

ARCHITETTURA TECNICA E PRATICA / 2

Efficientamento e riqualificazione energetica

COMITATO SCIENTIFICO

Presidente

Prof. Arch. Fabrizio Orlandi

Membri

Prof. Arch. Filippo Angelucci

(*Università degli studi "G. d'Annunzio" Chieti-Pescara*)

Prof. Arch. Serena Baiani

(*Università degli studi di Roma "La Sapienza"*)

Prof. Arch. Eliana Cangelli

(*Università degli studi di Roma "La Sapienza"*)

Prof. Arch. Domenico D'Olimpio

(*Università degli studi di Roma "La Sapienza"*)

Prof. Arch. Alberto De Capua

(*Università degli Studi "Mediterranea" di Reggio Calabria*)

Prof. Arch. Matteo Gambaro

(*Politecnico di Milano*)

Prof. Arch. Andrea Grimaldi

(*Università degli studi di Roma "La Sapienza"*)

Prof. Ing. Francesco Mancini

(*Università degli studi di Roma "La Sapienza"*)

GLI AUTORI

Giuseppe Piras

Architetto e ingegnere, dottore di ricerca in Riqualificazione e recupero insediativo.

Dal 2001 è Professore di Fisica tecnica ambientale presso l'Università degli Studi di Roma "La Sapienza". Presso la medesima Università: è referente per le iniziative nel campo del risparmio energetico e del controllo ambientale; svolge attività di ricerca nei settori dell'energetica civile e del controllo ambientale in seno al Dipartimento di Ingegneria astronautica, elettrica ed energetica; dal 2015 è componente del Senato Accademico; dal 2016 è Direttore del Master universitario in "*Gestione integrata e valorizzazione dei patrimoni immobiliari e urbani - Asset, Property, Facility & Energy Management*".

È autore di numerosi articoli e pubblicazioni scientifiche.

Elisa Pennacchia

Architetto, dottore di ricerca e docente sui temi dell'uso efficiente delle risorse energetiche ed ambientali e delle tecnologie innovative per l'ambiente costruito presso la Facoltà di Architettura dell'Università degli Studi di Roma "La Sapienza".

Riconoscimenti

Le schede tecniche relative all'"*Isolamento a cappotto*" sono state curate da *Barbara de Lieto Vollaro*.

Le schede tecniche relative alle "*Pareti ventilate*" sono state curate da *Valentina Sforzini*.

Le "*Descrizioni tecniche per le voci di capitolato*" sono state curate da *Stefania Pasquali*.

Giuseppe Piras, Elisa Pennacchia

MATERIALI E COMPONENTI PER L'EFFICIENZA ENERGETICA DEGLI EDIFICI

© Copyright Legislazione Tecnica 2018

La riproduzione, l'adattamento totale o parziale, la riproduzione con qualsiasi mezzo, nonché la memorizzazione elettronica, sono riservati per tutti i paesi.

Finito di stampare nel mese di ottobre 2018 da
STAMPAFLASH srl
via Umbria 148/7 - 06059 Todi (PG)

Legislazione Tecnica S.r.L.
00144 Roma, Via dell'Architettura 16

Servizio Clienti
Tel. 06/5921743 – Fax 06/5921068
servizio.clienti@legislazionetecnica.it

Portale informativo: www.legislazionetecnica.it
Shop: Itshop.legislazionetecnica.it

I contenuti e le soluzioni tecniche proposte sono espressioni dell'esperienza maturata nel corso degli anni dagli Autori. Esse possono, quindi, soltanto essere fatte proprie dal lettore, o semplicemente rigettate, ed hanno l'intento di indirizzare e supportare il progettista nella scelta della soluzione che maggiormente si adatta alla situazione oggetto di analisi. Rimane, pertanto, a carico del progettista la selezione della soluzione da adottare e le conseguenti analisi e dimensionamenti delle strutture e dei componenti. Il lettore utilizza il contenuto del testo a proprio rischio, ritenendo indenne l'Editore e gli Autori da qualsiasi pretesa risarcitoria.

SOMMARIO

PREFAZIONE	9
<i>Fabrizio Cumo</i>	

INTRODUZIONE

L'efficientamento energetico del patrimonio edilizio.....	11
---	----

PARTE I

QUADRO NORMATIVO RELATIVO ALL'EFFICIENZA ENERGETICA

1. EFFICIENTAMENTO E RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA: QUADRO NORMATIVO	13
1.1 La normativa nazionale prima del recepimento delle direttive europee	13
1.2 Le direttive europee.....	15
1.3 La normativa nazionale a seguito del recepimento delle direttive europee.....	18
2. LE PRINCIPALI MISURE PER L'EFFICIENZA ENERGETICA	25
2.1 Certificati bianchi.....	26
2.2 Conto termico	28
2.3 Detrazioni fiscali	33
3. L'ADOZIONE DEI CRITERI AMBIENTALI MINIMI NEGLI ACQUISTI DELLE PUBBLICHE AMMINISTRAZIONI	35
3.1 I CAM nel settore edilizio.....	36
3.2 Relazione tra i CAM in edilizia e i protocolli di sostenibilità volontari	38

PARTE II

L'INVOLUCRO EDILIZIO E LA SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE

4. L'INVOLUCRO EDILIZIO.....	39
4.1 Requisiti e strati funzionali dell'involucro opaco	43
4.2 Involucro trasparente.....	50
4.2.1. Requisiti e strati funzionali dell'involucro trasparente	50
4.3 La trasmissione del calore attraverso le componenti opache e trasparenti.....	51
5. MATERIALI PER EFFICIENTARE L'INVOLUCRO EDILIZIO.....	54
5.1 La sostenibilità dei materiali	55
5.2 La sostenibilità dell'edificio	62
5.2.1 LEED	62
5.2.2 BREEAM	63
5.2.3 CASBEE.....	64
5.2.4 SBMethod	65

