi multiattributo : considera l'inventario dalla "risorsa al rifiuto" per il prodotto (viene cioè eseguita su tutto il ciclo di vita di un manufatto) ed è adatta al raffronto tra beni surrogabili.

Analisi Prestazioni Ambientali : ha come obiettivo il miglioramento delle performance ambientali di un manufatto. Vengono inizialmente determinati, perciò, gli obiettivi ecologici da seguire per perfezionare l'eco-profilo del manufatto (riduzione di consumi energetici e di reflui di processo, recupero e riciclo di materie seconde, ecc.) ed i parametri di riferimento per quantificare le prestazioni ambientali del prodotto durante ogni fase del ciclo di vita (standard di riferimento, paralleli tra tecnologie utilizzate nel processo produttivo e le migliori tecnologie disponibili, paragone con i dati medi a livello nazionale, ecc.).

Compostaggio (Composting) degradazione biologica dei rifiuti umidi ad elevato contenuto organico; porta alla produzione di compost (materiale organico stabilizzato utilizzabile in agricoltura e floricoltura a seconda delle caratteristiche di composizione)

Concentrazione equivalente di anidride carbonica (CO2-equivalent): esprime in maniera sintetica la capacità dei gas serra di dar luogo all'effetto serra; si ottiene convertendo la concentrazione di ciascun gas che può produrre un effetto serra nella concentrazione di CO2 che darebbe un uguale contributo a tale effetto (a parità di concentrazione, gas differenti danno contributi diversi all'effetto serra). La conversione avviene tramite i GWP (Global Warming Potentials) disponibili per diversi periodi di tempo (50, 100 e 500 anni).

Confini del sistema (**System boundary** - I*SO 14040, par. 3.17*): *interfaccia tra il sistema-prodotto in oggetto e l'ambiente o altri sistemi-prodotto.*

Confronto tra sistemi equivalenti (**Comparative assertion** - ISO 14040, par. 3.2): *Dichiarazione ambientale riguardante la superiorità o equivalenza di un prodotto rispetto ad un prodotto concorrente con medesima funzione;* neologismo introdotto dalla ISO 14.040 per indicare come dal confronto in termini LCA di sistemi produttivi con medesima funzione sia possibile asserire quale possieda un miglior rendimento ambientale.

Coprodotto (**Co-product** - *ISO 14041, par. 3.2): Ciascuno dei 2 o più prodotti provenienti dallo stesso processo unitario;* nel presente contesto, sottoprodotto o scarto di un medesimo processo industriale con valore di mercato e suscettibile delle regole di allocazione.

Ecobilancio (Eco-balance): nel presente contesto, un'analisi energetica ed ambientale applicata ad un singolo anello della filiera produttiva, ovvero l'elemento più semplice di cui è composta una LCA.

Eco-efficienza (**Eco-efficiency**): termine che il *Business Council for Sustainable Development* ha proposto per indicare quello che dovrebbe essere l'obiettivo strategico delle imprese nel quadro dello sviluppo sostenibile. Si tratta dell'efficienza produttiva che tiene conto anche dei costi ambientali, ovvero della capacità di offrire a più consumatori beni e servizi ad un costo economicamente affrontabile e con un peso ecologico significativamente minore.

Ecoprofilo (**Eco-profile**): è un'analisi del ciclo di vita interrotta all'uscita dei flussi di materiali dallo stabilimento ("*from cradle to gate*"). Efficienza da un punto di vista generale, l'efficienza misura la capacità di un sistema di generare una funzione utile rispetto alla spesa sostenuta per ottenerla. L'efficienza energetica è data dal rapporto dell'energia nei prodotti e l'energia spesa (energia in ingresso + energia nelle materie prime); l'efficienza exergetica è data dal rapporto fra l'exergia dei prodotti utili e l'exergia in ingresso.

Energia è un termine astratto e in generale può essere intesa come la capacità di produrre lavoro. L'energia non può essere creata o distrutta ma può solo subire variazioni da una forma ad un'altra. L'unità di misura SI dell'energia è il Joule.

Energia cumulata (**Gross energy**): è l'energia complessiva che compete ad un sistema produttivo ed è costituita dalla somma delle energie corrispondenti a tutte le operazioni che l'hanno resa possibile a partire dall'estrazione delle materie prime. La *gross energy* può essere suddivisa almeno in cinque quote: energia di produzione e trasporto dei combustibili *(production & delivery energy*), energia diretta (*direct energy o energy content of fuel*), energia competente ai trasporti utilizzati (*transport energy*), energia di feedstock (*feedstock energy*) e energia da biomasse *biomass energy*.

Energia diretta o di processo (**Direct energy o Process Energy** - *ISO 14041, par. 3.9*\): *Energia richiesta per alimentare un processo unitario o un apparato all'interno del processo, con esclusione delle produzione e distribuzione dell'energia stessa;* è l'energia direttamente consumata nelle operazioni strettamente connesse con il processo in studio; coincide con il contenuto energetico della fonte di energia utilizzata.

Energia di Feedstock (**Feedstock energy** - I*SO 14041, par. 3.5*): *Contenuto energetico delle materie prime in ingresso al sistema-prodotto, non utilizzate come fonte di energia, espressa in termini di potere calorifico superiore o potere calorifico inferiore;* è l'energia contenuta nei materiali in ingresso nel processo che potenzialmente potrebbero essere impiegati come combustibili: il loro contributo in termini energetici è esprimibile con il potere calorifico superiore; il gas e l'olio impiegati nell'industria petrolchimica e il legno usato nell'industria cartaria costituiscono alcuni chiari esempi di energia feedstock.

Energia di produzione e trasporto dei combustibili (Production & Delivery energy): è la quota di energia competente all'estrazione, trattamento e trasporto delle fonti di energia primaria rese successivamente disponibili all'utilizzatore sotto forma di energia diretta. Costituisce una quota parte dell'energia indiretta.

Energia indiretta (Indirect energy): è costituita dalla somma dell'energia di produzione e trasporto dei combustibili con l'energia necessaria a rendere disponibili i materiali in ingresso nel processo.

Energia interna (Internal energy): è una funzione di stato, genericamente indicata con la lettera U; la sua formulazione corrisponde alla definizione formale del Primo Principio della termodinamica: DU=U2-U1=qto + won, dove qto è l'energia termica fornita al sistema e won il lavoro fatto sul sistema.

Entalpia (Enthalpy o Heat Content): generalmente indicata con la lettera H, è definita come H=U+PV, dove U indica l'energia interna, P la pressione e V il volume.

Exergia (Exergy): è generalmente indicata con la lettera B e si definisce come la quota di una risorsa energetica utilizzabile in un processo termodinamicamente reversibile. Nella pratica

