DELIVERABLE: D3.1.2
Materiale didattico per la sperimentazione dei dispositivi di formazione

Versione: 1
Data: 13/12/2017

Autore: Environment Park

Cross Border Energy Training

Sommario

A. Materiale didattico teorico sulla realizzazione dei cappotti termici 4
A.1 Materiali, sistemi e componenti per l'involucro efficiente e sostenibile 4
A.2 La certificazione dei materiali 5
A.3 Nozioni di urbanistica 5
B. Materiale didattico per il corso teorico sulla realizzazione degli impianti fotovoltaici 6
B.1 Fotovoltaico 6
C. Manuale dei corsi 7

Deliverable	*D3.1.2 Materiale didattico per la sperimentazione dei dispositivi di formazione*
Data	
Versione	*3*
WP	*Sperimentazione dei dispositivi innovativi di formazione pratica*
WP Leader	*Environment Park S.p.A.*
Partner che collaborano	*Groupement d'Intérêt Public pour la Formation et l'Insertion professionnelles de l'Académie de Nice + Institut National pour l'Energie Solaire + Istituto d'Istruzione Superiore Statale Erasmo da Rotterdam + C.S. AZIENDALE Soc. Cons. a r.l.*

A. Materiale didattico teorico sulla realizzazione dei cappotti termici

Si riporta di seguito il programma delle lezioni teoriche (introduttive all'esercitazione pratica sulla realizzazione dei cappotti termici che si svolgeranno ad Envipark) svolte dall'Istituto Erasmo da Rotterdam.

A.1 Materiali, sistemi e componenti per l'involucro efficiente e sostenibile

L'obiettivo è la definizione dell'efficienza energetica degli edifici, della sostenibilità ambientale dei materiali e delle principali tecnologie per la realizzazione di un involucro edilizio efficiente.
Il corso didattico si articolerà in:

1.1 **Blocchi da costruzione**: tecnologie, risoluzione dei nodi costruttivi, i ponti termici, le principali tipologie presenti sul mercato.
- 1.1.1 Blocchi in laterizio porizzato
- 1.1.2 Blocchi in calcestruzzo aerato autoclavato (AAC)
- 1.1.3 Blocchi in calcestruzzo alleggerito
- 1.1.4 Blocchi cassero in legno mineralizzato
- 1.1.5 Blocchi compositi e riempiti

1.2 **Materiali coibenti**: tipologie principali, caratteristiche tecniche, origine e livello di sostenibilità.
- 1.2.1 Materiali di origine minerale: i principali materiali di origine minerale quali: argilla espansa, vermiculite espansa, perlite espansa, pomice naturale, calce-cemento cellulare, calcio silicato, lana di roccia, lana di vetro, vetro cellulare.
- 1.2.2 Materiali di origine animale: i principali materiali di origine animale quali: lana di pecora, piume naturali.
- 1.2.3 Materiale di origine vegetale: i principali materiali di origine vegetale quali: canna palustre, fibra di Typha Latifolia, paglia, fieno, fibra di canapa, fibra di kenaf, fibra di cotone, fibra di cocco, fibra di lino, fibra di mais, fibra di cellulosa, fibra di legno, lana di legno mineralizzata, sughero.
- 1.2.4 Materiali di origine sintetica: i principali materiali di origine sintetica quali: polistirene espanso (EPS), polistirene espanso estruso (XPS), poliuretano (PUR) e polisocianurato (PIR) espanso, resine fenoliche espanse (PF), fibra di poliestrere (PET), pannelli sottovuoto (VIP), isolanti sottili riflettenti, aerogel.

1.3 **Tecniche di coibentazione**: illustrazione delle principali tecniche per la coibentazione di una parete e dei vantaggi /svantaggi di ogni soluzione.
- 1.3.1 Coibentazione dall'interno della parete
- 1.3.2 Coibentazione in intercapedine
- 1.3.3 Coibentazione sul lato esterno (a cappotto)

1.4 **I ponti termici**: definizione e tipologie di ponti termici, dimensioni, incidenza sulle prestazioni degli elementi costruttivi, tecniche di correzione.
- 1.4.1 I balconi e i marciapiedi
- 1.4.2 Pareti su solai verso interrati o verso sottotetti non riscaldati
- 1.4.3 Pilastri su solai verso locali non riscaldati
- 1.4.4 Rampe delle scale
- 1.4.5 Installazione dei serramenti
- 1.4.6 Tenuta all'aria

1.5 **Analisi dei particolari costruttivi di un edificio**: studio dei nodi strutturali e dei punti di connessione tra orizzontamenti e pareti verticali, tra telai degli infissi ed elementi verticali opachi, buone pratiche e criticità.

A.2 La certificazione dei materiali

L'obiettivo è la definizione del regolamento europeo CPR (Construction Production Regulation) del 1 luglio 2013:
Il corso didattico si articolerà in:

2.1 **Le tipologie di certificazione dei materiali**
2.2 **La dichiarazione di prestazione dei materiali**
2.3 **Il documento di valutazione tecnica dei materiali**
2.4 **La marcatura CE**

A.3 Nozioni di urbanistica

L'obiettivo è la definizione delle procedure per la realizzazione delle opere pubbliche con focus nella fase di gestione/programmazione.

3.1 **La progettazione**: i tre livelli di progettazione delle opere e le leggi attualmente in vigore
3.2 **Il piano di sicurezza e coordinamento del cantiere**: il coordinatore della sicurezza in fase di progettazione
3.3 **I titoli abilitativi**: CIL, SCIA, CILA; PDC
3.4 **Le procedure di appalto e l'affidamento di servizi: bando di gara, aggiudicazione, contratto e presa a carico**

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI:

- PROGETTO ABITARE SOSTENIBILE: LINEE GUIDA PER LA PROGETTAZIONE, A CURA DI ROSELLA SEREN ROSSO, DESARTECO S.R.L 2014
- REGOLAMENTO EUROPEO CPR (CONSTRUCTION PRODUCTION REGULATION) DEL 1 LUGLIO 2013, GAZZETTA UFFICIALE N. 190 DEL 16-08-2017

B. Materiale didattico per il corso teorico sulla realizzazione degli impianti fotovoltaici

Si riporta di seguito il programma delle lezioni teoriche (introduttive all'esercitazione pratica sulla realizzazione degli impianti fotovoltaici che si svolgeranno ad Envipark) svolte dall'Istituto Erasmo da Rotterdam.

B.1 Fotovoltaico

Verrà fatta un'introduzione al fotovoltaico con cenni storici e l'albedo.
Il corso didattico si articolerà in:

1.**2 I componenti del sistema fotovoltaico**: caratteristiche del componente base del sistema
    1.2.1 Il modulo fotovoltaico
    1.2.2 Il generatore fotovoltaico
    1.2.3 L'inverter
    1.2.4 I cavi
    1.2.5 I quadri elettrici
    1.2.6 Le strutture di sostegno
    1.2.7 Le scariche dei fulmini
    1.2.8 I collaudi
1.3 **Le tipologie di impianti fotovoltaici**: differenti tipologie di impianti fotovoltaici
    1.3.1 Il fotovoltaico a concentrazione
    1.3.2 Il fotovoltaico ad inseguimento
    1.3.3 Le differenti applicazioni del fotovoltaico
1.4 **Il dimensionamento di un impianto fotovoltaico**: nozioni di base sulla metodologia di dimensionamento di un impianto
1.5 **Le tipologie di perdite**: le differenti tipologie di perdite impiantistiche
    1.5.1 Perdite termiche e ottiche
    1.5.2 Perdite per sporcamento
    1.5.3 Perdite per riflessione
    1.5.4 Perdite per mismismatching
    1.5.5 Perdite ohmiche
    1.5.6 Perdite per ombreggiamento
1.6 **Valutazioni finanziarie per l'investimento fotovoltaico**

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI:

- PROGETTO ABITARE SOSTENIBILE2: LINEE GUIDA PER LA PROGETTAZIONE, A CURA DI ROSELLA SEREN ROSSO, DESARTECO S.R.L 2014

C. Manuale dei corsi

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

5

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

L'efficienza energetica dell'involucro non dipende da una tecnologia in particolare ma dal raggiungimento di caratteristiche che permettano con il minimo utilizzo di energia di mantenere sia in inverno che in estate le condizioni di comfort all'interno degli ambienti: valori minimi di trasmittanza termica (U), eliminazione di qualsiasi disomogeneità di comportamento termico (correzione ponti termici), eliminazione della possibilità di formazione di condensazioni superficiali e interstiziali, raggiungimento di ottime prestazioni estive contraddistinte da minimi valori di trasmittanza termica periodica ($Y_{i,\ e}$), alto sfasamento e smorzamento.