5.2.5	Nordic Swan Ecolabel	67
5.2.6	HQE (Haute Qualité Environnementale)	67
5.2.7	DGNB (Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen).....	68

PARTE III
MATERIALI E SISTEMI PER EFFICIENTARE L'INVOLUCRO OPACO

6.	LA COIBENTAZIONE	69
6.1	Classificazione e tipologie dei materiali isolanti.....	69
6.2	Possibili soluzioni per l'isolamento dell'involucro opaco	72
6.2.1	Chiusura orizzontale superiore	74
6.2.1.1	Isolamento all'estradosso.....	74
6.2.1.2	Isolamento all'intradosso.....	80
6.2.1.3	Isolamento sul sottotetto	81
6.2.1.4	<i>Green roof</i>	82
6.2.1.5	<i>Roof pond</i>	85
6.2.2	Parete perimetrale verticale opaca	85
6.2.2.1	Isolamento termico sulla superficie interna della parete	85
6.2.2.2	Isolamento termico all'interno dell'intercapedine (parete a cassetta).....	90
6.2.2.3	Isolamento termico sulla superficie esterna della parete	95
6.2.2.4	Parete ventilata	98
6.2.2.5	Muro di Trombe.....	107
6.2.2.6	Sistemi di accumulo.....	108
6.2.2.7	<i>Green wall</i>	109
6.2.3	Chiusura orizzontale inferiore	117
6.2.4	Struttura di fondazione	117
7.	INTONACI	120
7.1	Intonaco tradizionale	121
7.2	Intonaco premiscelato	122
8.	PITTURE	123
8.1	Pitture per interni	123
8.2	Pitture per esterni	124

PARTE IV
MATERIALI E SISTEMI PER EFFICIENTARE L'INVOLUCRO TRASPARENTE

9.	VETRI	125
9.1	Classificazione e tipologie dei materiali vetrati	125
9.2	Possibili soluzioni per efficientare l'involucro trasparente.....	127
10.	SERRAMENTI	132
11.	SCHERMATURE	134
11.1	Classificazione e tipologie di schermature	135
11.1.1	Schermature per infissi orientati a sud.....	137
11.1.2	Schermature per infissi orientati a est e a ovest.....	140
11.1.3	Schermature per infissi orientati a nord	140

PARTE V
SISTEMI INTEGRATI DI PRODUZIONE ENERGETICA DA FONTI RINNOVABILI

12.	ENERGIA SOLARE	141
12.1	Sistemi fotovoltaici	141

12.2 Collettori solari	146
13. ENERGIA EOLICA	149

PARTE VI

VALUTAZIONI TECNICHE DI MATERIALI E SISTEMI PER EFFICIENTARE L'INVOLUCRO EDILIZIO

14. METODOLOGIE NUMERICHE PER LA COMPARAZIONE DELLE PRESTAZIONI DEI MATERIALI.....	151
14.1 Simulazioni per la valutazione delle performance dei materiali isolanti	152
14.1.1 Isolanti organici naturali.....	154
14.1.2 Isolanti di origine composita.....	155
14.1.3 Isolanti inorganici sintetici di nuova generazione	156
14.1.4 Isolanti inorganici sintetici	157
14.2 Simulazioni per la valutazione delle performance dei materiali trasparenti.....	158
14.3 Simulazioni per la valutazione delle performance dei sistemi che producono energia.....	165
14.3.1 Sistemi di produzione di energia elettrica con conversione fotovoltaica.....	166
14.3.2 Sistemi di produzione di energia elettrica da fonte microeolica.....	168
15. SCHEDE TECNICHE DEI MATERIALI.....	169
15.1 Isolanti.....	169
15.2 Intonaci.....	210
15.3 Pitture	215
15.4 Vetri	220
16. SCHEDE TECNICHE COMPONENTI E SISTEMI.....	235
16.1 Serramenti.....	235
16.2 Schermature	238
16.3 Isolamento a cappotto.....	243
16.4 Pareti ventilate	249
16.5 Sistemi che producono energia	254

PARTE VII

APPENDICE

DESCRIZIONI TECNICHE PER VOCI DI CAPITOLATO.....	279
Isolanti di origine composita	279
Isolanti organici sintetici.....	280
Isolanti organici naturali.....	282
Isolanti inorganici naturali.....	283
Isolanti inorganici sintetici.....	284
Intonaci	284
Rivestimenti	285
Pitture	285
Vetri	286
Serramenti	287
Schermature	287
Isolamento a cappotto	287
Pareti ventilate	290
Sistemi che producono energia	291
GLOSSARIO	296
BIBLIOGRAFIA.....	303
SITOGRADIA.....	304

PREFAZIONE

Secondo dati recenti più della metà della popolazione mondiale vive all'interno degli insediamenti urbani; le proiezioni di crescita degli agglomerati urbani, secondo le previsioni dei *World urbanization prospects*, portano a stimare che nel 2030 il 60% della popolazione sarà urbanizzata fino a raggiungere il livello del 70% nel 2050.

Assume sempre maggiore importanza, quindi, la problematica della stretta interdipendenza tra città e ambiente globale che era tipica essenzialmente dei paesi più industrializzati quali l'Italia ma che ora si è estesa anche ai paesi più popolosi della terra con conseguenze facilmente immaginabili sugli impatti ambientali. Si stima infatti che il 40-50% delle emissioni di gas serra siano ormai da attribuire al settore edile contro il 25% dovuto ai trasporti e il restante 25% ascrivibile al settore industriale.

È quindi nei luoghi in cui tali attività si concentrano – gli agglomerati urbani – che bisogna indirizzare gli sforzi congiunti a livello mondiale per realizzare le azioni di protezione e tutela dell'ambiente e del clima globale.

Da questa consapevolezza è derivato il termine di “*architettura sostenibile*” che vuole rappresentare una nuova concettualizzazione dell’architettura rivista in coerenza con il pensiero di uno sviluppo sostenibile inteso come “*meeting the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs*” (United Nations Department of Economic and Social Affairs (DESA), *Report of the World Commission on Environment and Development*, 96th plenary meeting, 11 December 1987).