costituisce il concetto che consente di valutare la qualità dell'energia spesa, ovvero la sua capacità di causare cambiamenti.
Fuso-netto si intende il rapporto esistente tra la quota di materiale avviato alla fusione e quella nel prodotto "finito " a seguito della colata e delle successive lavorazioni.
Incenerimento (Incineration): degradazione termica del rifiuto con eventuale recupero di energia; porta alla riduzione della massa del rifiuto.
Interpretazione (Life Cycle Interpretation - *ISO 14040, par. 3.11): Fase di una LCA in cui i risultati dell'Inventario e/o della analisi degli impatti sono elaborati in accordo con l'obiettivo e lo scopo dello studio in modo tale da raggiungere conclusioni e raccomandazioni.*
Inventario (Life Cycle Inventory Analysis - *ISO 14040, par. 3.12): Fase della LCA che prevede la raccolta e quantificazione degli ingressi e uscite per un dato sistema-prodotto lungo il suo ciclo di vita.*
Life Cycle Assessment o Analysis : v. Analisi del ciclo di vita
Potere calorifico inferiore (Net Calorific Value or Low Heat): è l'energia liberata quando il combustibile viene bruciato completamente con ossigeno e tutta l'acqua presente nei prodotti di combustione è raffreddata alla temperatura di 100°C ma rimane allo stato gassoso.
Potere calorifico superiore (Gross Calorific Value or High Heat): è l'energia liberata quando il combustibile viene completamente bruciato con ossigeno e tutta l'acqua prodotta è raffreddata allo stato termodinamico di riferimento (25°C e 1 atm).
Processo unitario (Unit process - *ISO 14040, par. 3.19): la più piccola porzione in cui un sistema produttivo può essere suddiviso e per cui è possibile raccogliere i dati per redigere una LCA.*
Riciclo aperto (Open Loop Recycling): è un sistema di riciclo di un rifiuto in cui il prodotto viene utilizzato in un sistema diverso da quello che ha generato il rifiuto stesso.
Riciclo chiuso (Closed Loop Recycling): è un sistema di riciclo di un rifiuto il cui prodotto costituisce un input del sistema che ha generato il rifiuto stesso.
Rifiuto (waste - *ISO 14040, par. 3.20): è l'uscita del sistema avviato a discarica*; in Italia il riferimento legislativo in materia è il DL 22/97 e successive modifiche (Decreto Ronchi)
Riuso (Reuse) : riutilizzo del prodotto dopo un eventuale trattamento di pulizia.
SETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemistry): è un organismo scientifico internazionale che si è occupato fin dall'inizio della promozione e della diffusione della LCA.
Sistema-Prodotto (Product-System – ISO 14040, par. 3.15): *Insieme di processi unitari connessi da flussi di materia ed energia, che adempie ad una o più funzione definite.*
Tep : tonnellata equivalente di petrolio; 1 tep = 45.000 MJ (utilizzando un valore medio di potere calorifico superiore del greggio).
Unità funzionale (Functional Unit - ISO 14040, par. 3.5): unità di riferimento per quantificare il rendimento in termini LCA di un sistema produttivo.

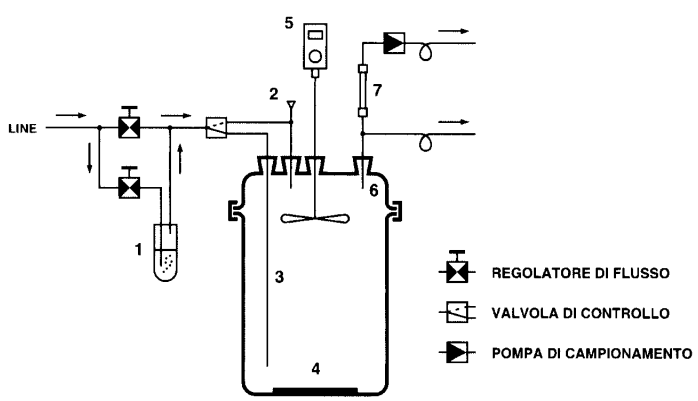
Dott. Alberto Strini
ICITE CNR

Inquinamento indoor. Emissioni di composti volatili organici nell'ambiente confinato

Le emissioni di prodotti volatili organici (VOC) nell'ambiente confinato sono oggetto di sempre maggiori studi. Questo genere di inquinamento può infatti essere particolarmente insidioso perché in un ambiente con ricambi di aria relativamente limitati come la maggior parte dei locali chiusi qualunque genere di emissione può potenzialmente portare ad accumuli e quindi a concentrazioni elevate.
Le emissioni di VOC dai materiali sono causate dalla diffusione delle sostanze volatili all'interno del materiale stesso e quindi dalla loro evaporazione nell'aria una volta raggiunta la superficie.
Le emissioni possono essere costituite o da sostanze già presenti nel materiale al momento della posa o da composti di degradazione che si formano nel tempo per reattività chimica. La migrazione di sostanze volatili può anche avvenire attraverso differenti materiali. Un prodotto apparentemente "coperto" come un adesivo può rilasciare delle sostanze che migrano attraverso il materiale di rivestimento e quindi raggiungere l'aria.

Studio delle emissioni

La prima necessità nello studio dell'inquinamento indoor da emissioni di VOC è naturalmente la caratterizzazione delle emissioni dei singoli materiali. Questo tipo di determinazione viene eseguito ponendo il materiale in una camera di prova, che consiste in un sistema sigillato all'interno del quale viene fatta circolare aria purificata con rimescolamento e tasso di ricambio controllato. Le sostanze volatili vengono rilasciate dal campione all'atmosfera della camera. L'analisi di questa permette di determinare la natura e la concentrazione degli inquinanti dalla quale è possibile risalire all'emissione specifica del campione. In questi sistemi lo scopo è quindi misurare con la maggior precisione e ripetibilità possibile le quantità di sostanze emesse dai singoli materiali. Le condizioni sperimentali sono strettamente controllate e la camera è realizzata con materiali che non presentino emissioni o assorbimenti che disturberebbero la misura.



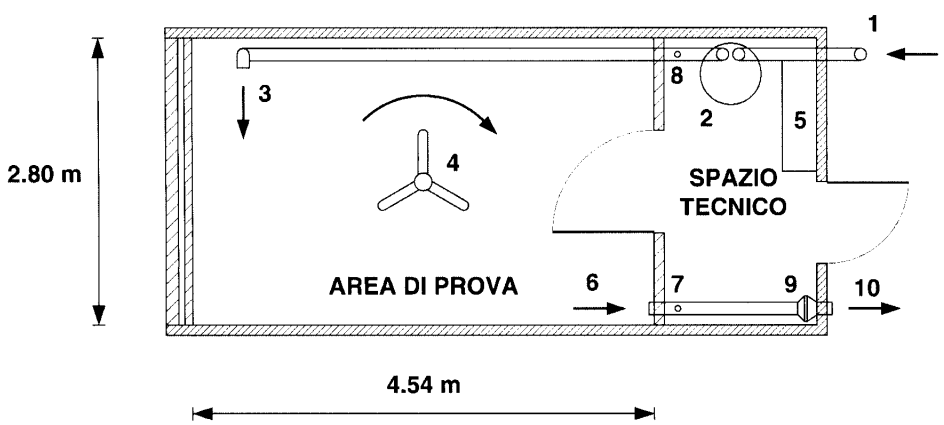
Schema funzionale di una camera di prova utilizzata presso i laboratori ICITE: 1. Umidificatore; 2. Iniettore per lo standard; 3. Ingresso aria zero; 4. Campione; 5. Agitatore con controllo digitale; 6. Uscita aria; 7. Tubo di campionamento.

Un secondo approccio, complementare al precedente, consiste nel campionare l'aria di ambienti reali. Questi studi sono solitamente condotti utilizzando campioni statisticamente significativi di determinate categorie di ambienti confinati (uffici, abitazioni, edifici pubblici, ecc.) con lo scopo di determinare la situazione in essere. Vengono quindi prodotti dati molto interessanti che descrivono la situazione reale finale, ma che non possono fornire indicazioni sull'origine degli inquinanti e sulle dinamiche del loro comportamento all'interno dell'ambiente.

Un terzo approccio consiste nel costruire una intera abitazione per scopi sperimentali ("testing house") e di posare in questa i materiali in studio. Questo sistema, che consente di ottenere una buona fedeltà di riproduzione delle condizioni reali, risulta però spesso difficilmente controllabile nelle condizioni sperimentali; inoltre la presenza di più ambienti comunicanti rende sovente difficile la modellazione delle dinamiche degli inquinanti.

Presso i laboratori ICITE, in aggiunta ad una serie di camere da laboratorio per la caratterizzazione dei singoli materiali, abbiamo realizzato un sistema di celle sperimentali in scala reale (dimensioni 2.8 x 4.5 m, 2.8 m di altezza) per misurare l'impatto delle emissioni in un ambiente che fosse un compromesso tra realismo e controllabilità. I parametri tipici delle situazioni in opera introdotti nel sistema sono la scala, l'alimentazione con aria non trattata e la costruzione con materiali edili ordinari (massetto cementizio per la base della pavimentazione e rasatura a gesso per le pareti). Il controllo della temperatura prevede un regime invernale di riscaldamento attivo termostatato ed un regime estivo di fluttuazione libera. Il sistema ha invece caratteristiche di controllo più simili alle camere di prova nel ricambio dell'aria interna e nel suo rimescolamento, nella costanza della velocità dell'aria sulla superficie del campione, nell'assenza di interdipendenza di più ambienti (camere singole isolate) e nell'assenza di attività umane all'interno dell'area di prova.