La sostenibilità ambientale dell'involucro nel suo complesso dipende dalla sostenibilità stessa dai materiali, dei componenti e dei sistemi con cui è realizzato. Primo fra tutti bisogna considerare il loro contenuto specifico di "energia grigia", cioè della quantità di Energia Primaria non rinnovabile spesa per la produzione, il trasporto e la posa dell'unità di massa. Tale caratteristica è quantificata dall'indice **PEInr** misurato in MJ/kg. Sono poi da tenere in considerazione altri indicatori, quali il loro potenziale di riscaldamento globale denominato **GWP** e misurato in kg CO_2 eq/kg, o il loro potenziale di acidificazione delle piogge denominato **AP** e misurato in kg SO_2 eq/kg. Questi indicatori ambientali sono tra quelli ottenuti dal calcolo del LCA *(Life Cycle Assessment)* e reperibili nei cosiddetti EPD *(Enviromental Product Declaration* - Dichiarazione Ambientale di Prodotto) che molti produttori mettono a disposizione.
Non sono infine da dimenticare le possibili emissioni dannose o tossiche che i materiali, i componenti o i sistemi utilizzati nell'involucro possono rilasciare durante la loro vita utile nell'ambiente, sia esterno che interno all'edificio.

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

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

5.1 | Blocchi da costruzione

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

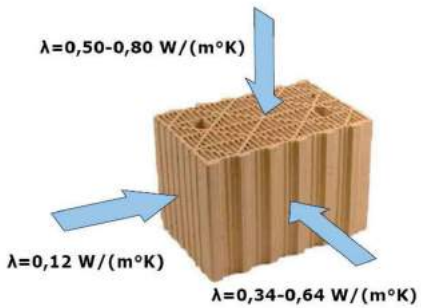
Marcatura CE blocchi da costruzione

Per i blocchi da costruzione vige l'obbligo di marcatura CE che attesti la conformità alla norma armonizzata UNI EN 771 divisa in sei parti:
- UNI EN 771-1:2011 Parte 1: Elementi per muratura di laterizio
- UNI EN 771-2:2011 Parte 2: Elementi di muratura di silicato di calcio
- UNI EN 771-3:2011 Parte 3: Elementi per muratura di calcestruzzo
- UNI EN 771-4:2011 Parte 4: Elementi di muratura di calcestruzzo aerato autoclavato
- UNI EN 771-5:2011 Parte 5: Elementi per muratura di pietra agglomerata
- UNI EN 771-6:2011 Parte 6: Elementi di muratura di pietra naturale.

5.1.1 Blocchi in laterizio porizzato

Norma di riferimento: UNI EN 771-1:2011

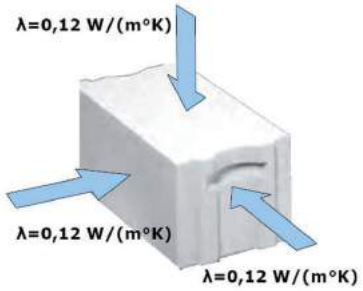
I blocchi in laterizio porizzato, grazie alla bassa densità apparente – ottenuta sia con la complessa geometria interna, sia con l'aggiunta nell'impasto di particelle di materiali che durante la cottura vaporizzano lasciando una miriade di alveoli/pori – raggiungono ragguardevoli comportamenti termici fino a λ equivalenti = 0,09 W/(mK). I migliori sono quelli rettificati, cioè con superfici di accostamento piane molto precise, che permettono strati di malta/colla sottilissimi (anche 1 mm), stesi con appositi apparecchi che consentono di sigillare fra corsi successivi i vuoti di trafilatura e impediscono l'instaurarsi di moti convettivi all'interno della parete. Quelli con le migliori prestazioni termiche hanno una bassa resistenza alla compressione e sono pertanto inadatti a murature portanti.
A seconda del materiale utilizzato per la formazione degli alveoli/pori, i blocchi possono avere caratteristiche di sostenibilità maggiore (utilizzo di segatura di legno) o minore (utilizzo di palline di polistirene espanso).
I blocchi sono prodotti in spessori che vanno da un minimo di 24 a un massimo di 49 cm.
Gli spessori di muratura realizzati con questa tecnica sono sempre considerevoli e i blocchi, benché abbiano comportamenti eccellenti, **non sono isotropi**, cioè non hanno lo stesso comportamento termico in tutte le direzioni; in particolare, la conduttività termica dichiarata è solo quella relativa alla corretta posizione di posa ortogonale al flusso termico. Questo può comportare che una messa in opera non accurata ne vanifichi le qualità termiche, a causa della disomogeneità di comportamento termico della parete finita (ponti termici puntuali dove i blocchi sono posati girati per "comodità" di cantiere). Inoltre, in caso di murature di tamponamento vanno trovate soluzioni per la correzione dei ponti termici di pilastri e bordi di solai.



5.1.2 Blocchi in calcestruzzo aerato autoclavato (AAC)

Norma di riferimento: UNI EN 771-4:2011

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



5.1.3 Blocchi in calcestruzzo alleggerito

Norma di riferimento UNI EN 771-3:2011

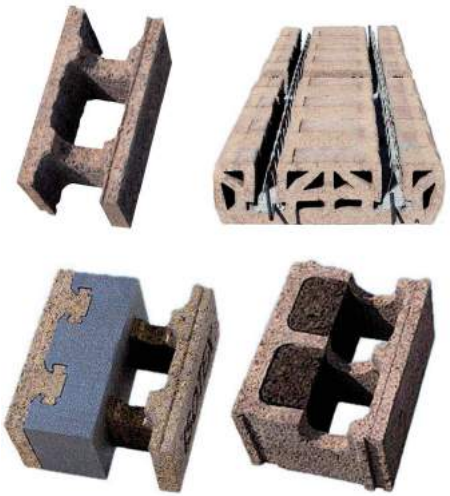
Alcuni tipi di blocchi si ottengono dalla miscela di sabbia e cemento con l'aggiunta di diversi additivi, come argilla espansa o pomice, con la funzione di diminuire la densità apparente del calcestruzzo da oltre 2000 kg/m³ a mediamente 500-1200 kg/m³, diminuendone di conseguenza la conduttività termica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

Lecablocco

5.1.4 Blocchi cassero in legno mineralizzato

Norma di riferimento: UNI EN 15498:2008
Benestare Tecnico Europeo (ETA) conforme a Linee Guida ETAG 0009

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

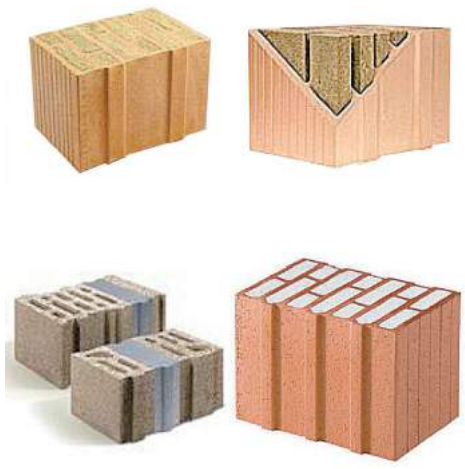


Isotex Srl

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

5.1.5 Blocchi compositi e riempiti

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



5.2 Materiali coibenti

Come anticipato nel capitolo 4, per avere strutture che impediscono il passaggio del calore è necessario utilizzare nelle stratigrafie materiali con bassa conduttività termica: in altre parole, materiali cosiddetti coibenti. Un materiale è considerato **blandamente coibente** se caratterizzato da un valore di conduttività termica λ inferiore a 0,10-0,08 W/(mK), **mediamente coibente** con valori compresi tra 0,045-0,035 W/(mK), **altamente coibente** con valori λ inferiori a 0,030 W/(mK) nell'ambito dell'economicamente abbordabile, fino a valori molto spinti di 0,010-0,008 W/(mK) nel caso dei feltri in aerogel e dei pannelli sottovuoto.
I materiali coibenti in commercio sono numerosissimi e molto vari per caratteristiche tecniche. Li elenchiamo qui di seguito, classificandoli in base all'origine della materia prima: minerale, animale, sintetica, vegetale. Di ogni materiale coibente sono date in forma molto stringata informazioni generali sulla produzione, l'impiego e lo smaltimento. Nella tabella al fondo dell'elenco sono messe a confronto le principali caratteristiche tecniche utili per i calcoli energetici e di sostenibilità.

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

Marcatura CE materiali coibenti

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

5.2.1 Materiali di origine minerale

Argilla espansa (LWA)

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

Argille selezionate in cave a cielo aperto, lasciate stagionare per diversi mesi e frantumate. I granuli ottenuti sono sottoposti a un trattamento termico (1200 °C) in cui avviene l'essiccazione e l'espansione. Si trova in commercio sfusa e viene impiegata in riempimenti a secco oppure, impastata con legante idraulico, nella realizzazione di sottofondi termoisolanti.
Smaltimento: può essere riutilizzata come inerte o smaltita nelle discariche specifiche per materiali da costruzione.
Precauzioni: indossare la mascherina durante la lavorazione e la posa.