Oggi, comunque, bisogna già rivedere l’approccio all’edilizia sostenibile che in passato era concentrato prevalentemente sugli aspetti ecologici per finalizzare gli sforzi sulle problematiche della conservazione dell’energia e della sostenibilità ambientale in tutte le fasi del processo edilizio per studiare e mettere a punto regole, criteri e tecnologie integrate nel rispetto dei più recenti documenti programmatici internazionali.

Oltre alla problematica energetica infatti nei vari trattati transnazionali si evidenzia come i punti critici relativi alla “*sostenibilità*” implichino una attenzione particolare all’utilizzo razionale di altre fondamentali risorse per il pianeta quali acqua, materiali e suolo.

I cinque principi cardine da utilizzare per la salvaguardia delle risorse ambientali sono dunque:

- riusare;
- rinnovare;
- riciclare;
- proteggere;
- conservare.

Il campo principale individuato per la messa in relazione di sistemi di produzione moderni ed efficienti con l’utilizzo sostenibile delle risorse è proprio quello dell’edilizia; ciò deve essere fatto nella progettazione dei nuovi edifici ma anche nell’adeguamento di quelli esistenti che rappresentano la stragrande maggioranza del patrimonio edilizio italiano ed europeo.

Nel recupero degli edifici esistenti, che sono difficilmente adattabili ai nuovi canoni di progettazione, si deve comunque scegliere di intervenire utilizzando – ove possibile – sistemi di produzione di energie da fonte rinnovabile e al contempo contenendo i consumi con un efficientamento dell’involturo, dopo una attenta analisi delle prestazioni energetiche e dei caratteri tipologici dell’esistente (diagnosi energetica).

Per quanto attiene alle nuove progettazioni già con la Direttiva Europea 16/01/2003 si prescrive per il sistema edilizio edificio-impianto una metodologia di calcolo comune, una applicazione di standard minimi comuni e una certificazione energetica degli edifici che ad oggi si è evoluta con l'obiettivo degli edifici NZEB (edifici ad energia quasi zero).

In questa ottica quindi è necessario mettere in campo nuove e diffuse competenze, sempre più integrate fra loro, al fine di sostenere una corretta gestione del processo edilizio e perseguire con determinazione gli obiettivi generali per realizzare una “*crescita*” coerente con i principi della sostenibilità sopraelencati. Questi temi infatti devono essere centrali nella gestione delle inevitabili trasformazioni territoriali e nel ripensamento delle nostre città così come nella pianificazione e progettazione delle nuove aree edificate.

All'interno di questo vasto e complesso contesto va inquadrato lo sforzo degli autori di questo volume, e più in generale degli autori di tutti i volumi della presente collana per sistematizzare, semplificare e divulgare le *Best available techniques* esistenti per l'efficientamento del sistema edificio-impianto, nell'ottica di una sempre più ampia opera di crescita della consapevolezza in tutti gli attori del processo edilizio dell'importanza di operare scelte tecniche consapevoli e ambientalmente responsabili.

Fabrizio Cumo

Presidente del corso di Laurea di Gestione del processo edilizio
Facoltà di Architettura, Sapienza Università di Roma

INTRODUZIONE

L'EFFICIENTAMENTO ENERGETICO DEL PATRIMONIO EDILIZIO

La parola “*energia*” deriva dal termine greco *ενέργεια*, impiegato da Aristotele per indicare un’azione efficace, attraverso l’aggettivo *εν*, intensivo, ed il sostantivo *έργον* che possiede più significati tra i quali “azione” e “ciò che spetta a qualcuno di fare”.

Questo significato è stato ripreso dalla fisica classica che ha definito l’energia come la capacità di un corpo o di un sistema di compiere un lavoro.

Un’azione efficace è ciò che viene richiesto a livello internazionale per salvaguardare i fragili equilibri ambientali dalla pressione antropica cresciuta esponenzialmente negli ultimi decenni.

Attualmente infatti più della metà della popolazione mondiale vive negli insediamenti urbani. In Italia, nello spazio occupato dalle città capoluogo di provincia si concentra oltre un terzo della popolazione e gran parte delle attività produttive. Recenti studi evidenziano inoltre che il 40-50% delle emissioni di gas serra sia da attribuire al settore civile contro il 25% dovuto al settore dei trasporti e il restante 25% ascrivibile all’industria. È quindi negli agglomerati urbani che bisogna indirizzare le azioni volte alla protezione del clima globale attraverso l’efficientamento energetico delle strutture esistenti e delle nuove costruzioni.

In Italia l’edilizia sostenibile si è finora concentrata sugli aspetti ecologici dell’urbanizzazione, mentre sarebbe opportuno orientare gli sforzi anche sulle problematiche dell’efficientamento energetico e dell’uso razionale dell’energia in tutte le fasi del processo edilizio per valutare e mettere a punto criteri, tecnologie e metodologie integrate nel rispetto dei più recenti documenti programmatici internazionali. Con edificio ad elevata efficienza energetica si intende infatti “*un organismo edilizio in grado di garantire al suo interno una condizione di benessere limitando al minimo l’utilizzo di fonti energetiche non rinnovabili*”¹ in cui il raggiungimento del comfort termo-igrometrico, acustico, luminoso, non è demandato esclusivamente all’impiantistica, ma deve essere ottenuto tramite opportune soluzioni tecnico-costruttive e tecnologiche, di cui occorre tener in conto sin dalle fasi iniziali del percorso di definizione del progetto. Partendo dalle condizioni climatiche, microclimatiche e geografiche dell’area di progetto si possono sfruttate tali caratteristiche geomorfologiche come risorse, in modo da conseguire una significativa riduzione dei consumi energetici anche attraverso soluzioni “*passive*” che permettano la riduzione dei carichi termici cui gli impianti tecnici devono sopperire.