Lo scopo di questi studi è l'ottenimento di dati sulle emissioni dei materiali e quindi sul comportamento in opera degli stessi, per poter arrivare a modellare il comportamento finale e le interazioni dei vari prodotti nell'ambiente reale.



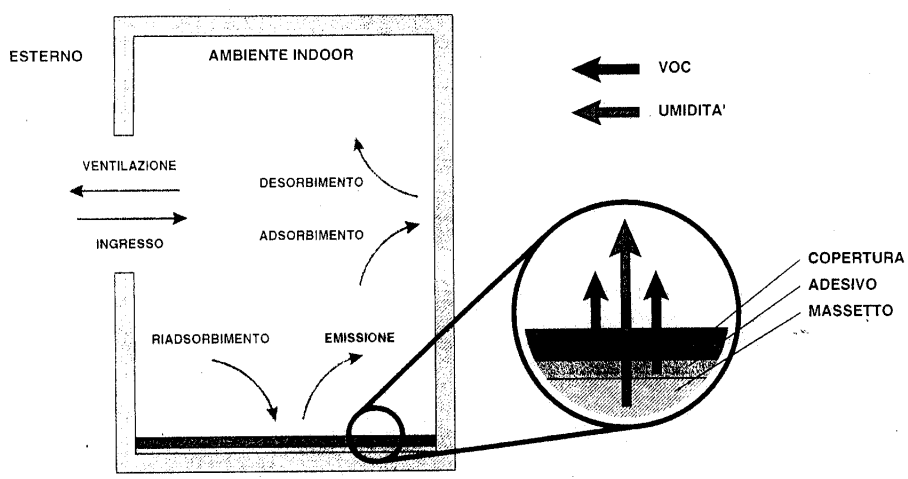
Schema delle celle in scala reale (ICITE - Area sperimentale di Lecco): 1. Presa aria esterna; 2. Decantatore per abbattimento polveri; 3. Immissione aria cella; 4. Destratificatore; 5.

Elettronica di controllo; 6. Presa aria cella; 7. Punto prelievo campione aria cella; 8. Punto di prelievo campione aria esterna; 9. Estrattore; 10. Griglia espulsione aria esterna.

Emissioni ed ambiente confinato

Le emissioni di VOC si possono dividere in primarie e secondarie. Le prime sono dovute all'emissione diretta da materiali contenenti sostanze inquinanti al momento della posa oppure al rilascio di sostanze formatesi successivamente all'interno del materiale stesso per reattività chimica. Le emissioni secondarie sono invece causate da materiali che hanno acquisito sostanze inquinanti assorbendole dall'ambiente stesso e che quindi vengono riemesse successivamente.
Le emissioni di VOC primarie hanno tipicamente un profilo variabile nel tempo che prevede livelli iniziali più elevati, quando il prodotto è ancora nuovo, e livelli decrescenti con il passare del tempo a causa della progressiva eliminazione delle sostanze volatili contenute nel prodotto stesso. Le emissioni secondarie possono invece avere profili differenti in dipendenza dalla modalità in cui si formano i nuovi VOC che le causano. Le dinamiche di emissione dipendono dalle caratteristiche del materiale e delle sostanze emesse. A parità di quantità totale contenuta nel materiale, una sostanza più volatile tenderà tipicamente ad essere emessa più velocemente di una meno volatile, e tenderà quindi ad esaurirsi prima. Usualmente si osserva infatti che le sostanze più volatili sono caratterizzate da intense emissioni iniziali seguite da una rapida diminuzione, mentre le sostanze poco volatili tendono ad avere emissioni più contenute all'inizio ma molto più persistenti. Nel caso molto frequente di emissioni contemporanee di diversi composti da uno stesso materiale si possono quindi avere comportamenti differenti per ogni sostanza. Il profilo di emissione del materiale può dunque variare nel tempo non solo in termini quantitativi, ma anche qualitativi poiché possono variare i rapporti tra i diversi VOC.

Le concentrazioni reali di inquinanti nell'ambiente confinato non dipendono solamente dalle caratteristiche di emissione dei materiali che lo compongono. Abbiamo già visto la possibilità di emissioni secondarie dovute all'adsorbimento e alla riemissione di inquinanti. In un ambiente reale si instaura una complessa dinamica tra le varie superfici, che possono comportarsi come assorbitori o emettitori, gli ambienti confinanti e l'ambiente esterno. Queste dinamiche sono modulate dalle condizioni fisiche (cicli termici e di ricambio e rimescolamento dell'aria) e dalle caratteristiche chimiche degli inquinanti e dei materiali presenti nell'ambiente.

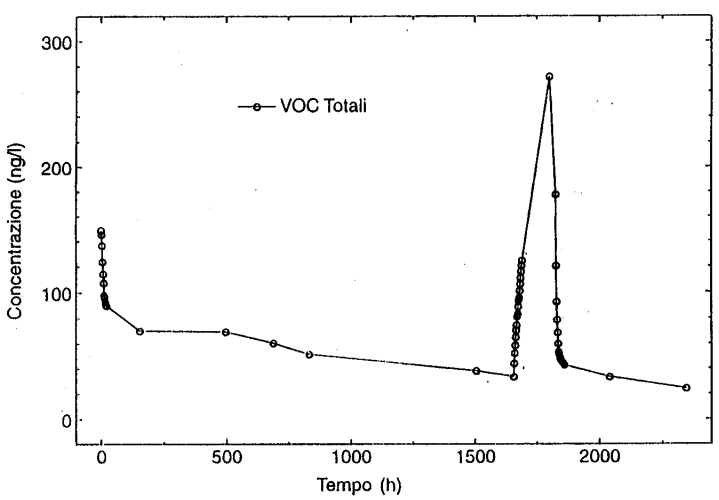


I composti emessi da un materiale o entrati dall'esterno possono essere assorbiti e riemessi dalle pareti, dai mobili o dai prodotti stessi da cui sono stati emessi. Diversi prodotti possono inoltre interagire. Ad esempio l'umidità proveniente da un massetto può causare l'emissione di alcuni composti da un adesivo o da un rivestimento.

Differenti materiali possono inoltre interagire tra di loro e con l'ambiente modificando le caratteristiche di emissione misurate su un campione di materiale puro. Ad esempio, una copertura per pavimenti polimerica plastificata con esteri quali gli ftalati può, in presenza di umidità e condizioni basiche causate ad esempio da un massetto cementizio posato da poco, emettere alcoli di varia natura causati da reazioni chimiche di idrolisi degli ftalati stessi. Inoltre le varie sostanze possono migrare attraverso diverse componenti di un sistema, causando quindi potenziali interazioni dovute a nuove associazioni di composti chimici.

Misure in camere ambientali

Gli esperimenti in camere di laboratorio ed in scala reale confermano che le concentrazioni di inquinanti tendono a diminuire progressivamente dopo la posa del prodotto in un ambiente con un costante rimescolamento e ricambio dell'aria. Le stesse concentrazioni possono però risalire velocemente se si ha un aumento di temperatura (che favorisce il desorbimento degli inquinanti volatili) o una diminuzione del tasso di ricambio dell'aria. Per prolungati periodi di arresto del ricambio è anche possibile che le concentrazioni di inquinanti superino quelle registrate al momento della posa. Questo effetto si può riscontrare anche dopo mesi dalla posa stessa.
Gli esperimenti di laboratorio permettono di modellare le emissioni nel tempo dei diversi materiali. Un notevole numero di ricerche è orientato allo studio dei differenti modelli di emissione, che possono tenere conto non solo delle caratteristiche chimiche del prodotto emesso, ma anche della costituzione del materiale emittente, ad esempio descrivendo la diffusione interna al materiale.



Concentrazione di VOC totali registrati in un esperimento di posa di una pavimentazione in PVC effettuato in una cella in scala reale di Lecco. Il ricambio forzato di aria è stato interrotto dal tempo 1650 h a 1800 h per simulare un ambiente chiuso privo di scambio di aria. Si noti l'effetto sulla concentrazione.