Perlite espansa (EP, EPB)

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

Roccia di origine vulcanica, frantumata e ridotta in granuli espansi in forni a temperature comprese tra 850 e 1000 °C. Ha caratteristiche di idrorepellenza a volte migliorate mediante trattamenti con silicone, paraffina o silicato di potassio. Se ne producono anche pannelli con fibre di vetro, fibre di cellulosa, bitume e amido. Può essere usata in riempimenti a secco, come inerte in sottofondi alleggeriti o, nella tipologia a pannelli, come supporto termoisolante per guaine impermeabilizzanti.
Smaltimento: può essere riutilizzata come inerte o smaltita nelle discariche specifiche per materiali da costruzione.
Precauzioni: indossare la mascherina durante la lavorazione e la posa.

Serlite.it

Vermiculite espansa (EV)

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

Altro minerale di origine vulcanica frantumato e ridotto in granuli espansi con trattamento termico in forni a 1000 °C. Anche la vermiculite espansa può essere impiegata in riempimenti a secco, come inerte in sottofondi alleggeriti.
Smaltimento: può essere riutilizzata come inerte o smaltita nelle discariche specifiche per materiali da costruzione.
Precauzioni: indossare la mascherina durante la lavorazione e la posa.

Pomice naturale

Roccia vulcanica a struttura alveolare, estratta dalla cava, macinata e trattata con sostanze idrofughe. La pomice sfusa trova impiego in riempimenti a secco, come inerte in sottofondi alleggeriti.
Smaltimento: può essere riutilizzata come inerte o smaltita nelle discariche specifiche per materiali da costruzione.
Precauzioni: indossare la mascherina durante la lavorazione e la posa.

Calce-cemento Cellulare (Schiuma minerale)

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

Composto di sabbia quarzifera, cemento Portland, idrato di calcio, anidrite, schiuma espandente e acqua: con lo stesso procedimento di produzione del calcestruzzo cellulare autoclavato, viene fatto espandere e consolidare in caldaie a pressione di vapore e successivamente essiccato. Da non confondere con il calcio-silicato. Ridotto in granuli può avere gli stessi impieghi di perlite, vermiculite, etc. In pannelli è utilizzato nella coibentazione a cappotto esterno e facciate ventilate.
Smaltimento: sfuso può essere riutilizzato come inerte o smaltito nelle discariche specifiche per materiali da costruzione.
Precauzioni: indossare la mascherina durante la lavorazione e la posa.

Ytong

Calcio silicato (CS)

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

Prodotto in pannelli con calcio silicato poroso e cellulosa (-5%). Il suo principale impiego, vista la grande permeabilità al vapore, è nel delicato caso della coibentazione dall'interno, avendo la capacità di assorbire l'umidità per poi rilasciarla negli ambienti. L'alto valore di pH 10,5 ostacola l'attecchimento delle spore della muffa.
Smaltimento: può essere riutilizzato o smaltito nelle discariche specifiche per materiali da costruzione.
Precauzioni: indossare guanti, occhiali e mascherina durante la lavorazione e la posa.

Promat.it

5.2 Materiali coibenti

Lana di roccia (MW)

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

Consiste per il 98% di basalto, diabase e dolomite. La roccia viene macinata e portata a fusione a 1400 °C e trasformata in fibre con un procedimento simile a quello usato per la produzione dello zucchero filato. Le fibre vengono spruzzate di resine e oli come leganti e idrofughi (fenolformaldeide), successivamente fatte indurire in forni caldissimi e infine tagliate in pannelli. La lana di roccia è particolarmente impiegata in sistemi coibenti a cappotto esterno, in intercapedine e nella protezione antincendio.
Smaltimento: può essere riutilizzata o altrimenti smaltita nelle discariche specifiche per materiali da costruzione.
Precauzioni: indossare guanti, occhiali e mascherina durante la lavorazione e la posa.

Flumroc

Lana di vetro (MW)

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

La lana di vetro è prevalentemente ottenuta da vetro di recupero (ca. 60%), tramite fusione a 1350 °C con sabbia, poi viene trasformata in fibre, come la lana di roccia, e addizionata con un legante (resine melamminiche e fenoliche) per aumentarne la coesione. Successivamente le fibre sono sottoposte a calandratura a 200 °C e infine ridotte in materassini, pannelli e feltri. Adatta per sistemi di coibentazione a cappotto, in intercapedine, etc.
Smaltimento: può essere riutilizzata, altrimenti deve essere smaltita nelle discariche specifiche per materiali da costruzione.
Precauzioni: indossare guanti, occhiali e mascherina durante la lavorazione e la posa.

Vetro cellulare (CG)

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

Dalla fusione di sabbia quarzifera, calcio, feldspato, soda e vetro riciclato si ricava una massa di vetro fuso che viene estrusa e macinata fino a ottenere una polvere di vetro. La miscela, dopo l'aggiunta di carbonio, viene posta nuovamente a 1000 °C per la fase di espansione. Il vetro cellulare può essere utilizzato per tutti gli impieghi, e soprattutto in presenza di umidità e acqua, essendo completamente impermeabile a vapore e acqua. È prodotto anche sotto forma di ghiaia, particolarmente adatta per isolamenti di fondazioni.
Smaltimento: i pannelli possono essere riutilizzati se posati a secco; il vetro cellulare potrebbe inoltre essere recuperato e rifuso ma il processo è per ora antieconomico.
Precauzioni: indossare guanti, occhiali e mascherina durante la lavorazione e la posa.

Foamglas, fanrisparmio.com

5.2.2 Materiali di origine animale

Lana di pecora

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

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

lanadipecora.com, klimalan.de, isolena.at

Piume animali

Non sono stati reperiti ETA in corso di validità

Le piume animali sono un sottoprodotto dell'allevamento e successivo abbattimento di oche, anatre e altri volatili a scopo alimentare, in particolare legati alla produzione del cosiddetto fois gras. In Francia vengono prodotti rotoli di piume, previa miscelazione con lana di pecora e fibre sintetiche di rinforzo: disinfettati e legati a una temperatura di circa 150 °C sono poi trattati con sali di boro per renderli imputrescibili e inattaccabili dai parassiti.
Benché il materiale sia di per sé "naturale", non può essere considerato sostenibile dal punto di vista ambientale l'abbattimento di animali per ottenere la materia prima.
Precauzioni: nessuna.

5.2.3 Materiali di origine vegetale

Canna palustre

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

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

leobodner.it

Fibra di Typha Latifolia (Stiancia)

Non sono stati reperiti ETA in corso di validità.

Pianta monocotiledone della famiglia delle Typhaceae, è caratterizzata da spighe cilindriche marroni a forma di salsiccia lunghe fino a 30 cm, e cresce spontaneamente in zone umide e paludose fino a raggiungere anche 250 cm di altezza. Le canne seccate vengono trasformate in pannelli rigidi di densità che varia tra 200 e 300 kg/m^3; la disposizione delle fibre a strati incrociati conferisce ai pannelli un ottimo comportamento meccanico (resistenza a compressione fino a 80 N/mm^2 per pannelli da 320 kg/m^3), tanto da essere stato felicemente impiegato in Germania nella ristrutturazione/riqualificazione energetica di edifici storici in graticcio di legno per la realizzazione dei tamponamenti delle pareti esterne, successivamente intonacate. Esiste anche una variante in cui le fibre sono disposte in tutte le direzioni e sono compattate e saldate con magnesite: in tal caso il comportamento termico è isotropo. **Smaltimento**: i pannelli integri possono essere riutilizzati, altrimenti inceneriti o compostati solo se non trattati con magnesite. **Precauzioni**: nessuna.

Fraunhofer IBP

5.2 Materiali coibenti

Paglia

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

Il materiale è lo scarto agricolo delle coltivazioni dei cereali, in particolare degli steli che dopo la trebbiatura vengono compattati e ridotti in balle di densità variabile da 90 a 180 kg/m^3. Le balle sono poi cordate con spaghi molto tesi e costituiscono veri e propri blocchi da costruzione con cui vengono erette intere strutture secondo varie tecniche. Il comportamento termico dipende molto dal grado di densità e dalla coltivazione di origine. Le proprietà di sostenibilità ambientale particolarmente spiccate ne fanno la regina dei materiali coibenti e costruttivi eco-sostenibili.
Smaltimento: se non intonacata può essere compostata, altrimenti incenerita.
Precauzioni: nessuna.

Materialisostenibili.it, architetturaecosostenibile.it

Fieno (graminacee)

Benestare Tecnico Europeo (Es: ETA 06/0274)

I pannelli sono costituiti dalla parte cellulosica del fieno di graminacee e sono addizionati con fibra in polietilene quale supporto. Il materiale non è allergenico perché il taglio avviene prima della stagione di fioritura, inoltre è privo di spore di funghi. La base cellulosica ed il trattamento ignifugo cui è sottoposto, rendono il materiale poco appetibile ai parassiti e inalterabile nel tempo.
Smaltimento: il materiale di scarto di posa è recuperato e interamente riciclato per la produzione di altri pannelli.
Precauzioni: nessuna.