Partendo da queste premesse si è quindi pensato di raccogliere in maniera critica le attuali migliori tecnologie per efficientare l’involturo edilizio in un testo che possa supportare i tecnici e i progettisti impegnati in questo ambito sia in caso di nuova costruzione che di ristrutturazioni significative.

Il testo è suddiviso in sei parti. La prima ripercorre le tappe legislative più rilevanti in materia di efficienza energetica, che hanno condotto alla definizione dell’attuale quadro normativo a scala europea e nazionale, per ridurre l’*ecological footprint* degli interventi edilizi. Vengono descritte inoltre le principali misure adottate per promuovere l’efficienza energetica, quali certificati bianchi, conto termico e detrazioni fiscali, per poter indirizzare le scelte progettuali verso una sostenibilità sia ambientale che economica. È stato dedicato uno spazio alla descrizione dei criteri ambientali minimi in edilizia, i CAM, legati alla tematica della sostenibilità ambientale dei materiali, integrata all’interno dei *Green public procurement*, che inducono le pubbliche amministrazioni a costituire i primi modelli virtuosi.

¹ I. Flagge, V. Herzog-Loibl, A. Meseure, Thomas Herzog. Architektur + Technologie - Architecture + Technology, Prestel Verlag, Munich - London - New York 2001, p. 10.

La seconda parte è dedicata ai requisiti tecnici dell'involucro edilizio sia opaco che trasparente e alla certificazione ambientale dell'edificio e dei singoli materiali e componenti, in quanto la sfida attuale sulla sostenibilità non si limita certamente alle sole caratteristiche prestazionali, ma deve considerare il loro intero ciclo di vita.

La terza parte è rivolta ai materiali e ai sistemi per efficientare l'involucro opaco, quali isolanti, intonaci e pitture e la quarta a quelli per l'involucro trasparente, quali vetri e schermature. Sono stati delineati i principali sistemi attivi e passivi da adottare sia per la nuova costruzione che per le ristrutturazioni, volti a migliorare le prestazioni energetiche dell'edificio, attraverso la riduzione della quantità annua di energia primaria necessaria per soddisfare vari bisogni legati principalmente alla climatizzazione invernale ed estiva, massimizzando al contempo i livelli di comfort termo-igrometrico e di qualità dell'aria interna. La quinta parte del volume descrive i sistemi integrati di produzione di energia da fonte rinnovabile quali fotovoltaico, solare termico ed eolico. Una particolare attenzione è stata rivolta a quei sistemi che, per la loro peculiarità, possono essere utilizzati anche in caso di edifici caratterizzati da vincoli architettonici e/o paesaggistici.

L'ultima parte è incentrata sulla descrizione delle metodologie di calcolo impiegate per la valutazione delle effettive prestazioni di materiali e componenti edili. Tali valutazioni sono state la base tecnico-scientifica per la compilazione di schede tecniche comparative realizzate per i più significativi esempi di materiali e sistemi presenti sul mercato e completate da dettagliate descrizioni utilizzabili come voci di capitolo tecnico.

Inoltre per far familiarizzare il lettore meno esperto con i termini tecnici introdotti dalle vigenti normative specifiche, è stato redatto un Glossario esplicativo che viene riportato alla fine del libro.

PARTE I

QUADRO NORMATIVO

RELATIVO ALL'EFFICIENZA ENERGETICA

1. EFFICIENTAMENTO E RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA: QUADRO NORMATIVO

La materia legislativa dell'efficienza energetica è entrata nell'agenda del governo italiano in modo significativo dopo la crisi petrolifera del 1973. Da tale data fino al 2001 il governo centrale legiferava in materia. Con l'avvento della riforma del titolo V della Costituzione, attuata con la Legge costituzionale 18 ottobre 2001, n. 3 la materia è passata di competenza alle Regioni e quindi quest'ultime possono recepire e/o modificare le linee guida di indirizzo nazionale in funzione delle peculiarità locali.

1.1 LA NORMATIVA NAZIONALE PRIMA DEL RECEPIMENTO DELLE DIRETTIVE EUROPEE

La prima legge emanata dallo Stato italiano in merito ai consumi degli edifici è la Legge 30 aprile 1976, n. 373, recante “*Norme per il contenimento del consumo energetico per usi termici negli edifici*”. Questa costituisce la prima risposta alla crisi petrolifera sorta nel 1973 con la guerra dello Yom Kippur, da cui è scaturito l'embargo contro gli USA e i sostenitori di Israele, con una conseguente drastica riduzione delle scorte di petrolio disponibili sul mercato.

La Legge 373/1976 era costituita da tre parti: la prima concerneva gli impianti di produzione del calore e i relativi sistemi di termoregolazione, la seconda riguardava l'isolamento termico degli edifici e la terza le sanzioni previste in caso di mancata osservanza della legge.

Successivamente è stata integrata da tre documenti:

- il D.P.R. 28 giugno 1977, n. 1052 che definiva i criteri di applicazione della Legge 373/1976 e i termini di presentazione della relazione tecnica;
- il D.M. 10 marzo 1977 che stabiliva le zone climatiche e i valori del coefficiente di dispersione volumico del calore negli edifici;
- il D.M. 30 luglio 1986 che aggiornava il coefficiente di dispersione termica sulla base del rapporto di forma S/V (superficie disperdente/volume riscaldato) dell'edificio e della fascia climatica di ubicazione.

L'uso razionale dell'energia e l'impiego delle fonti energetiche rinnovabili sono stati promossi attraverso la Legge 29 maggio 1982, n. 308; a tale scopo infatti quest'ultima ha introdotto la prima campagna di incentivi per i settori dell'edilizia, dell'industria e dell'agricoltura mediante l'erogazione di contributi a fondo perduto fino a un massimo del 30% della spesa di investimento documentata. Nel caso particolare degli edifici gli interventi incentivati riguardavano la coibentazione, l'installazione di pompe di calore, di impianti fotovoltaici ovvero di impianti per la produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile, di nuovi generatori di calore ad alto rendimento, di sistemi di controllo integrati capaci di regolare e contabilizzare i consumi energetici, per ogni singola utenza.