Origine delle emissioni

Tra i materiali tipicamente utilizzati in architettura di interni che possono dare origine ad emissioni di VOC si possono trovare:
- Coperture in base polimerica
- Linoleum
- Legno e sughero
- Coperture in tessuto
- Adesivi
- Vernici
- Isolanti, coibentanti e sigillanti

Si noti che accanto ai materiali sintetici troviamo materiali naturali o realizzati con prodotti naturali. E' necessario ricordare che l'origine "naturale" di un prodotto (che viene intesa solitamente come origine biologica dei suoi costituenti) non è di per sé una garanzia di salubrità. Spesso si osservano, nei prodotti naturali, emissioni di VOC tipicamente complesse, che riflettono la presenza di una estrema varietà di composti dovuti al metabolismo. E' quindi necessario valutare caso per caso l'effettivo comportamento del materiale e la qualità e quantità delle emissioni riscontrabili indipendentemente dalla sua origine.

Nel caso dei prodotti polimerici, fonti potenziali di emissione possono essere:

Monomeri
Stirolo
Lo stirolo è il materiale di partenza per la produzione degli espansi EPS, che sono impiegati in ambito edilizio per la coibentazione termica e l'isolamento allo scalpiccìo. Attraverso un processo chimico, la cosiddetta polimerizzazione, le singole molecole di stirolo si collegano fra di loro in modo da formare catene polimeriche, il polistirolo. Se lo stirolo viene polimerizzato in presenza di un espandente si ottiene il polistirolo espanso (EPS). Come espandente viene utilizzato il pentano. I materiali EPS contengono di regola percentuali di stirolo non reagito di meno dello 0,1 %. Nella trasformazione a espanso vengono liberate piccole quantità di stirolo, sicchè il contenuto di stirolo libero nell'espanso finito rimane minimo. La produzione e la trasformazione dell'EPS seguono le molto rigide prescrizioni europee sulla salute e la sicurezza. Per l'esposizione allo stirolo sul posto di lavoro, ad esempio a causa dello stirolo liberato durante la trasformazione di EPS in materiale di isolamento, sono state emesse direttive, in particolare le concentrazioni nei posti di lavoro che sono in vigore nei diversi Paesi d'Europa. In Germania la concentrazione massima sul posto di lavoro (MAK) è di 20 ppm (vol.) rispettivamente 85 mg/m^3. Le concentrazioni praticamente rilevabili nella trasformazione dell'EPS a espanso giacciono però ampiamente sotto questo valore. Positive esperienze decennali nell'impiego come materiale isolante termico e sonoro e anche numerose ricerche stabiliscono che nell'impiego dello Styropor non si producono sollecitazioni o pericoli per la salute. Misurazioni in condizioni pratiche di utilizzo, effettuate su 16 diversi edifici coibentati in differenti modalità, hanno evidenziato che anche con tecnica analitica di alta efficienza con limite di sensibilità di 0,01 mg per m^3 di aria ambiente, non si è potuto riscontrare traccia di stirolo. Lo stirolo è presente in natura. È un liquido incolore, che polimerizza facilmente a polistirolo. Lo stirolo si trova nelle resine delle piante, in prodotti alimentari come fragole, noci, fagioli, birra, vino, chicchi di caffè, cannella. In questi prodotti spesso si ritrovano concentrazioni di stirolo a livello di ppm. L'azione disinfettante del balsamo per ferite Storace liquido ottenuto dall'orientale Amperbaum (liquidambar orientalis) è da ricondurre al contenuto di stirolo.

Lo stirolo ha un caratteristico sapore dolciastro. Ha un punto di ebollizione di 143 °C e risulta rilevabile all'odore anche in concentrazione molto bassa. La sensibilità di soglia dell'odore, vale a dire la concentrazione alla quale si può rilevare la presenza di stirolo, sta a seconda della sensibilità del soggetto fra 0,005 e 0,5 ppm. Secondo dati dell'Organizzazione mondiale della sanità (WHO) la soglia di sensibilità all'odore sta ben al di sotto della concentrazione, alla quale possono intervenire effetti sulla salute.
Industrieverband Hartschaum
Rapporto tecnico – Comitato ambiente – Heidelberg

Nel PVC rappresentano raramente un problema in quanto il cloruro di vinile monomero residuo, molto volatile, viene eliminato con grande efficienza durante la post lavorazione del polimero grezzo. Nel caso delle gomme SBR (stirene-butadiene) può essere riscontrata la presenza del 4-fenilcicloesene. Questo composto si forma per una reazione collaterale di addizione tra stirene e butadiene. Essendo meno volatile dei monomeri è più difficile da eliminare durante le ultime fasi di produzione del polimero.

Plastificanti
I plastificanti sono un componente essenziale per modulare le caratteristiche meccaniche del prodotto finale. Nel caso del PVC sono tipicamente costituiti da ftalati a medio peso molecolare. Usualmente sono prodotti caratterizzati da una bassa volatilità.

Stabilizzanti
Una grande varietà di stabilizzanti viene inserita nelle formulazioni per garantire la durabilità dei prodotti. Alcuni di essi (ad esempio il BHT) possono essere sufficientemente volatili da causare emissioni apprezzabili nell'ambiente.

Antimicotici e antibatterici
Per inibire o comunque limitare la degradazione dei prodotti per attacco biologico vengono a volte aggiunte sostanze con attività antibatterica o antimicotica. Questo problema è particolarmente sentito nel caso dei prodotti naturali, che sono ovviamente substrati ideali per la crescita di un'ampia flora di microrganismi. Tipicamente i prodotti a base biologica devono quindi essere trattati con agenti conservanti, che possono liberarsi nel tempo.

Solventi
Alcuni tipi di solventi industriali possono essere aggiunti in certe fasi di lavorazione (ad esempio per aggiungere un additivo in forma liquida). Poiché i solventi sono tipicamente caratterizzati da una elevata volatilità, la presenza anche di piccole quantità può essere causa di emissioni evidenti nell'aria.

Impurezze
Le impurezze nei materiali di partenza possono a volte generare problemi nelle emissioni di VOC. Ad esempio, una piccola impurezza di alcol negli ftalati usati come plastificanti può causare una evidente emissione dell'alcol stesso pur non risultando essere un componente deliberatamente aggiunto alla formulazione.

Prodotti di reazione
L'inevitabile degradazione nel tempo di alcuni costituenti di un prodotto può essere causa di formazione di nuovi composti volatili che vengono liberati nell'aria. Ad esempio l'umidità, unitamente alle condizioni alcaline generate da un massetto cementizio, può provocare una reazione di idrolisi degli ftalati usati come plastificanti, causando la liberazione nell'aria dell'alcol risultante.

Possibili interventi

Vi sono principalmente due possibili livelli di intervento per mitigare l'inquinamento indoor: i materiali e la progettazione.

L'intervento sui materiali consiste nella messa a punto di nuovi prodotti a basse emissioni e nell'adattamento dei prodotti esistenti. Un esempio del primo caso sono gli sviluppi delle vernici e degli adesivi a base acquosa, che hanno messo a disposizione dell'utilizzatore sistemi in grado di assicurare emissioni estremamente minori di quelle causate dai predecessori a base solvente.
Dal punto di vista del miglioramento dei prodotti esistenti, è importante sottolineare come molti problemi di emissioni che abbiamo misurato appaiano essere imputabili non a composti intrinsecamente indispensabili alla formulazione ma piuttosto a additivi sostituibili quando non addirittura impurezze. Riteniamo quindi che sia spesso possibile un riadattamento della formulazione esistente per eliminare molti problemi di certe classi di prodotti. Data l'estrema varietà delle formulazioni finali (che sono a volte caratterizzate anche da una certa variabilità lotto-lotto), è però impossibile tracciare un quadro generalizzabile dei possibili interventi che devono essere studiati caso per caso.
E' quindi possibile progettare un ciclo di sviluppo per un prodotto che racchiuda le fasi di ricerca e sperimentazione con la definizione di formulazioni e processi produttivi ed infine con l'introduzione sul mercato di materiali con caratteristiche di impatto ambientale migliorate, sia in termini qualitativi che quantitativi. E' interessante notare che questo ciclo di sviluppo, potendo applicarsi a prodotti nuovi come a prodotti già in commercio, può essere continuato nel tempo in modo da avere un continuo aggiornamento dei prodotti esistenti. Una simile strategia appare sempre più necessaria per mantenere una alta competitività in un mercato sempre più attento alle tematiche ambientali.
L'intervento in fase progettuale consiste nell'utilizzo di materiali a basse emissioni, cosa che viene sempre più richiesta dal mercato, unitamente ad una progettazione particolarmente attenta alla ventilazione, facendo sì che non si creino situazioni di ristagno dell'aria che consentirebbero la concentrazione delle eventuali emissioni inquinanti.
Lo sviluppo di nuovi materiali e nuove tecniche per il contenimento dell'inquinamento indoor può quindi anche essere un'occasione per il rilancio di prodotti già universalmente accettati accanto a soluzioni nuove e originali per affrontare le richieste di un mercato sempre più esigente e attento.