Gramitech SA

Fibra di canapa

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

Deriva dalla pianta della canapa da fibra tessile. Dopo l'essiccamento in appositi forni e la macerazione in vasche d'acqua per distaccare le fibre, queste vengono trattate con soda o sali di boro e sottoposte a termofissaggio dopo l'aggiunta, come supporto, di fibra di poliestere, o, nei pannelli più naturali, con fibre di mais. I pannelli possono essere utilizzati in tutti i casi che non prevedano presenza di acqua, in particolare nelle costruzioni in legno.
Smaltimento: è riutilizzabile e riciclabile a cascata, nel tessile, nella produzione di carta e cartone a sua volta riciclabile, e infine utilizzato come combustibile. Può essere compostata solo la canapa pura priva di poliestere.
Precauzioni: nessuna.

Architetturaecosostenibile.it, NaturaliaBau

Fibra di kenaf

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

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

Ecosalon.com, ecologiaedesign.com, edilio.it

Fibra di cotone

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

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

Casaenergetica.it

Fibra di cocco

Non sono stati reperiti ETA in corso di validità.

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

Fibradicoccopannelli.com, innotec Naturdämmstoffe

Fibra di lino

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

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

Casaenergetica.it

Fibra di mais

Non sono stati reperiti ETA in corso di validità.

Deriva dalla pannocchia di mais ed è ricavata dall'estrusione e filatura dell'acido polilattico che si ottiene dalla fermentazione dei chicchi di mais. Le fibre così ottenute sono sottoposte a cardatura, faldatura e termoregolatura in appositi forni alla temperatura di 160 °C. I pannelli di fibra di mais sono utilizzabili in intercapedini, in cappotti interni ed esterni ventilati, pareti divisorie interne, controsoffitti, solai e sottopavimenti.
Smaltimento: i pannelli possono essere riadoperati se integri, altrimenti il prodotto è biodegradabile al 100%.
Precauzioni: nessuna.

Biofiber, O.R.V. Manufactoring

5.2 Materiali coibenti

Fibra di cellulosa

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

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

Isofloc.ch, thermofloc.com, homatherm.com

Fibra di legno (WF)

Norma di riferimento: UNI EN ISO 13171:2013

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

Pavatex.ch, hofatex.ch, steico.com

Lana di legno mineralizzata (WW)

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

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

Celenit, Heraklith, Eraclit

Sughero (ICB)

Norma di riferimento: UNI EN ISO 13170:2013

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

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

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

Agraria.org, tecnosugheri.it, molinas.it

5.2.4 Materiali di origine sintetica

Polistirene espanso (EPS)

Norma di riferimento: UNI EN ISO 13163:2013,

Il polistirene è un polimero termoplastico ottenuto dalla polimerizzazione dello stirene o stirolo derivato del petrolio. Dopo processi di produzione piuttosto complessi il polistirene espanso (le palline sfuse) viene sinterizzato per la produzione di pannelli rigidi. Si presenta solitamente di colore bianco, di recente se ne trova di colore grigio, dovuto all'aggiunta di polvere di grafite che ne migliora la capacità coibente. È utilizzabile per tutti i tipi di impiego, ma in caso di esposizione prolungata all'umidità assorbe acqua, quindi se ne evita generalmente l'uso in luoghi umidi. Non ha un buon comportamento estivo e in caso di applicazione a cappotto può peggiorare il comportamento acustico della parete.
Smaltimento: è riciclabile solo nella sua forma pura e non è biodegradabile; a fine vita deve pertanto essere incenerito.
Precauzioni: il taglio con filo caldo deve avvenire all'esterno o in locali ben aerati perché si sprigionano sostanze tossiche, in ogni caso va fatto uso della mascherina.

Polistirene espanso estruso (XPS)

Norma di riferimento: UNI EN ISO 13164:2013

Il polistirolo estruso viene prodotto con procedimento del tutto simile a quello espanso, solo al termine della lavorazione le perline di stirolo vengono estruse con gas propellenti. Dopo l'uso sconsiderato di CFC come gas propellente, da alcuni anni questo processo avviene in maniera relativamente ecocompatibile, ad esempio con l'impiego di CO_2 estratta dall'atmosfera quale gas propellente. In breve tempo l'aria va a sostituirla negli alveoli del materiale, in seguito a processi di scambio. La struttura a cellule chiuse, contrariamente all'EPS, lo rende particolarmente resistente all'umidità. Lo si trova in commercio in pannelli rigidi con o senza "pelle" e viene principalmente usato in luoghi umidi: zoccolature dei cappotti, tetti piani, sottofondazione.
Smaltimento: come per l'EPS.
Precauzioni: il taglio con filo caldo deve avvenire all'esterno o in locali ben aerati perché si sprigionano sostanze tossiche, in ogni caso con uso della mascherina.

Basf, Dow

Poliuretano (PUR) e poliisocianurato (PIR) espanso

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

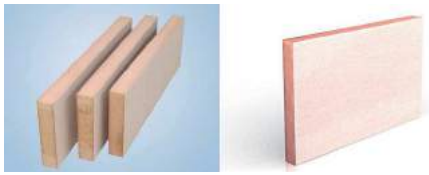
Il poliuretano espanso è un polimero termoindurente derivato dal petrolio. Si ottiene tramite processi complicati e molto dispendiosi dal punto di vista energetico. Lo si trova in lastre rigide solitamente rivestite, in particolare con alluminio, su ambo i lati. In edilizia è molto usato anche in forma di schiuma espandente in loco per sigillature (ad esempio controtelai dei serramenti). Teme i raggi UV e non è insensibile all'umidità. Fra i coibenti più comunemente usati è quello che ha conduttività termica più bassa.
Smaltimento: non riciclabile, a fine vita va incenerito.
Precauzioni: indossare la mascherina durante il taglio dei pannelli, aerare gli ambienti durante l'uso delle schiume espandenti in loco.

Isotec, Corafoam, Ediltec, Stiferite

Resine fenoliche espanse (PF)

Norma di riferimento: UNI EN ISO 13166:2013

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



STO, Weber.therm, Baumit

Fibra di Poliestere (PET)

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

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

Mappy Italia, Ecozero

Pannelli sottovuoto (VIP)

Benestare Tecnico Europeo (Es. ETA 13/0515)

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

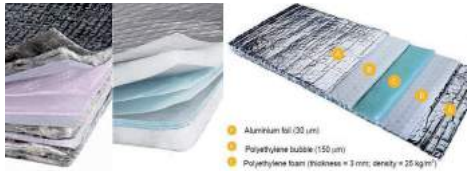
Porextherm, Va-Q-vip F

Isolanti sottili riflettenti

Norma di riferimento: UNI EN 16012:2012

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

Alcuni produttori sostengono di essere oggetto di discriminazione commerciale dovuta alle lobby dei produttori di coibenti tradizionali, e hanno elaborato proprie prove tecniche alternative non conformi alle norme armonizzate europee: queste prove forniscono valori molto alti di resistenza termica (ribattezzata "Efficacia Termica"), intorno addirittura a 6,1 (m^2K)/W per un valore equivalente di λ_{eq} = 0,010 W/(mK).
L'ANIT ha pubblicato già nel 2010, e aggiornato nel 2012, un ottimo approfondimento sull'argomento, intitolato *Corretta Progettazione con Materiali "Isolanti Riflettenti"*.
Smaltimento: non sono riutilizzabili né riciclabili.
Precauzioni: occhiali da sole per la posa sui tetti.



KdB Isolation, Actis

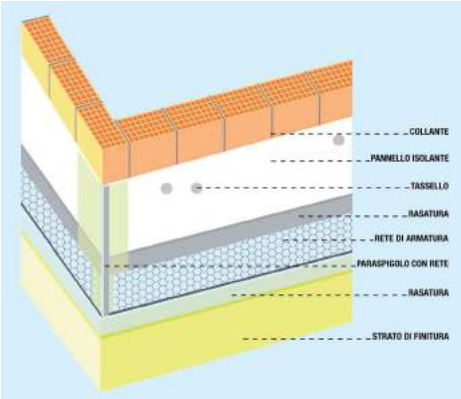
Aerogel

Benestare Tecnico Europeo (ETA - 11/0471)

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

Aspen Aerogels, ecofine.it

SIKKENS RENOVATHERM - sistema a cappotto



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

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

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

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

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

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

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

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

Caratteristiche tecniche

I componenti del sistema Renovatherm:

Pannelli termoisolanti in EPS:
- Energy: λ=0,032 W/(mK) - EPS classe 100
- White PLUS : λ=0,035 W/(mK) - EPS classe 80
- Black: λ=0,031 W/(mK) - EPS classe 100

eni versalis

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

AkzoNobel sikkens

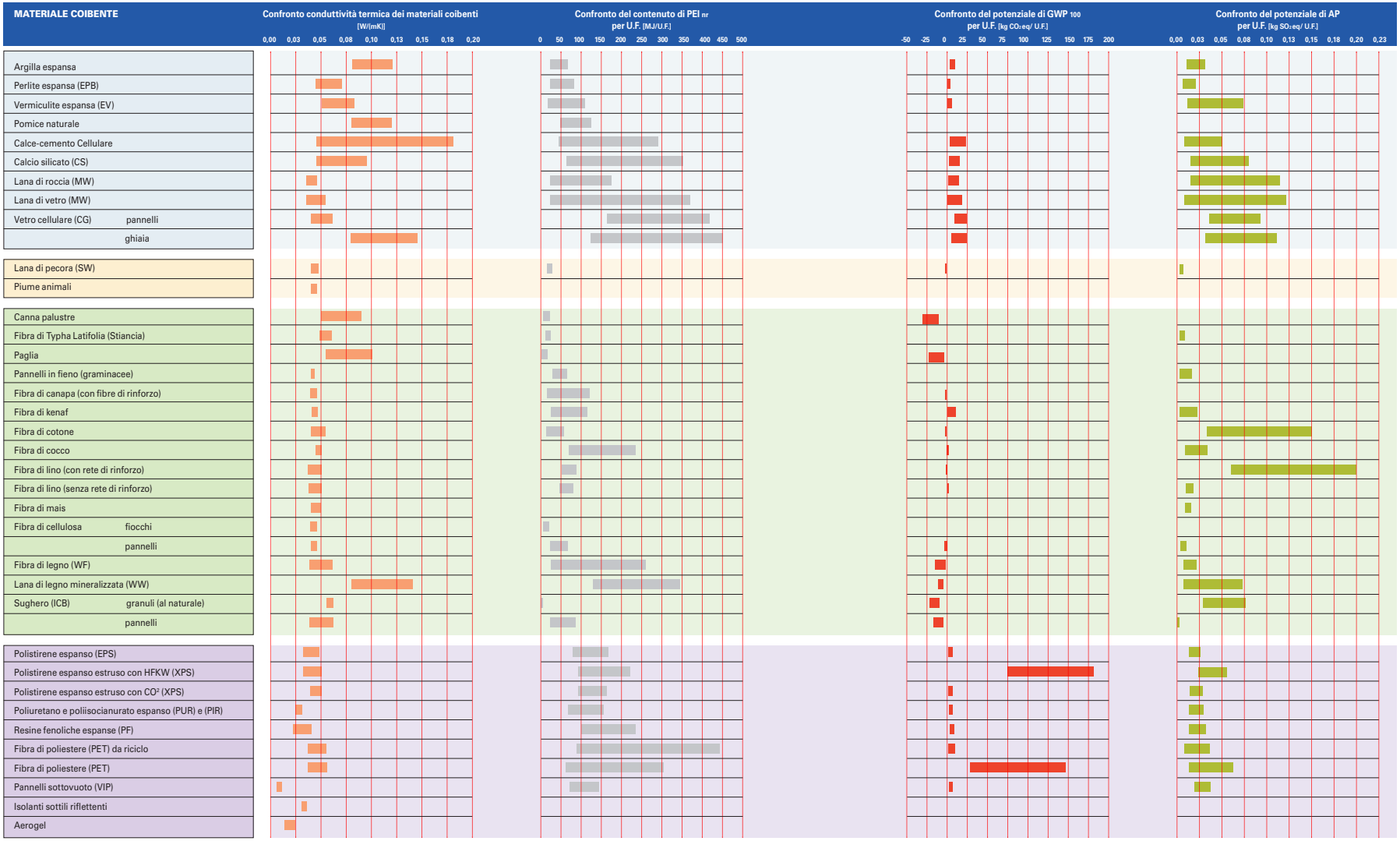
AKZO NOBEL COATINGS S.p.A
Via G. Pascoli, 11 - 28040 Dormelletto (NO)
Tel. 0322 401611 - Fax 0322 401607
Numero Verde 800 826 169
www.sikkens.it
servizio.clienti@akzonobel.com

5.2 | Materiali coibenti

MATERIALE COIBENTE		Massa volumica ρ [kg/m³]		Conduttività termica λ [W/(mK)]		Calore specifico c [kJ/(kgK)]		Diffusività termica a [10⁻⁶ x m²/s]	Resistenza al vapore μ [-]	Energia primaria non rinnovabile* PEinr [MJ/kg]	Potenziale di riscaldamento globale* GWP 100 [kg CO_2 eq/ kg]	Potenziale di acidificazione* AP [kg SO_2 eq /kg]	Comportamento al fuoco UNI EN 13501-1 Classe	Spessore per avere resistenza termica R = 1 [m² K/W] [m]		Unità Funzionale U.F. [kg/m²]		Contenuto di PEI_{nr} per U.F. [MJ/U.F.]		Potenziale di GWP_{100} per U.F. [kg CO_2 eq/ U.F.]		Potenziale di AP per U.F. [kg SO_2 eq/ U.F.]	
Argilla espansa		260	500	0,080	0,120	0,9	1	0,277	3-9	1,140	0,164	0,0005	A	0,080	0,120	20,80	60,00	23,712	68,400	3,411	9,840	0,010	0,030
Perlite espansa (EPB)		80	180	0,045	0,070	1	1	0,442	3-8	6,450	0,295	0,0015	A-C	0,045	0,070	3,60	12,60	23,220	81,270	1,062	3,717	0,005	0,019
Vermiculite espansa (EV)		50	200	0,050	0,082	0,8	1,08	0,562	1-3	6,724	0,306	0,0045	A-B2	0,050	0,082	2,50	16,40	16,809	110,269	0,765	5,017	0,011	0,074
Pomice naturale		400	700	0,080	0,120	1	1	0,182	3-6	1,480	-	-	A-B2	0,080	0,120	32,00	84,00	47,360	124,320				
Calce-cemento Cellulare		80	130	0,045	0,180	1,3	1,3	0,824	5-10	12,340	1,006	0,0021	A	0,045	0,180	3,60	23,40	44,424	288,756	3,622	23,540	0,008	0,049
Calcio silicato (CS)		115	300	0,045	0,095	0,86	1	0,363	2-20	12,340	0,574	0,0028	A1	0,045	0,095	5,18	28,50	63,860	351,690	2,972	16,366	0,014	0,080
Lana di roccia (MW)		30	180	0,035	0,045	0,9	1,3	0,346	1 2	21,360	1,935	0,0141	A1	0,035	0,045	1,05	8,10	22,428	173,016	2,032	15,674	0,015	0,114
Lana di vetro (MW)		15	150	0,035	0,053	0,9	1,03	0,553	1 2	46,250	2,454	0,0153	A2	0,035	0,053	0,53	7,95	24,281	367,688	1,288	19,509	0,008	0,122
Vetro cellulare (CG)	pannelli	100	170	0,040	0,060	0,9	1	0,390	∞	40,990	2,433	0,0090	A1	0,040	0,060	4,00	10,20	163,960	418,098	9,732	24,817	0,036	0,092
	ghiaia	200	400	0,080	0,145	0,9	1	0,395	-	7,720	0,429	0,0019	A1	0,080	0,145	16,00	58,00	123,520	447,760	6,864	24,882	0,030	0,110
Lana di pecora (SW)		20	30	0,040	0,046	1,2	1,5	1,274	1-5	19,740	0,537	0,0041	E	0,040	0,046	0,80	1,38	15,792	27,241	0,430	0,741	0,003	0,006
Piume animali	rotoli	25	35	0,040	0,045	-	-	-	1-5	-	-	-	-	0,040	0,045	1,00	1,58	0,000	0,000				
Canna palustre		130	210	0,050	0,090	1,2	1,6	0,294	2-5	1,150	-1,589	0,0004	E	0,050	0,090	6,50	18,90	7,475	21,735	-10,329	-30,032	0,003	0,008
Fibra di Typha Latifolia (Stiancia)		220	320	0,048	0,060	1,5	1,5	0,133	2-5	1,150			E	0,048	0,060	10,56	19,20	12,144	22,080	0,000	0,000	0,000	0,000
Paglia		60	180	0,054	0,100	2	2	0,321	2-5	0,800	-1,246	0,0009	-	0,054	0,100	3,24	18,00	2,592	14,400	-4,037	-22,428	0,003	0,016
Pannelli in fieno (graminacee)		40	80	0,040	0,043	1,7	1,7	0,407	1-2	18,500			E	0,040	0,043	1,60	3,44	29,600	63,640	0,000	0,000	0,000	0,000
Fibra di canapa (con fibre di rinforzo)		15	100	0,039	0,045	1,6	1,6	0,457	1-3	26,680	0,077	0,0047	E-B2	0,039	0,045	0,59	4,50	15,608	120,060	0,045	0,347	0,003	0,021
Fibra di kenaf		20	80	0,040	0,045	1,6	1,7	0,515	1-2	31,600	3,140	0,0417	B2	0,040	0,045	0,80	3,60	25,280	113,760	2,512	11,304	0,033	0,150
Fibra di cotone		20	60	0,040	0,053	0,84	1,3	1,086	1-2	18,100	0,020	0,0105	B-s2, d0 - E	0,040	0,053	0,80	3,18	14,480	57,558	0,016	0,064	0,008	0,033
Fibra di cocco		50	150	0,045	0,050	1,6	1,6	0,297	1-2	31,050	0,428	0,0267	B2	0,045	0,050	2,25	7,50	69,863	232,875	0,963	3,210	0,060	0,200
Fibra di lino (con rete di rinforzo)		40	50	0,037	0,050	1,5	1,5	0,644	1-2	35,270	0,497	0,0066	B-s2, d0 C-s2, d0	0,037	0,050	1,48	2,50	52,200	88,175	0,736	1,243	0,010	0,017
Fibra di lino (senza rete di rinforzo)		40	50	0,037	0,050	1,5	1,5	0,644	1-2	31,540	0,218	0,0055	B-s2, d0 C-s2, d0	0,037	0,050	1,48	2,50	46,679	78,850	0,323	0,545	0,008	0,014
Fibra di mais		10	80	0,040	0,050	1,9	1,9	0,526	3	-													
Fibra di cellulosa	fiocchi	20	60	0,039	0,045	1,6	2	0,583	1-3	7,180	0,885	0,0035	B-s2 - E	0,039	0,045	0,78	2,70	5,600	19,386	-0,690	-2,390	0,003	0,009
	pannelli	35	85	0,040	0,045	1,6	2	0,394	1-3	17,520	-0,244	0,0051	B-s2 - E	0,040	0,045	1,40	3,83	24,528	67,014	-0,342	-0,933	0,007	0,020
Fibra di legno (WF)		45	300	0,038	0,060	1,4	2,1	0,162	2-10	14,400	-0,804	0,0040	E	0,038	0,060	1,71	18,00	24,624	259,200	-1,375	-14,472	0,007	0,072
Lana di legno mineralizzata (WW)		400	600	0,080	0,140	1,5	1,8	0,133	5-8	4,070	-0,133	0,0009	B-s1,d0	0,080	0,140	32,00	84,00	130,240	341,880	-4,256	-11,172	0,029	0,076
Sughero (ICB)	granuli (al naturale)	90	200	0,055	0,060	1,6	1,7	0,240	5-20	0,310	-1,695	0,0001	B-C-E	0,055	0,060	4,95	12,00	1,535	3,720	-8,390	-20,340	0,000	0,001
	pannelli	100	220	0,038	0,060	1,6	1,7	0,186	2-10	6,450	-1,224	0,0019	B-C-E	0,038	0,060	3,80	13,20	24,510	85,140	-4,651	-16,157	0,007	0,025
Polistirene espanso (EPS)		25	35	0,032	0,048	1,4	1,5	0,920	20-120	98,900	4,169	0,0149	E	0,032	0,048	0,80	1,68	79,120	166,152	3,335	7,004	0,012	0,025
Polistirene espanso estruso con HFKW (XPS)		30	45	0,032	0,050	1,4	1,5	0,754	70-200	97,840	81,150	0,0240	E	0,032	0,050	0,96	2,25	93,926	220,140	77,904	182,588	0,023	0,054
Polistirene espanso estruso con CO^2 (XPS)		25	35	0,040	0,050	1,4	1,5	1,034	70-200	93,560	4,205	0,0155	E	0,040	0,050	1,00	1,75	93,560	163,730	4,205	7,359	0,016	0,027
Poliuretano e poliisocianurato espanso (PUR) e (PIR)		30	55	0,024	0,030	1,35	1,45	0,454	30-200	94,040	4,299	0,0177	B-s2, d0 C-s3, d0	0,024	0,030	0,72	1,65	67,709	155,166	3,095	7,093	0,013	0,029
Resine fenoliche espanse (PF)		35	45	0,022	0,040	1,5	1,5	0,517	60	131,000	4,980	0,0174		0,022	0,040	0,77	1,80	100,870	235,800	3,835	8,964	0,013	0,031
Fibra di poliestere (PET) da riciclo		30	100	0,037	0,055	1,25	1,5	0,515	1-3	79,900	1,820	0,0066	B-s2, d0	0,037	0,055	1,11	5,50	88,689	439,450	2,020	10,010	0,007	0,036
Fibra di poliestere (PET)		15	50	0,037	0,055	1,25	1,5	1,029	1-3	109,745	53,795	0,0224	B-s2, d0	0,037	0,055	0,56	2,75	60,908	301,799	29,856	147,936	0,012	0,062
Pannelli sottovuoto (VIP)		180	210	0,006	0,010	0,8	0,8	0,051	∞	67,520	3,615	0,0175	A1-B2	0,006	0,010	1,08	2,10	72,922	141,792	3,904	7,592	0,019	0,037
Isolanti sottili riflettenti		25	30	0,030	0,035	-	-	-	∞	-			B-s1-d0										
Aerogel		150	150	0,014	0,024	1	1	0,127	5	-			C-s1-d0										