Gli interventi incentivati con la Legge 308/1982 hanno portato, nel triennio 1985-1987, a un risparmio medio annuo pari a circa 6 Mtep¹. Questo valore rappresentava circa il 7% del consumo energetico

¹ Mtep: Megatep, milioni di tonnellate equivalenti di petrolio; il tep rappresenta la quantità di energia rilasciata dalla combustione di una tonnellata di petrolio grezzo e vale circa 42 GJ.

finale dell'anno 1987 (113 Mtep). In termini di energia primaria il risparmio ammontava approssimativamente a 8 Mtep (quasi il 5% di 153 Mtep di energia primaria per lo stesso anno). L'investimento complessivo richiesto per la realizzazione degli interventi fu di circa 5.800 miliardi di lire², con un contributo concesso di circa il 30%, pari a 1.700 miliardi di lire. Tale risparmio consentì una riduzione della fattura energetica nazionale del 7,4% corrispondente a 1.400 miliardi di lire.

Tra il 1982 e il 1984 fu avviata a livello nazionale la campagna ENEL "Acqua calda dal sole" che puntava a far installare 100.000 m² di collettori solari; il risultato atteso non coincise con quello reale per il basso rendimento degli impianti dovuto alla scarsa qualità dei componenti impiegati.

La Legge 373/1976 è stata integrata e in parte sostituita dalla successiva Legge del 9 gennaio 1991, n. 10 "Norme per l'attuazione del Piano energetico nazionale in materia di uso razionale dell'energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia". Questa ha introdotto un nuovo iter per la verifica energetica degli edifici (sistema edificio-impianto) e ha compiuto un primo passo per la certificazione energetica di quest'ultimi. L'obiettivo principale riguardava il contenimento delle dispersioni termiche attraverso interventi quali l'isolamento di pareti e solai e la sostituzione degli infissi, per raggiungere il necessario risparmio energetico richiesto ed il benessere indoor. L'innovazione apportata da questa legge riguardava l'obbligo per gli edifici di proprietà pubblica, o adibiti ad uso pubblico, di soddisfare il fabbisogno energetico attraverso anche il ricorso a fonti energetiche rinnovabili, salvo impedimenti di natura tecnica ed economica; inoltre, essa ha esteso le incentivazioni previste dalla Legge 308/1982 alla trasformazione degli impianti centralizzati di riscaldamento in impianti unifamiliari a gas per il riscaldamento e la produzione di acqua calda sanitaria, e all'installazione di sistemi ad alto rendimento. Fu introdotto inoltre un nuovo indicatore di merito detto "Soglia di valutazione energetica principale", dato dal rapporto tra l'energia risparmiata nella vita dell'intervento in termini di energia primaria (GJ) e il costo dell'investimento.

A seguito della Legge 10/1991 è stato emanato il relativo decreto di attuazione, il D.P.R. 26 agosto 1993, n. 412, contenente il "Regolamento recante norme per la progettazione, l'installazione, l'esercizio e la manutenzione degli impianti termici degli edifici ai fini del contenimento dei consumi di energia, in attuazione dell'art. 4, comma 4, della legge 9 gennaio 1991, n. 10".

Fra le novità, la suddivisione del territorio nazionale in sei zone climatiche in funzione dei gradi giorno (somma, estesa a tutti i giorni di un periodo annuale convenzionale di riscaldamento, delle sole differenze positive giornaliere tra la temperatura dell'ambiente, 20 °C e la temperatura media esterna giornaliera), indipendentemente dall'ubicazione geografica (Figura I.1).



Figura I.1. Zone climatiche (fonte: www.edilportale.com).

² Importi in valuta 1987, tasso di cambio fisso in Eurozona: 1 EUR = 1936,27 ITL.



**Pagine non disponibili
in anteprima**



PARTE V

SISTEMI INTEGRATI DI PRODUZIONE ENERGETICA DA FONTI RINNOVABILI

12. ENERGIA SOLARE

Le energie rinnovabili sono fonti inesauribili di energia che vengono prodotte in massima parte tramite la radiazione solare, sotto forma di radiazioni con effetti diretti come l'irraggiamento visibile ultravioletto ed infrarosso ed effetti indotti come ad esempio la creazione di venti termici¹ che permettono di produrre anche energia eolica.

L'energia solare, valutata come irraggiamento solare a livello del suolo, costituisce un serbatoio inesauribile di energia pulita essenzialmente entro la fascia di territorio compresa tra 45° di latitudine sud e 45° di latitudine nord.

Lo sfruttamento di tale fonte energetica al pari della energia eolica è in atto da circa cinquanta anni ma negli ultimi vent'anni si è puntato molto sullo sviluppo di sistemi di captazione dell'irraggiamento solare per la produzione di energia termica ed elettrica soprattutto utilizzando i tetti e le superfici aggettanti degli edifici per evitare di sottrarre ulteriori porzioni di suolo all'ambiente naturale.

Come conseguenza sono stati progettati e realizzati numerosi componenti, totalmente o parzialmente integrabili nei sistemi dell'involucro edilizio, in grado di produrre energia e di fornirla direttamente dove essa viene consumata, cioè negli edifici stessi secondo il concetto della microgenerazione distribuita. In base a tale logica infatti gli edifici non sono più solo degli utilizzatori di energia ma anche e soprattutto dei produttori di energia rinnovabile, che possono essere collegati tra loro intercambiando flussi di energia elettrica e termica a seconda dei fabbisogni, secondo il concetto di rete energetica, la cosiddetta *smart grid*.

Attualmente quindi le principali fonti rinnovabili utilizzabili negli edifici sono quella solare ed eolica.