Ing. Fantozzi F. e Saetta S.
Istituto di Energetica - Università di Perugia

LCA: un esempio applicativo Eco-compatibilità nella determinazione dello spessore ottimale di isolante con tecniche di LCA

Una delle più promettenti tecniche di valutazione dell'impatto ambientale in campo industriale è la Life Cycle Assessment (LCA). Tale valutazione è il risultato della computazione dei carichi ambientali generati durante tutte le fasi del ciclo della vita di un determinato prodotto (from cradle to grave), quindi includendo l'estrazione delle materie prime, la fabbricazione e l'uso del bene, fino a prevedere possibili scenari di riutilizzo, riciclaggio e/o smaltimento.

Gli indicatori ecologici: il modello Eco-indicator 95

In accordo alla normativa ISO 14042, la valutazione di impatto ambientale deve articolarsi nelle seguenti fasi:

Selezione e definizione delle categorie d'effetto ambientale. Gli effetti ambientali devono essere definiti in funzione del grado di conoscenza dei meccanismi d'inquinamento generato dal processo considerato.

Classificazione. Tutte le sostanze catalogate nei dati di inventario, sia in input (consumi) che in output (emissioni), devono essere associate ad uno o più tra gli effetti cui contribuiscono. Un'appropriata assegnazione è di importanza cruciale per la validità e la rilevanza dello studio.

Caratterizzazione. Il modello d'impatto prescelto deve fornire i valori di caratterizzazione di ciascuna sostanza classificata, al fine di poter esprimere tramite un valore univoco l'impatto per ciascuna categoria considerata. Ad esempio, la caratterizzazione del contributo di ciascuna sostanza all'effetto serra è valutata tramite misura del Global Warming Potential (GWP).

Ponderazione. Per procedere nella comparazione tra i risultati ottenuti per le varie categorie ambientali, è necessario definire dei weighting factors per ciascuna di esse, considerando oltre agli aspetti scientifici del problema, anche gli aspetti sociali più pertinenti.
La fase di pesatura è il risultato di un'analisi delle possibili conseguenze dell'inquinamento, in termini di: aumento di decessi, danni permanenti causati agli ecosistemi naturali, deterioramento delle condizioni di vivibilità e salute umana.
Il risultato finale è un punteggio complessivo di compatibilità ambientale dell'oggetto in esame. In Tabella 1 sono riportati, per il modello in considerazione, i valori dei weighting factors utilizzati nella presente analisi. Le precedenti categorie, inevitabilmente, sono ben lungi dall'essere esaustive (ad esempio non sono definite categorie per quantificare la differenza di impatto causato dal consumo di materie prime non rinnovabili piuttosto che rinnovabili).

Effetto Ambientale	Peso	Criterio
Effetto Serra	2.5	0.1 °C aumento ogni 10 anni, 5% degrado ecosistema
Degrado strato di ozono	100	Probabilità di 1 decesso per 1 milione abitanti per anno
Acidificazione	10	5% degrado ecosistema
Eutrofizzazione	5	Fiumi e laghi, 5% degrado ecosistemi acquatici
Smog Estivo	2.5	Occorrenza di periodi di smog, malattie tra anziani e asmatici
Smog Invernale	5	Occorrenza di periodi di smog, malattie tra anziani e asmatici
Pesticidi	25	5% degrado ecosistema
Metalli Pesanti in Aria	5	Piombo nel sangue, diminuzione vita media.
Metalli Pesanti in Acqua	5	Cadmio nei fiumi con relativo impatto sulla posizione
Sostanze cancerogene	10	Probabilità di un decesso per milione di abitante per anno

Tabella 1

Calcolo dello spessore di isolante per tubazioni

L'applicazione riguarda la determinazione dello spessore ottimale di isolante per una tubazione convogliante un fluido termovettore. Per le valutazioni si è fatto riferimento alla figura 1, nella quale sono riportati i principali dati di progetto.

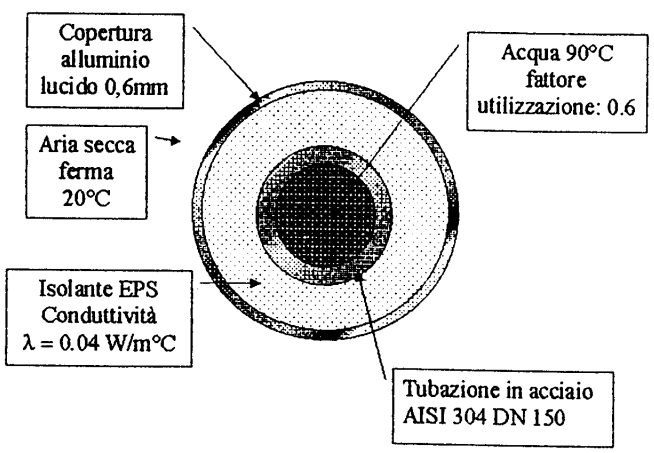


Fig. 1. Sezione della tubazione con isolante e rivestimento

Lo spessore è stato determinato riferendosi ad un metro di lunghezza di tubazione [Pie80]. Il legame tra resistenza termica complessiva R_{tot} potenza termica dissipata Q_t e differenza di Temperatura ΔT è espresso, come noto, da:

$$\Delta Q = T / R_{tot}$$

Dove R_{tot} è uguale alla somma della resistenza interna del fluido (vapore), della tubazione, dell'isolante, della copertura in alluminio e di quella esterna.

$$R_{tot}=R_{interna}+R_{tubazione}+R_{isolante}+R_{all}+R_{esterna}$$

Come noto, i valori relativi alla resistenza interna della tubazione e dell'alluminio di copertura sono trascurabili rispetto a quelli relativi alla resistenza esterna e dell'isolante.
In tabella 2 sono riportati i valori della potenza termica dissipata per metro lineare di tubazione, considerando alcuni possibili spessori di isolamento.

Spessore (mm)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	200
Q [W/m]	434	106	65	49	40	34	30	27	25	23	21	20	19	18	17	17	14

Tabella 2

In tabella 3 si riportano i dati impiegati nell'analisi economica, espressi in Euro.

Grandezza	**Valore**	**Unità di Misura**
Tasso Interesse	0.05	Adim.
Durata investimento	10	Anno
Costo Marginale Potenza Termica	61	Euro/kW
Valore Recupero Marginale Potenza Termica	15	Euro/kW
Rendimento Impianto Termico	0.9	Adim.
Costo kWh (metano)	0.016	Euro/kWh
Costi Alluminio	3.25	Euro/kg
Valore alluminio rottamato	0.25	Euro/kg
Costo isolante EPS	65	Euro/m^3

Tabella 3

Tutti i dati sono stati forniti da aziende del settore. A titolo di completezza è riportata anche una stima del costo marginale della potenza termica (economie sulla potenzialità installata raggiungibili con l'isolamento), sebbene trascurabile ai fini dell'analisi economica.
In figura 2 è riportato l'andamento dell'Equivalente Annuo in funzione dello spessore. Le voci di costo principali, come presumibile, sono quelle relative al consumo di combustibile ed all'acquisto del materiale per l'isolamento, mentre i costi relativi della potenza termica diventano velocemente trascurabili all'aumento dello spessore.
Per ipotesi, non sono inclusi i costi di manutenzione dell'impianto, mentre per la posa in opera si è supposto che il costo dell'installazione sia indipendente dallo spessore.
Il valore minimo si ottiene in prossimità di uno spessore di circa 100 mm, ma è possibile affermare che all'intorno 70-130 mm le variazioni non sono significative.
Il valore dello spessore ottimale cresce all'aumentare sia del tasso d'utilizzo che della temperatura, incidendo maggiormente i costi di combustibile.
Per l'analisi ambientale è necessario, come detto, avere informazioni sulla tecnologia e sui materiali impiegati. Appare chiaro che al minore impatto dovuto al risparmio energetico conseguibile con l'isolamento si oppone quello generato dal consumo di materiali e semilavorati, e dal consumo d'energia per la loro fabbricazione.
Per semplicità, sono trascurati i carichi ambientali dovuto al rapporto in rete metallica zincata, al fil di ferro per l'ancoraggio alla tubazione, alle resine termoindurenti ed agli imballaggi.
Si presuppone che la copertura di protezione in alluminio sia calandrata da lamiera vergine, a valle della posa in opera della lana di vetro.