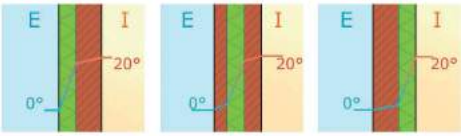
* Fonte: www.IBO.at 2013

5.2 | Materiali coibenti



5.3 Dove e come coibentare

Tenendo sempre presente che per la "regola del pennarello" lo strato coibente non deve mai essere interrotto, si distinguono tre soluzioni a seconda del posizionamento nella stratigrafia delle strutture che costituiscono l'involucro:
- coibentazione dall'interno
- coibentazione in intercapedine
- coibentazione dall'esterno (a cappotto).



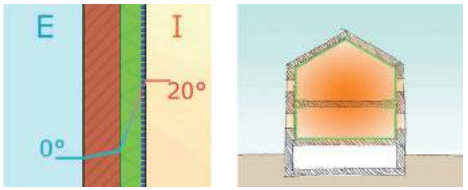
Posizione delle coibentazioni

5.3.1 Coibentazione dall'interno

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

Svantaggi:

- ridotti spessori di coibentazione (tipicamente 6 cm, massimo 10 cm, per limitare l'eccessivo abbassamento della temperatura della superficie di contatto tra coibente e lato interno della parete perimetrale);
- riduzione delle dimensioni degli ambienti interni;
- estrema difficoltà di risoluzione dei ponti termici negli incroci parete esterna-solai e parete esterna-pareti interne, e intorno ai serramenti esterni: l'unica soluzione è il risvolto per almeno 60-100 cm dello strato coibente;
- nel caso di edifici esistenti è indispensabile accertarsi della presenza di impianti, in particolare reti dell'acqua e del riscaldamento, perché prima dell'intervento la parete è riscaldata dalle stesse dispersioni ma dopo l'intervento di coibentazione la temperatura della parete può scendere anche sotto 0 °C e provocare il congelamento delle tubature con conseguenze molto gravi;
- se si utilizzano materiali fibrosi o cellulari, quali fibre minerali o polistirene espanso o estruso, è indispensabile la posa di una barriera al vapore sul lato caldo dello strato coibente per evitare problemi gravissimi di condensa interstiziale che, oltre a diminuire sensibilmente il potere termoisolante del coibente, possono portare con il tempo anche a danni strutturali. La posa di tale guaina deve essere curata alla perfezione (cosa per nulla banale) perché qualsiasi fessura, anche minima, permetterebbe il trasporto di grandi quantità di vapore e grandi quantità di condensa interstiziale;
- se si utilizza il vetro cellulare in pannelli, in quanto completamente impermeabile al vapore, non è necessaria la barriera al vapore;
- se si utilizzano materiali igroscopici quali i pannelli in calcio silicato, in idrati di silicati di calcio, in fibra di cellulosa (a pannelli) o specifici prodotti in fibra di legno per coibentazione interna, non è necessaria la posa di barriera al vapore. Essi infatti hanno la proprietà di assorbire l'umidità degli ambienti, di conservarla e di cederla nuovamente all'ambiente (in presenza di appropriata ventilazione).



Coibentazione dall'interno.

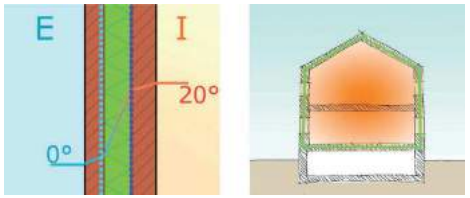
Posa di coibentazione interna in pannelli di idrati di silicato di calcio senza barriera al vapore. Risvolto a soffitto per attenuazione ponte termico

Vantaggi:

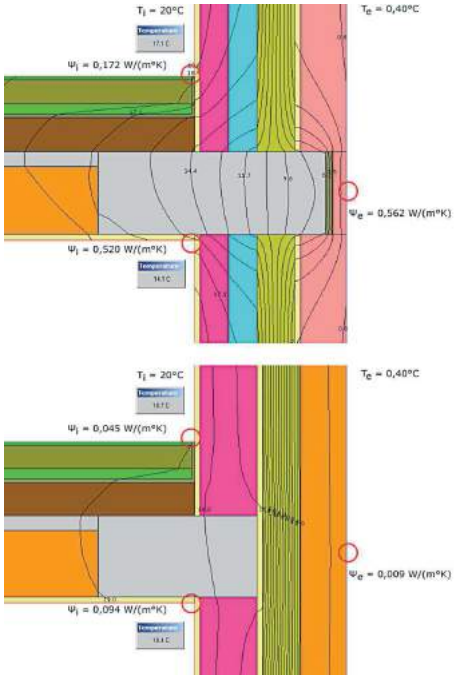
- posa relativamente semplice (assenza di ponteggi esterni);
- rapido riscaldamento degli ambienti, perché l'inerzia delle murature viene completamente tagliata fuori dallo strato coibente, il che d'altro canto riduce sensibilmente il grado di utilizzo degli apporti gratuiti invernali (non vengono "immagazzinati"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

5.3.2 Coibentazione in intercapedine

Nelle nuove edificazioni, affinché sia rispettata la "regola del pennarello", la coibentazione in intercapedine va concepita come un vero e proprio "cappotto" aderente alla muratura interna, di solito più spessa e massiccia, che nel caso di struttura in c.a. include lo spessore dei pilastri (sempre più spessi per normativa sismica) protetto esternamente da una muratura di 8-12 cm, intonacata o a vista (paramano), adeguatamente ancorata alla muratura interna (in media 6 graffe/m^2).