12.1 SISTEMI FOTOVOLTAICI

L'elemento base di un impianto fotovoltaico è la *cella*, una piccola lastra di materiale semiconduttore costituita generalmente da silicio. La radiazione solare incidente sulla cella consente di mettere in movimento gli elettroni presenti nel materiale, producendo in questo modo una corrente continua. Una cella fotovoltaica di dimensioni 10 × 10 cm nelle condizioni di soleggiamento tipiche dell'Italia (1 kW/m²), alla temperatura di 25 °C fornisce una corrente di 3 A, con una tensione di 0,5 V e una potenza pari a 1,5-1,7 Watt di picco (W_p). L'energia elettrica prodotta sarà, ovviamente, proporzionale all'energia solare incidente che, come sappiamo, varia nel corso della giornata al variare delle stagioni e al variare delle condizioni atmosferiche.

Le singole celle fotovoltaiche vengono unite tra loro a formare un modulo o pannello, che a sua volta è collegato in serie ad altri moduli costituendo una stringa; quest'ultima è collegata in parallelo ad altre analoghe.

La quantità di energia solare che raggiunge la superficie terrestre, e che può essere raccolta utilmente da

¹ Brezza creata a causa di differenti tempistiche di raffreddamento tra terra e mare.

un dispositivo fotovoltaico, dipende dall'irraggiamento. Quest'ultimo è, infatti, la quantità di energia solare incidente su una superficie unitaria in un determinato intervallo di tempo, tipicamente un giorno ($\text{kWh}/\text{m}^2/\text{giorno}$). Il valore istantaneo della radiazione solare incidente sull'unità di superficie viene invece denominato radianza (kW/m^2).

L'irraggiamento è influenzato dalle condizioni climatiche locali (nuvolosità, foschia, ecc.) e dipende dalla latitudine del luogo, crescendo quanto più ci si avvicina all'equatore.

In Italia, l'irraggiamento medio annuale varia così come riportato:

- 3,6 $\text{kWh}/\text{m}^2/\text{giorno}$ della pianura padana;
- 4,7 $\text{kWh}/\text{m}^2/\text{giorno}$ del centro Sud;
- 5,4 $\text{kWh}/\text{m}^2/\text{giorno}$ della Sicilia.

In località favorevoli è possibile raccogliere annualmente circa 2.000 kWh di energia elettrica da ogni metro quadro di moduli fotovoltaici, che è l'equivalente energetico di 1,5 barili di petrolio per m^2 .



*Figura V.1. Irraggiamento solare globale e potenziale produzione di energia elettrica fotovoltaica in Italia.
Fonte: PVGIS, European Communities, 2001-2008*

L'orientamento consigliato per un pannello fotovoltaico è quello verso sud con un'inclinazione uguale all'angolo di latitudine del sito stesso; questa configurazione consente di ridurre maggiormente le disparità tra la producibilità invernale ed estiva.

Tabella V.1. Fattori di correzione per inclinazione ed orientamento.

Orientamento	Inclinazione			
	0°	30°	60°	90°
Est	0,93	0,90	0,78	0,55
Sud-est	0,93	0,96	0,88	0,66
Sud	0,93	1,00	0,91	0,68
Sud-ovest	0,93	0,96	0,88	0,66
Ovest	0,93	0,90	0,78	0,55

Oltre al giusto orientamento e alla corretta inclinazione è importante valutare l'eventuale presenza di ostruzioni all'irraggiamento solare tramite l'impiego di software capaci di simulare l'interazione tra l'edificio oggetto d'intervento e il sole.

In base alle condizioni d'installazione, alle scelte impiantistiche, al tipo di applicazione a cui l'impianto è destinato, al grado di integrazione nella struttura edilizia, si distinguono varie tipologie di impianto. Esistono sistemi non collegati alla rete elettrica detti isolati (*stand-alone*) e sistemi collegati alla rete (*grid-connected*).

I primi sono costituiti da moduli fotovoltaici, regolatore di carica e sistema di batterie che garantisce l'erogazione di corrente anche nelle ore di illuminazione limitata o di buio. La corrente generata è continua e richiede perciò un inverter se l'utenza è costituita da apparecchiature che prevedono una alimentazione in corrente alternata.

Questa tipologia risulta tecnicamente ed economicamente vantaggiosa nei casi in cui la rete elettrica è assente o difficilmente raggiungibile, sostituendo spesso i gruppi elettrogeni.

In Italia sono stati realizzati molti impianti fotovoltaici di elettrificazione rurale e montana soprattutto nel Sud, nelle isole e sull'arco alpino.

Le applicazioni più diffuse servono ad alimentare:

- i servizi nei camper;
- apparecchiature per il pompaggio di acqua;
- apparecchi di refrigerazione, specie per il trasporto medicinali;
- impianti pubblicitari;
- ripetitori radio, stazioni di rilevamento, trasmissione dati (meteorologici e sismici), apparecchi telefonici;
- segnaletica sulle strade, nei porti e negli aeroporti;
- sistemi di illuminazione.

Diversamente i sistemi collegati alla rete elettrica consentono di usufruire dell'energia nelle ore in cui i pannelli fotovoltaici non producono energia necessaria a coprire la domanda di elettricità. Viceversa quando il sistema fotovoltaico produce energia elettrica in più, il surplus viene trasferito alla rete e contabilizzato. In questi impianti vengono installati due contatori per contabilizzare gli scambi fra l'utente e la rete. In questo caso non si ha perciò bisogno di batterie.



**Pagine non disponibili
in anteprima**



ISOLANTI

Isolanti organici naturali Pannello in fibra di lino

Natura Flax



CARATTERISTICHE

La fibra di lino impiegata per produrre i pannelli isolanti viene ricavata da piante provenienti da coltivazioni biologiche, con lavorazioni non inquinanti e con scarsa richiesta energetica. Le fibre vengono trattate con sali di boro e in alcuni casi addizionate con un supporto in fibra di poliestere.

Il lino è un materiale con ottime proprietà di isolamento termico ed acustico, è altamente traspirante e igroscopico, e non contiene sostanze nocive per la salute.