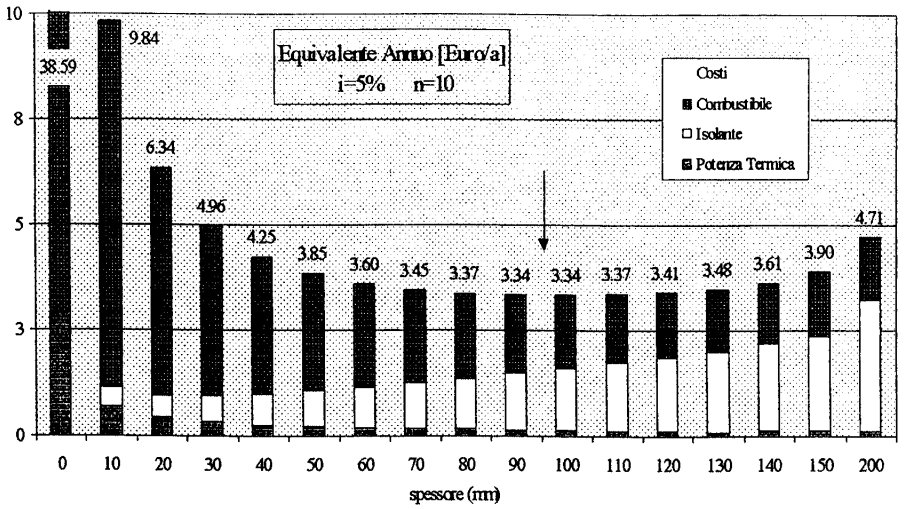


Fig. 2. Equivalente Annuo

Voce Data Base	Note
Alluminio puro al 99%	Dati medi di impatto per il materiale considerato (compreso
15% riciclato e EPS	estrazione materie prime, trasporto, processo)
Laminazione alluminio	Dati relativi alla laminazione di fogli di alluminio
Lavorazione a freddo Al	Corrispondente all'operazione di calandratura
Trasporto	Si sono mediamente considerati 100 km per ogni trasporto
Stampaggio	Dati medi di impatto per l'operazione di stampaggio di coppelle
Smaltimento EPS	Si considera che metà venga incenerito e metà riciclato: benefici per la mancata produzione ed impatto dell'incenerimento.
Riciclaggio 15% Alluminio	Benefici dovuti alla produzione evitata di alluminio grezzo

Tabella 4

La percentuale d'alluminio di riciclaggio considerata nel materiale per la copertura è del 15%. Lo stesso valore corrisponde alla percentuale del materiale che sarà riciclato alla fine della vita utile. Nella tabella 4 sono riportate alcune voci corrispondenti ai materiali ed alle lavorazioni considerate, come ricavate dalle banche dati cui accennato in precedenza.
In Figura 3 è riportato l'andamento dell'Eco-Indicatore al variare dello spessore.
La zona di minimo impatto è relativa a spessori di 110-120 mm, ma le variazioni sono inferiori al 10% per tutti gli spessori oltre i 70 mm; questo implica che non sempre un'ottimizzazione economica esclude la ricerca congiunta del minimo impatto ambientale.

Conclusioni

La LCA può essere uno strumento di supporto alle decisioni valido per la valutazione dei carichi ambientali nell'impiantistica industriale. Sia in fase di progettazione che di gestione è possibile individuare i punti critici sui quali concentrare risorse per il miglioramento.

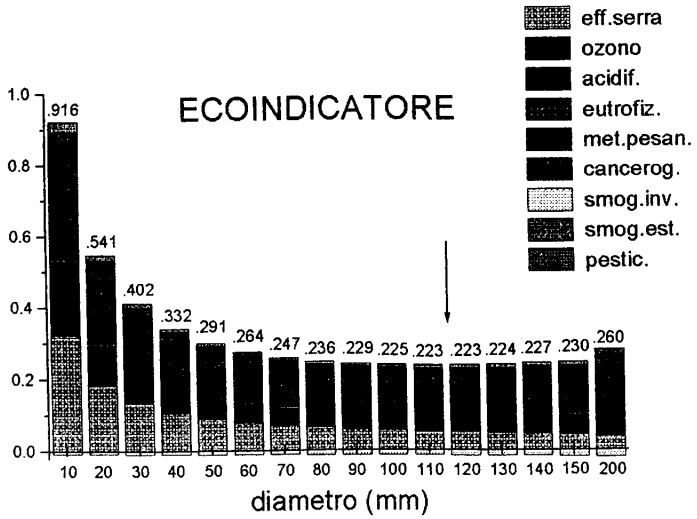


Fig. 3. Eco-Indicatore

Nel caso analizzato è stata rilevata la possibilità di ottenere il minimo impatto ambientale con scostamenti non significativi dall'ottimo economico.
Nel primo caso analizzato, con i dati in nostro possesso, la ricerca dell'ottimo ambientale sembra comportare un lieve sovradimensionamento dello spessore di isolante termico, in ogni caso raggiungibile con bassi costi aggiuntivi.
Sebbene la rispondenza tra ottimo economico e ottimo ambientale non possa essere facilmente generalizzata, è vero che in molti casi una corretta progettazione economica può coincidere con la minimizzazione dell'impatto ambientale; questo è tanto più vero quanto più incidono, nelle voci di costo da computare, quelli relativi a consumi energetici (di ogni tipologia, ivi compresi i feedstock energetici dei combustibili) che si verificano nella conduzione dell'impianto, rispetto ai costi fissi od ai costi inerenti consumo di materiali a basso contenuto energetico.
Il raggiungimento di obiettivi a carattere ambientale, nell'ottica di un sistema di gestione certificato o non (registrazione comunitaria EMAS o normativa internazionale ISO 14001) e secondo quanto delineato nelle politiche del sistema stesso, può essere supportato da una corretta implementazione di modelli di impact assessment (come Eco-Indicator 95), per la valutazione della proporzione tra benefici ambientali da conseguire e costi relativi, ed infine, ove richiesto, darne evidenza. Le maggiori difficoltà di applicazione di queste tecniche nella progettazione di impianti industriali risiede prevalentemente nella mancanza di dati affidabili per i componenti di impianto. Diventa infatti problematico, all'aumentare della complessità impiantistica, la gestione dell'analisi ed il reperimento dei dati: Disponendo di strutture di dati a livello di componentistica d'impianto, la procedura risulterebbe semplificata, ottenendo indubbiamente migliore confidenza dei risultati raggiunti. E' questo secondo gli autori uno dei possibili sviluppi e contributi che possono essere forniti dall'ingegnere impiantista nei confronti delle nuove tematiche ambientali.

Il “Nuovo Ambiente”

“Nuovo Ambiente” è un osservatorio per analizzare discutere proporre, divulgare, sistemi e componenti finalizzati al miglioramento della qualità ambientale.
E’ rivolto all’analisi dei componenti innovativi nel settore energetico ed ambientale con la possibilità di influenzare il comportamento dell’edificio al fine di migliorare le condizioni microclimatiche per l’utente finale.
“Nuovo Ambiente” si propone di utilizzare in modo consapevole le potenzialità dei materiali e dei sistemi edilizi in rapporto alle loro funzioni e all’interazione con l’uomo.