Coibentazione in intercapedine.



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

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

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

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

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

Svantaggi:

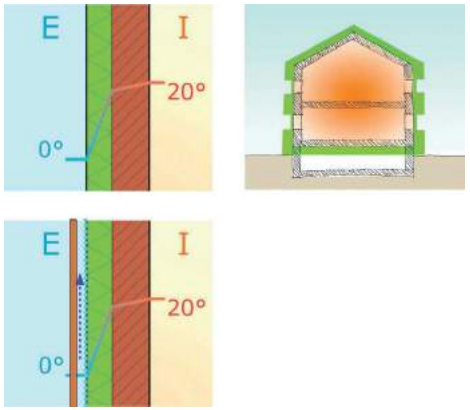
- spessori mediamente elevati delle pareti (45-55 cm e oltre);
- sistema molto costoso per le numerose lavorazioni necessarie, alcune delle quali, nei nodi più complessi, costituiscono dei veri e propri "ricami";
- dettagli molto impegnativi, sia nella progettazione che nella realizzazione, per i nodi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

Vantaggi:

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

5.3.3 Coibentazione sul lato esterno (a cappotto)

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



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

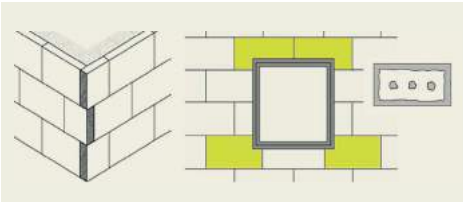
È bene chiarire che la coibentazione a cappotto va intesa come sistema nel suo insieme e non come singoli componenti (collante, tasselli, pannelli termoisolanti, rete porta-intonaco, profili, nastri espandenti di sigillatura, etc.): il sistema deve essere marcato CE ed essere dotato di Benestare Tecnico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

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

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

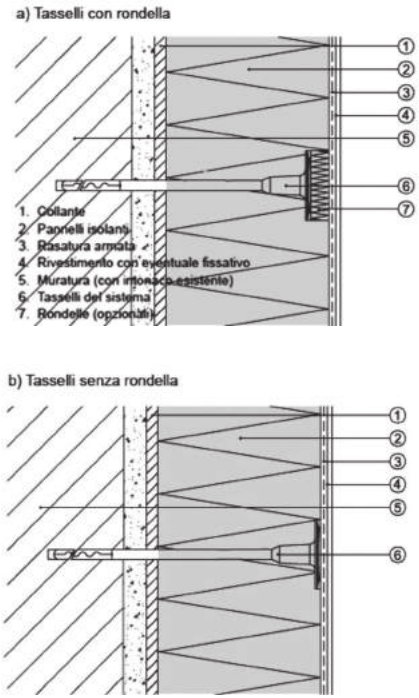
Zone esposte agli spruzzi della pioggia realizzate con materiali coibenti e rasanti/collanti specifici per impedire la risalita dell'acqua nello strato coibente.

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



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

- i pannelli devono combaciare perfettamente. Se è rimasta qualche piccola fuga, deve essere sigillata con lamelle di coibente, non con schiuma a espansione o peggio ancora con il collante/rasante;
- i pannelli devono essere perfettamente complanari fra di loro;
- la tassellatura deve essere effettuata solo dopo che il collante ha fatto presa, e i tasselli devono avere la testa a fungo perfettamente a filo con la superficie del pannello. Nel caso di successivo incollaggio di listelli in laterizio o Klinker la tassellatura deve essere effettuata sopra la rete di armatura per sopportare il peso aggiuntivo (intorno ai 25 kg/m^2);
- lo schema della disposizione dei tasselli dipende dal tipo di

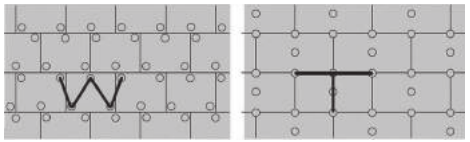


Tipi di tasselli di fissaggio. Fonte: Manuale CORTEXA.

5.3 Dove e come coibentare

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

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



Schemi disposizione tasselli. Fonte Manuale CORTEXA.

Svantaggi:

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

Vantaggi:

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

5.4 Ponti termici

I ponti termici sono discontinuità nel comportamento termico dell'involucro, dovute a perturbazioni locali del flusso termico e caratterizzate dalla deviazione delle isoterme dall'andamento parallelo alle facce interne ed esterne della struttura. Vanno intesi come veri e propri strappi nell'involucro da cui fuoriesce calore in forma concentrata.
Possono essere di tipo geometrico (ad esempio gli spigoli dell'edificio) o strutturale (come il pilastro in cemento armato all'interno della parete perimetrale). Possono essere lineari se estesi per una dimensione (tipicamente i balconi a sbalzo) o puntuali se concentrati in un punto (come ad esempio una mensola metallica ancorata a una parete esterna).

Le conseguenze di un ponte termico non corretto sono:

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

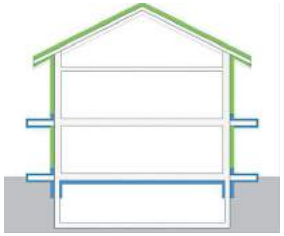
La correzione dei ponti termici geometrici avviene, in parte, tenendo sotto controllo la compattezza dell'edificio in fase di progettazione (meno spigoli, meno ponti): si risolvono applicando una buona coibentazione termica all'edificio.
Più complicata e varia è invece la risoluzione dei ponti termici costruttivi.
Premesso che ogni progetto deve essere preso singolarmente e non è possibile generalizzare le soluzioni, vediamo alcuni esempi tipici.

5.4.1 I balconi e i marciapiedi

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

Alcune possibili soluzioni:

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



Rivestimento aggetti con coibente.

- **Uso dei giunti strutturali a taglio termico o disgiuntori termici**. Si tratta di pezzi speciali, prodotti in moltissime varianti, che permettono di collegare strutturalmente la trave di cordolo del solaio con la soletta del balcone con interposta coibentazione ad alta densità (sintetica o minerale) in spessori intorno a 8-10 cm. Il tratto dei tondini di armatura che attraversa lo strato coibente deve essere in acciaio inox (alcune ditte incapsulano il tondino normale in un tubo in acciaio inox sigillato con resina epossidica) per due motivi: primo, potrebbe formarsi condensa all'interno dello strato coibente e ossidare il tondino in acciaio normale; secondo, l'acciaio inox λ = 16 W/(m K) conduce molto meno il calore rispetto all'acciaio da armatura λ = 60 W/(m K).
  Questi pezzi non si acquistano già fatti ma, in accordo con il progettista strutturale dell'edificio, vengono dimensionati e prodotti "ad hoc" per il progetto specifico. In genere per contenere la freccia massima non possono essere realizzati balconi più profondi di 1,5- 2 metri. Sebbene siano piuttosto cari sono termicamente molto efficaci. Non è esclusa la possibilità di elaborare un dettaglio costruttivo su misura, magari più economico.
- **Separare strutturalmente il balcone dalla parete**, appoggiandolo a terra con pilastrini o appendendolo alla struttura

Disgiuntori termici per l'esecuzione di un aggetto.

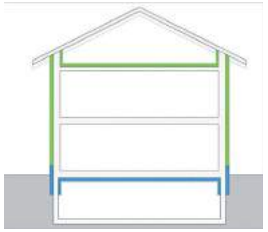
del tetto con tiranti. Il collegamento alla parete può avvenire in pochi punti isolati. Questa è la soluzione migliore ma non sempre adottabile: dipende dalle norme urbanistiche che definiscono la superficie coperta o la distanza fra gli edifici.