I pannelli flessibili vengono impiegati per isolare termicamente ed acusticamente intercapedini di costruzioni in legno, per cappotti interni, per cappotti esterni ventilati, per coperture ventilate, per pareti divisorie interne, per solai.

I pannelli rigidi in fibra di lino vengono utilizzati per l'isolamento acustico di solai galleggianti.

PRESTAZIONI

Calore specifico (kJ/kgK)	1,66	Potere fonoisolante (dB)	55 (solaio)
Massa volumica (kg/m³)	30	Coefficiente di resistenza alla diffusione del vapore acqueo μ	1
Conducibilità termica (W/mK)	0,04	Isolamento a fuoco (classe di reazione al fuoco)	B2

PROCEDURE DI FISSAGGIO

Con giunzioni metalliche



DESCRIZIONE POSA IN OPERA

Le fibre di lino vengono impiegate nell'isolamento a cappotto esterno, interno, pareti interne, coperture ventilate, controsoffitti in pannelli standard. Questi ultimi vengono impiegati in edifici di nuova costruzione e vengono incastrati tra le strutture dello scheletro del muro portante o dell'intercapedine della parete; per quanto riguarda la posa in opera nel controsoffitto, i pannelli vengono saldati alle strutture.

PARAMETRI DI CONFRONTO

- Mitigazione inquinamento acustico
- Posa in opera senza ponteggi esterni
- Efficiente rapporto spessore/isolamento
- Buona qualità/prezzo
- Velocità d'impiego
- Impiego per edifici residenziali

Elemento prefabbricato



Aspetto estetico personalizzabile



Impiego per edifici industriali
e settore terziario



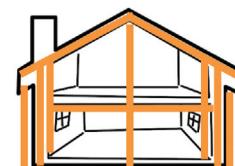
Impiego per edifici vincolati



Riciclabile/Riciclati



POSIZIONAMENTO



Isolanti organici naturali Pannello isolante termoacustico in fibra di canapa



Naturtherm CA

CARATTERISTICHE

La canapa è una materia prima rinnovabile, traspirante ed igroscopica, con ottime proprietà di isolamento termo-acustico; consente la regolazione dell'umidità e garantisce un salubre clima interno. Essa consente di isolare gli ambienti sia dal caldo che dal freddo ed è particolarmente adatta per ambienti umidi in quanto favorisce l'eliminazione di condensa interstiziale ed è resistente a muffe ed insetti. Il pannello è composto al 90% da fibre di canapa e al 10% da fibre di poliestere. È riciclabile al 100%.

I pannelli di fibra di canapa trovano applicazione in tutte le tipologie edilizie, in intercapedini di pareti perimetrali, partizioni interne, coperture e solai.

È adatto sia per nuove costruzioni che per ristrutturazioni o correzioni acustiche di ambienti esistenti.

PRESTAZIONI

Calore specifico
(kJ/kgK)

1,7

Massa volumica
(kg/m³)

30 - 50

Conducibilità termica
(W/mK)

0,038 - 0,040

Potere fonoisolante (dB)

Rw 55 dB su stratigrafia con spessore 38,5 cm composta da legno X-Lam con cappotto esterno in fibra di legno e canapa, rivestimento interno in tavole di argilla cruda e controparete in cartongesso isolato con NATURTERM CA di 120 mm.

Coefficiente di resistenza alla diffusione del vapore acqueo μ

1 - 2

Isolamento a fuoco (classe di reazione al fuoco)

E

PROCEDURE DI FISSAGGIO

Con giunzioni metalliche



DESCRIZIONE POSA IN OPERA

I pannelli di fibra di canapa vengono inseriti nel pacchetto del sistema isolante senza l'utilizzo di malte o colle; vengono infatti sistemati nei listelli delle pareti mediante incastro e ove necessario con giunzioni metalliche.

PARAMETRI DI CONFRONTO

Mitigazione inquinamento acustico



Elemento prefabbricato



Posa in opera senza ponteggi esterni



Aspetto estetico personalizzabile



Efficiente rapporto spessore/isolamento



Impiego per edifici di nuova costruzione



Buona qualità/prezzo



Impiego per edifici vincolati



Velocità d'impiego



Riciclabile/Riciclato



Impiego per edifici esistenti



POSIZIONAMENTO



ISOLANTI

ISOLANTI

Isolanti organici naturali Materassino in fibra di juta



Thermo - Jute 100

CARATTERISTICHE

Materassino in fibra di juta flessibile, imputrescibile e inattaccabile da muffe. È composto per il 90% da fibra di juta, per l'8% da PET e per il 2% da soda (additivo, protezione antincendio). È prodotto tramite il riciclo dei sacchi in juta per il trasporto del cacao nelle fabbriche di cioccolato della Germania, in un impianto alimentato da energia rinnovabile. Adatto all'isolamento in intercapedine di pareti e coperture ad intelaiatura in legno, nonché per riempimento di controsoffitti.

PRESTAZIONI

Calore specifico (kJ/kgK)	2,35	Resistenza alla trazione parallela alle facce (kPa)	≥ 30
Massa volumica (kg/m ³)	34 - 40	Coefficiente di resistenza alla diffusione del vapore acqueo μ	1 - 2
Conducibilità termica (W/mK)	0,036	Isolamento a fuoco (classe di reazione al fuoco)	E

PROCEDURE DI FISSAGGIO

- Con giunzioni metalliche
- Con malta o colle



DESCRIZIONE POSA IN OPERA

Il materassino viene inserito manualmente con facilità senza rischio di irritazioni all'interno degli alloggiamenti previsti e bloccato con giunzioni metalliche.