“Nuovo Ambiente” permette di pensare, di progettare e di realizzare un edificio con caratteristiche altamente innovative mediante l’utilizzo di sistemi e tecnologie nel pieno rispetto dell’ambiente e delle esigenze dell’utilizzatore. I sistemi utilizzabili che permettono di realizzare quanto sopra sono molteplici e diversificati. Al progettista ed al costruttore viene proposto un edificio che può essere realmente costruito utilizzando sei elementi:

1. Sistemi di tamponamento verticale e di partizione orizzontale con elevato grado di industrializzazione, affidabilità, isolamento termico ed acustico.
2. Sistemi di tamponamento trasparenti mediante l’utilizzo di serramenti multifunzionali con caratteristiche termodinamiche avanzate
3. Sistemi di copertura integrata con manto di protezione, elemento isolante e struttura portante
4. Sistema di riscaldamento diffuso sia per pareti orizzontali sia verticali utilizzando fluidi a bassa temperatura
5. Sistemi di generazione e di contabilizzazione del calore che garantiscono un elevato grado di risparmio energetico
6. Sistemi di controllo della ventilazione degli ambienti costituiti da impianti in grado di realizzare il ricambio d’aria, il recupero del calore e controllare il grado di inquinamento dell’ambiente interno

I sei sistemi assemblati permettono di realizzare una nuova casa, ovvero il “Nuovo Ambiente”.

1. Pareti e solai industrializzati

Sistema costruttivo PLASTBAU®
E’ costruito da elementi in polistirene espanso con doppia funzione:
- Cassero per il contenimento dei getti in cls in prima fase
- Elevata coibentazione permanente in seconda fase

Il sistema è formato da due tipi di pannelli cassero:
- Muro PLASTBAU® 3
- Solaio PLASTBAU® METAL

Muro PLASTBAU® 3
E’ formato da due pannelli in polistirene espanso alta densità uniti e distanziati fra loro da tralicci metallici che costituiscono l’armatura del cls gettato cl loro interno.
I pannelli di larghezza standard – cm 120 e altezza di progetto vengono posati accostati e costi-

tuiscono una struttura rigida pronta a ricevere il getto in cls senza alcun banchinaggio di sostegno.
Il muro PLASTBAU® 3 si adatta ottimamente a qualsiasi tipo di progetto fino ad una altezza di 5 piani e oltre. La finitura del muro PLASTBAU® 3 avviene con estrema semplicità: all'interno con un cartongesso applicato con viri direttamente sui bottoni in plastica posizionati sul lato interno dei pannelli; all'estreno invece con malta semplice applicata sulla rete di plastica che ricopre il lato esterno.
Solaio PLASTBAU® METAL:
è necessario permettere che questo tipo di solaio, che integra perfettamente il Muro PLASTBAU® 3 dando vita al Sistema PLASTBAU® è impiegabile anche e soprattutto su qualsiasi tipo di muratura, vecchia e nuova, in laterizio, blocchi ecc.
Il solaio PLASTBAU® METAL è costruito da pannelli in polistirene espanso di alta densità, larghezza - = cm 60, prodotto in continuo e tagliati a misura, con rinforzi interni in lamiera di acciaio zincato. I pannelli si possono ottenere con spessori variabili per assolvere alle esigenze di portata e isolamento richiesti.
PLASTBAU® METAL ha funzione di cassero per formae solai di piano o di copertura. Nella funzione come descritta, PLASTBAU® METAL è autoportante e (con supporti intermedi provvisori ogni 2 – 2,5 m) è in grado di supportare i carichi del calcestruzzo fresco, ferri di armatura, operai, ecc.
Esaurita la funzione di prima fase, PLASTBAU® METAL assolve permanentemente alla funzione di isolante termico.
La sua peculiare caratteristica di variabilità dello spessore consente di predeterminare il livello di coibentazione in funzione delle zone climatiche e dell'utilizzo.
La continuità della coibentazione è assicurata dalla bettentatura dei pannelli.
Il peso proprio (da 6 a 8 Kg/mq) consente la movimentazione manuale dei pannelli e anche risparmi sui trasporti e minori pesi sulle strutture e sulle fondazioni.

2. La parete termodinamica attiva

E' formata da due componenti di base: la parte superiore che ospita il controllo della radiazione solare e la parte inferiore che contiene il sistema di ventilazione e lo scambiatore di calore.

Parte superiore
- anta estrema apribile. (vetrotemperato)
- ante interna apribile. (vetro camera con basso emissivo)
- tenda oscurante motorizzata.
- tenda riflettente motorizzata.
- modulo elettronico di controllo con sensori ambientali di temperatura, luminosità, umidità.
- controllo manuale con telecomando.
- controllo di sicurezza anti intrusione.

Parete inferiore
- pannello esterno in PVC o vetro riflettente, con due prese d'aria.
- scambiatore di calore a piastre.
- ventilatori tangenziali per lo scambio dell'aria nei due sensi.
- pannello interno di chiusura ispezionabile.
- modulo di controllo.

Applicazioni
Negli edifici, musei, scuole, palestre, alberghi ovvero in tutti quegli ambienti ove il sistema

automatico della parete termodinamica attiva consente di razionalizzare i consumi energetici ed il ricambio dell'aria migliorando le condizioni ambientali.
In presenza di ambienti abitati da persone anziane o disabili negli ospedali o nelle case di cura, le funzioni automatizzate consentono la regolazione delle condizioni climatiche senza dover chiedere aiuto a terze persone.
Nelle seconde case, nei locali di spettacolo ed in genere negli edifici non occupati per lunghi periodi, il sistema consente di mantenere condizioni interne di agibilità salvaguardando gli ambienti da possibili fenomeni di degrado dovuti all'umidità ed alla mancanza di ventilazione.
In situazioni come la presente, sarebbe sufficiente, salvo verifica con calcolo, una unica parete.
La parete termodinamica attiva può essere inserita assieme a serramenti in PVC aventi una normale configurazione.
Questi ultimi, totalmente armati con rinforzi in acciaio posti all'interno dei profili, hanno una tenuta termica elevatissima.

3. Copertura integrata

Il sistema è costituito da una lastra metallica esterna, da un pannello in EPS che funge da isolante e può essere rivestito internamente con doghe in legno. Presenta le caratteristiche essenziali per un edificio innovativo:

- È un sistema modulare
- È permeabile al vapore
- È facile da montare
- È autoestinguente
- È antisismico
- Innovativo ed economico
- Tecnologico ed ecologico
- Coibentato e ventilato
- Permeabile al vapore
- Semplice e durevole
- Atossico

Ventilato
Per la perfetta funzionalità di un sistema tetto è necessario che tra la copertura e la coibentazione vi sia un'intercapedine in cui l'aria riscaldandosi salga del basso della copertura lungo la linea di gronda e defluisca all'esterno attraverso il colmo. Questo accorgimento permette di abbassare la temperatura superficiale della copertura ed il naturale scambio di umidità tra l'interno dell'edificio e l'ambiente circostante. Il profilo è stato disegnato prevedendo canali a sezioni costanti di 7 cm^2 ove si innesca un moto naturale di ventilazione che impedisce la formazione di condensa, forzando la fuoriuscita dell'umidità dalla coibentazione

Permeabile al vapore
La corretta esecuzione di un edificio deve consentire la "migrazione" dell'umidità di condensa dall'interno all'esterno. Ma se il manto di copertura forma uno strato impermeabile di vapore, umidità, non potendo migrare, si trasforma in acqua, andando a vanificare la funzionalità di un sistema di copertura correttamente progettato.

4. Riscaldamento diffuso

Per climatizzare gli ambienti in cui lavoriamo e viviamo è possibile progettare l'impianto più

adeguato per realizzare un microclima ottimale, sulla base delle aspettative e delle esigenze di utilizzo del committente, nonché delle possibilità esistenti per la produzione del calore e del freddo. In seno a tale progettazione, i sistemi a pannelli radianti a parete, a pavimento e a soffitto sono in grado di apportare, in pressoché tutte le tipologie di edifici, un importante contributo per la realizzazione di un microclima sano, confortevole e ad alto risparmio energetico.

Caratteristiche tecniche

I sistemi a pannelli radianti a parete, a pavimento e a soffitto rappresentano il risultato di studi approfonditi e anni di esperienza nel settore degli impianti di climatizzazione. Il materiale scelto è il Polipropilene Random Tipo3.

Questo materiale permette di ottenere una elevatissima affidabilità nel tempo, resistenza alle temperature, possibilità di effettuare saldature, inattaccabile dagli agenti chimici, e quindi garantisce una notevole versatilità.

Questo tipo di impianti vengono normalmente inglobati all'interno di strutture che possono essere le più disparate, di conseguenza il know-how richiesto abbraccia non solo la termoidraulica, ma anche gli aspetti architettonici e strutturali di un edificio.

Nel settore civile, tra le varie applicazioni, è possibile realizzare impianti di riscaldamento e raffrescamento a parete, a pavimento e a soffitto.

Riscaldamenti localizzati.

Zone con utilizzo saltuario o dove è richiesta velocità nella messa a regime, ad esempio taverne e abitazioni per vacanze.

Come integrazione in locali riscaldati a pavimento con problemi di dispersione termiche e pareti molto fredde.

Per la realizzazione di impianti misti parete-pavimento per risolvere problemi di asimmetria.

Riscaldamenti a secco nelle ristrutturazioni con strutture in cartongesso o legno.

Ristrutturazioni senza opere murarie, di impianti ospedalieri con pannelli a pavimento obsoleti.

Aspetti ambientali

I sistemi a bassa temperatura, infatti, consentono di riscaldare gli ambienti sfruttando tutti i tipi di generatori di calore a basso impatto energetico quali le caldaie a condensazione, le pompe di calore, il sole o le fonti geometriche naturali.

I materiali utilizzati sono tutti riciclabili perfettamente compatibili con le richieste della Bioarchitettura.

Questa garanzia verrà ufficializzata ottenendo il riconoscimento dell'IBO (Institut fur Biologie Osterreich), l'Ente Europeo più importante per la certificazione dei prodotti Bioecologici.

Nel settore industriale è possibile realizzare riscaldamenti diffusi o localizzati all'interno di capannoni.

Prefabbricazioni inserendo i pannelli nelle strutture prefabbricate.

Altre applicazioni di tipo particolare ad esempio sono state:

il riscaldamento di scuderie per cavalli da corsa.

Realizzazione di finte stufe in maiolica.

- Biocompatibilità
- Alto risparmio energetico
- Microclima naturale negli ambienti
- Realizzazioni di Riscaldamento e raffrescamento
- Velocità di messa a regime
- Versatilità
- Affidabilità nella durata nel tempo
- Esperienza quasi trentennale nella climatizzazione

5. Generatore di calore a temperatura scorrevole ed a condensazione

Questo generatore di calore funzionale alla produzione di acqua calda ad uso riscaldamento, è predisposto per essere alimentato a gas metano.
E' corredato di un bruciatore del tipo a premiscelazione, a modulazione aria/gas dal 30 al 100% della potenza; la miscela viene ripartita in modo uniforme su tutta la superficie del suddetto e poi si innesca la combustione.
Le peculiarità tecnico-strutturali di cui sopra rendono la serie in oggetto adatta ad un utilizzo a temperatura scorrevole, su impianti a pannelli radianti a bassa temperatura e con regolazione a compensazione climatica. In sintesi si tratta di apparecchi ad alto rendimento, generatori a temperatura scorrevole a condensazione corredati di bruciatore a premiscelazione.

Moduli di zona "Nexus 1"
Funzionali all'alimentazione ed alla contabilizzazione dell'energia fornita all'impianto di riscaldamento ed alla produzione di acqua calda ad uso igienico sanitario, i moduli di zona NEXUS congiungono la versatilità di funzionamento della gestione autonoma con la sicurezza e la razionalità proprie degli impianti centralizzati. Di fatti riducono di circa il 60% la potenza complessiva impiegata se confrontata con l'utilizzo di caldaie murali. Il sistema è rappresentato da un impianto di tipo centralizzato alimentato da uno o due generatori di calore a condensazione abbinato a moduli di zona collocati in ogni singolo alloggio.

6. Controllo ventilazione

Sia nell'edilizia civile che nel terziario si possono adottare tre differenti sistemi per la Ventilazione Meccanica:
- Autoregolabile
- Igroregolabile
- A doppio flusso con recupero di calore

Ventilazione meccanica controllata (autoregolabile)
Questo sistema si basa sul controllo totale delle portate di ricambio aria calcolate in base al volume dell'ambiente con un brevetto di autoregolazione sui terminali di estrazione. In alcuni cadi la portata fissa di questi terminali può essere variata manualmente con bocchette speciali o elettricamente con interruttori che agiscono sulla motorizzazione o sul terminale interessato

Ventilazione meccanica igroregolabile
E' un sistema di Ventilazione che consiste nella regolazione automatica delle portate di estrazione e di ingresso aria esterna, in funzione dell'umidità relativa presente all'interno dell'ambiente. In questa situazione, il sistema assicura la portata di ventilazione per garantire una umidità media del 50% in ogni ambiente durante il periodo di riscaldamento e nelle stagioni intermedie, quindi un risparmio energetico notevole in quanto si ventila solo quando c'è la necessità. Anche in questo sistema, l'utente ha la possibilità di ottenere una ventilazione direttamente sui terminali di estrazione.

Ventilazione meccanica controllata a doppio flusso con recupero di calore
E' lo stesso principio adottato nelle grandi unità di trattamento aria con recuperatore, che , riportato alle dimensioni della civile abitazione, assicura rendimenti di recupero calore che andrebbe disperso. In questo caso quindi il principio prevede che l'estrazione e l'immissione controllata d'aria vengano eseguite meccanicamente in modo canalizzato, facendo in modo che l'aria, mediante un gruppo di ventilazione a doppio flusso, scambi e recuperi calore attraverso

le superfici incrociate dello scambiatore recuperato di calore (aria/aria).
Come per la Ventilazione Meccanica Controllata Tradizionale le portate d'aria sono controllate mediante terminali autoregolanti con la possibilità di ottenere portate aggiuntive tramite accessori di tipo elettrico.

Il perché della VMC

- Risoluzione dei problemi di muffa dovuti alla condensa superficiale
- Ottimizza la qualità dell'aria negli interni
- Controlla i valori dell'umidità

Campi d'applicazione

- Abitazioni monofamiliari
- Abitazioni condominiali
- Uffici
- Alberghi
- Case di riposo e ospedali
- Strutture sportive
- Ristoranti e bar
- Capannoni industriali

L'AIPE - Associazione Italiana Polistirene Espanso

è una associazione senza fini di lucro costituita nel 1984 al fine di tutelare l'immagine del polistirene espanso sinterizzato (o EPS) di qualità e di svilupparne l'impiego.

Le aziende associate appartengono sia al settore della produzione delle lastre per isolamento termico che a quello della produzione di manufatti destinati all'edilizia e all'imballaggio.

Fanno parte dell'AIPE le aziende produttrici della materia prima, il polistirene espandibile, fra le quali figurano le più importanti industrie chimiche europee.

Un gruppo di soci è costituito dalle aziende fabbricanti attrezzature per la lavorazione del polistirene espanso sinterizzato e per la produzione di sistemi per l'edilizia.

L'AIPE, con la collaborazione delle aziende associate, ha creato una rete che provvede alla raccolta e al riciclo di imballi e scarti in polistirene espanso.

A livello internazionale l'AIPE rappresenta l'Italia in seno all'EUMEPS, European Manufacturers of Expanded Polystyrene, associazione europea che raggruppa le associazioni nazionali dei produttori di EPS.

L'AIPE, che opera secondo il principio fondamentale della qualità dei prodotti, fornisce agli utilizzatori una informazione seria ed obiettiva sulle caratteristiche e prestazioni dei semilavorati e manufatti in polistirene espanso sinterizzato di qualità.

AIPE
Associazione Italiana Polistirene Espanso

Via M.A. Colonna, 46 - 20149 Milano - Tel. +39 0233606529

Per qualsiasi informazione si prega di visitare il sito AIPE:
www.aipe.biz

Per contattarci:
e-mail: aipe@epsass.it