PARAMETRI DI CONFRONTO

Mitigazione inquinamento acustico	<input type="checkbox"/>	Elemento prefabbricato	<input checked="" type="checkbox"/>
Posa in opera senza ponteggi esterni	<input checked="" type="checkbox"/>	Aspetto estetico personalizzabile	<input type="checkbox"/>
Efficiente rapporto spessore/isolamento	<input type="checkbox"/>	Impiego per edifici di nuova costruzione	<input checked="" type="checkbox"/>
Buona qualità/prezzo	<input checked="" type="checkbox"/>	Impiego per edifici vincolati	<input type="checkbox"/>
Velocità d'impiego	<input checked="" type="checkbox"/>	Riciclabile/Riciclato	<input checked="" type="checkbox"/>
Impiego per edifici esistenti	<input type="checkbox"/>		

POSIZIONAMENTO



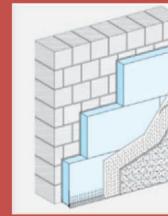


**Pagine non disponibili
in anteprima**



ISOLAMENTO A CAPPOTTO

Cappotto esterno Isolamento in EPS



EPS 100

CARATTERISTICHE

Il Sistema cappotto termico EPS è un sistema che prevede l'utilizzo di materiali isolanti in polistirolo espanso (EPS) per edifici esistenti e nuove costruzioni. I pannelli isolanti vengono incollati al sottofondo mediante una malta adesiva (collante SM700 / SM760), se necessario, ulteriormente tassellati.

Il Sistema cappotto termico può essere impiegato anche in edifici di altezza elevata al massimo fino a 22 m. Lo spessore materiale isolante ammesso è fino a 400 mm. La conseguente resistenza termica massima è pari a 12,5 m²K/W.

PRESTAZIONI

Coefficiente di resistenza alla diffusione del vapore acqueo μ	30-70	Condutibilità termica (W/mK) EN 12667	0,036
Isolamento a fuoco UNI EN 13501-1 e DIN 4102-1	E	Resistenza termica (m ² K/W) Spessore isolante 200 mm	5,55
Potere fonoisolante (dB) ABZ Z-33.41-81 e ABZ-33.43-82	52	Trasmittanza termica U (W/m ² K) EN ISO 10077-2	0,18
Trasmittanza termica U struttura in laterizio alleggerito 25 cm	0,22 W/m ² K	Trasmittanza termica U struttura in blocchi di cls areato autoclavato	0,17 W/m ² K
		Trasmittanza termica U struttura in laterizio tradizionale (2+8 cm)	0,24 W/m ² K

PROCEDURE DI FISSAGGIO

- Con giunzioni metalliche
- Con malta o colle
- Leganti e fissaggi meccanici

DESCRIZIONE POSA IN OPERA
I pannelli verranno preventivamente e adeguatamente incollati al sottofondo mediante malta adesiva e poi, se necessario, ulteriormente tassellati.

PARAMETRI DI CONFRONTO

- Mitigazione inquinamento acustico
- Posa in opera senza ponteggi esterni
- Efficiente rapporto spessore/isolamento
- Buona qualità/prezzo
- Velocità d'impiego
- Impiego per edifici residenziali

POSIZIONAMENTO

- Elemento prefabbricato
- Aspetto estetico personalizzabile
- Impiego per edifici industriali e settore terziario
- Impiego per edifici vincolati
- Materiali a basso impatto ambientale



Cappotto esterno

Isolamento in polistirene espanso sinterizzato e polistirene espanso arricchito con grafite



Respira

CARATTERISTICHE

Il pannello è prodotto coniugando il polistirene espanso sinterizzato EPS ad alta densità con un materiale tecnico di ultima generazione, ad elevato potere termoisolante, il polistirene espanso arricchito con grafite. Lo strato ad alta densità possiede opportuni pretagli di detensionamento ed il colore bianco protegge la grafite dai raggi solari. Il pannello inoltre è dotato di numerosi microfori di trascpirazione e speciali microfori anticondensa, ottenuti per processo unico di stampaggio, tali da assicurare trascpirazione ed evitare la formazione di condense all'interno del pannello. Quest'ultimo è certificato CE secondo EN 13163, soddisfa i requisiti della norma EN 13499 per applicazione con sistemi ad isolamento termico esterno a cappotto ETICS ed è norma ETAG004.

PRESTAZIONI

Coefficiente di resistenza alla diffusione del vapore acqueo μ

< 15

Conducibilità termica (W/mK)
EN 13163

0,031

Isolamento a fuoco
UNI EN 13501-1

E

Resistenza termica (m^2K/W)
Spessore isolante 140 mm

4,50

Resistenza a flessione (kPa)
EN 12089

> 150

Trasmittanza termica U (W/m²K)
EN ISO 10077-2

0,22

Trasmittanza termica U
struttura in laterizio
alleggerito 25 cm

0,29 W/m²K

Trasmittanza termica U
struttura in blocchi di cts
areato autoclavato

0,22 W/m²K

Trasmittanza termica U
struttura in laterizio
tradizionale (2+8 cm)

0,32 W/m²K

PROCEDURE DI FISSAGGIO

Con giunzioni metalliche



DESCRIZIONE POSA IN OPERA

L'isolante termico da utilizzare sarà costituito da pannelli isolanti in polistirene espanso sinterizzato EPS, prefornito da stampo, a celle chiuse, certificato CE. Il pannello possiede una speciale finitura romboidale adatta all'eccellente adesione di colla e rasante. Il fissaggio del pannello avverrà utilizzando idonea colla priva di solventi e appositi tasselli ad espansione. Colla, rasante e finitura dovranno possedere ottime caratteristiche di trascpirazione ($\mu < 15$) e idropelletta.

Con malta o colle



Leganti e fissaggi meccanici



PARAMETRI DI CONFRONTO

Mitigazione inquinamento acustico



Elemento prefabbricato



Posa in opera senza ponteggi esterni



Aspetto estetico personalizzabile



Efficiente rapporto spessore/isolamento



Impiego per edifici industriali e settore terziario



Buona qualità/prezzo



Impiego per edifici vincolati



Velocità d'impiego



Materiali a basso impatto ambientale



Impiego per edifici residenziali



POSIZIONAMENTO



ISOLAMENTO A CAPPOTTO