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

5.4.2 Pareti su solai verso interrati o verso sottotetti non riscaldati

Un altro ponte termico cui dedicare attenzione è costituito dall'appoggio delle pareti, sia esterne che interne, su solai verso locali freddi, soprattutto se si è scelto di isolare il solaio da sopra (estradosso).
Esistono in commercio pezzi speciali coibenti – generalmente a base di vetro cellulare ad alta resistenza meccanica – su cui appoggiare le murature; poiché sono generalmente molto costosi, possono essere anche sostituiti realizzando il primo corso con il più economico calcestruzzo cellulare autoclavato portante, che ha buone caratteristiche termiche, λ circa 0,14 W/(m K), o riempiendo i fori dei blocchi in laterizio del primo corso o due di blocchi con coibente sfuso minerale tipo vermiculite espansa.
Nel caso in cui il solaio verso locali interrati sia coibentato da sotto (intradosso), è necessario eseguire dei risvolti interni di coibente sulle pareti verticali dell'interrato per un'altezza non minore di 1 m, e comunque fino alla quota del coibente esterno a cappotto, con uno strato di coibente tale da assicurare una resistenza termica R ≥ 1,25 (m^2 K)/W.

Muri appoggiati su strato coibente in vetro cellulare.



Risvolto della coibentazione sulle pareti verso gli ambienti freddi.

5.4.3 Pilastri su solai verso locali non riscaldati

Altro caso di ponte termico da valutare con attenzione sono i pilastri che poggiano su solai verso ambienti non riscaldati dove, se non sono in falso, si presuppone continuino.
Se si è scelto di coibentare il solaio da sopra (estradosso), i pilastri devono essere avvolti sul lato caldo (ambienti riscaldati) per un altezza H ≥ 1,0-1,5 metri dal basso verso l'alto, con uno strato di coibente tale da assicurare una resistenza termica R ≥ 1,25 (m^2 K)/W.
Se si è scelto invece di coibentare il solaio da sotto (intradosso) i pilastri devono essere avvolti sul lato freddo (ambienti interrati non riscaldati) per un altezza H ≥ 1,0-1,5 metri dall'alto verso il basso, con uno strato di coibente tale da assicurare una resistenza termica R ≥ 1,25 (m^2 K)/W.
La situazione è inversa, ma viene risolta con gli stessi principi, in caso di solai che stanno sotto locali non riscaldati (sottotetti).

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

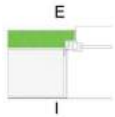
5.4.4 Rampe delle scale

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

5.4.5 Installazione dei serramenti

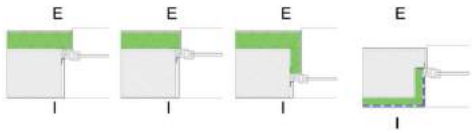
Tutto il perimetro di contatto fra il sistema finestra e la parete (controtelaio, se c'è, o telaio fisso) se non adeguatamente risolto costituisce un ponte termico.

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



Posizione ideale del serramento nello strato coibente.

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



Posizioni del serramento rispetto allo strato coibente.

- Nel caso in cui sia necessario, per motivi tecnici o scelte architettoniche, installare il serramento arretrato o addirittura a filo interno parete, si dovranno coibentare le mazzette laterali, il voltino e il sotto-davanzale con uno strato di coibente tale da assicurare una resistenza termica R ≥ 1,5 (m^2 K)/W, fino a collegarsi con il contro-telaio o il telaio fisso. Si procede allo stesso modo in caso di coibentazione dall'interno delle pareti.
- Se il serramento prevede avvolgibili o veneziane esterne come sistemi di oscuramento e ombreggiamento, il cassonetto dovrà essere coibentato con uno strato tale da assicurare una resistenza termica R ≥ 1,5 (m^2 K)/W frontalmente e R ≥ 1 (m^2 K)/W lateralmente (testate laterali del cassonetto), preferibilmente con apertura di ispezione esterna.

5.4.6 Tenuta all'aria

Come accennato nel capitolo 4, per ridurre le dispersioni per ventilazione Q_{ven} bisogna progettare l'involucro a tenuta all'aria e, come per lo strato di coibentazione, deve esistere uno strato di tenuta all'aria senza interruzioni ("regola del pennarello").
Per verificare la tenuta all'aria dell'involucro va eseguito il cosiddetto *Blower-door test* secondo la norma UNI EN 13829: "Prestazione termica degli edifici - Determinazione della permeabilità all'aria degli edifici - Metodo di pressurizzazione mediante ventilatore". L'apparecchio di misurazione, dotato di una grossa ventola, viene installato al posto di uno dei serramenti e, una volta acceso, mette in pressione o depressione l'edificio a 50 Pascal [Pa]. Questo permette anzitutto di individuare, sia a mano che con appositi strumenti, se esistono degli spifferi, e poi di risalire al tasso di ricambio di aria n50 [1/h] che esprime la frequenza con cui, per una differenza di pressione di 50 [Pa], l'intero volume di aria dell'edificio viene ricambiato ogni ora. Ad esempio, un valore n50 di 3,0 [1/h] significa che il volume di aria interna viene ricambiato completamente 3 volte in un'ora; con un valore n50 di 0,5 [1/h] avviene solo mezzo ricambio all'ora. Più è basso il valore n50 misurato più l'edificio ha una buona tenuta all'aria.
Edifici a basso consumo energetico: dovrebbero avere tasso di ricambio n50 < 2,0 [1/h].
Edifici a bassissimo consumo energetico: devono avere tasso di ricambio n50 < 1 [1/h].
Gli edifici passivi devono avere tasso di ricambio n50 < di 0,6 [1/h].
I difetti più frequenti di tenuta si riscontrano in:

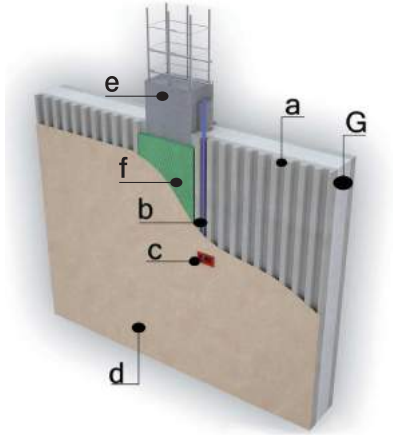
- tutti gli attraversamenti impiantistici dell'involucro: tubi per il riscaldamento e l'acqua, vani tecnici, condotte di espulsione dell'aria, scatole elettriche nelle pareti esterne;
- cassonetti e cinghie per gli avvolgibili, arganelli manuali per le veneziane;
- i camini, che in un edificio ad alta efficienza devono essere a fiamma chiusa con presa di aria comburente dall'esterno;
- installazione non a tenuta delle finestre e delle porte verso l'esterno;
- attacco pavimento parete esterna;
- posa scorretta della guaina freno/barriera a vapore;
- collegamento pareti esterne tetto inclinato.

Nel caso di costruzioni con tecnologia a secco e in legno i problemi sono amplificati, e ogni giunto a secco deve essere minuziosamente sigillato con appositi nastri presenti in commercio in numerose varietà.
Nel caso delle costruzioni in muratura la tenuta all'aria è assicurata dallo strato di intonaco interno sulle pareti perimetrali: per essere efficace deve essere ininterrotto.
Un errore tipico, nel caso di controsoffittature, è quello di non intonacare la parte di muratura non in vista al di sopra del controsoffitto, perché in quel punto la tenuta all'aria non è assicurata.

Esecuzione del *Blower-door test* e verifica con anemometro durante la prova in sottopressione degli spifferi d'aria in ingresso. Esecutore del BDT ing. Andrea Cagni.

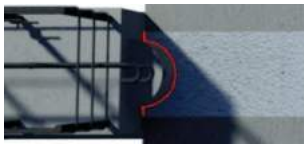
Nastrature negli edifici in legno. Esecutore del BDT ing. Andrea Cagni.

KLIMASYSMICO - MURO S MODUL5



Klimasismico, sistema costruttivo brevettato, che coniuga tradizione ed innovazione, utilizzando tecniche tradizionali associate ai vantaggi della precostruzione o prefabbricazione, nel rispetto della corretta risoluzione dei ponti termici. Il connubio offre un prodotto, dalle caratteristiche classiche della tipologia edilizia a telaio, con maggiori prestazioni termiche, igrometriche ed antisismiche. La tecnica costruttiva può essere utilizzata per edifici di varia tipologia siano essi monopiano che pluripiano, con qualsiasi destinazione d'uso e caratteristica architettonica.

Muro S32 Modul5 è l'elemento fondamentale che crea l'involucro edilizio (**G**) ed è costituito da: due lastre (interna cm 4/8 ed esterna cm 6) in calcestruzzo fibrorinforzato ed alleggerito con perle di polistirolo (densità kg/m^3 1500; coibentazione interposta tra le due lastre in EPS (densità 20 kg/m^3) di cm 18. La superficie interna del pannello è a rilievi al fine di predisporre il passaggio degli impianti (**a**). L'estremità delle pareti termina con bassi rilievi al fine di creare la connessione ai pilastri (**e**) e le battute di posa dell'isolante (**f**) (cm 4 interno e cm 3 esterno). In opera si procede quindi alla posa degli impianti (**b**,**c**) e il successivo rivestimento interno in lastre in cartongesso o similari (**d**). La parte esterna dalle pareti verrà rifinita con intonaco fibrorinforzato. La connessione tra i muri S32 Modul5 e pilastri, realizzata con getto in opera, garantisce una salda unione antisismica ed un miglior assorbimento delle sollecitazioni sismiche.



Caratteristiche tecniche

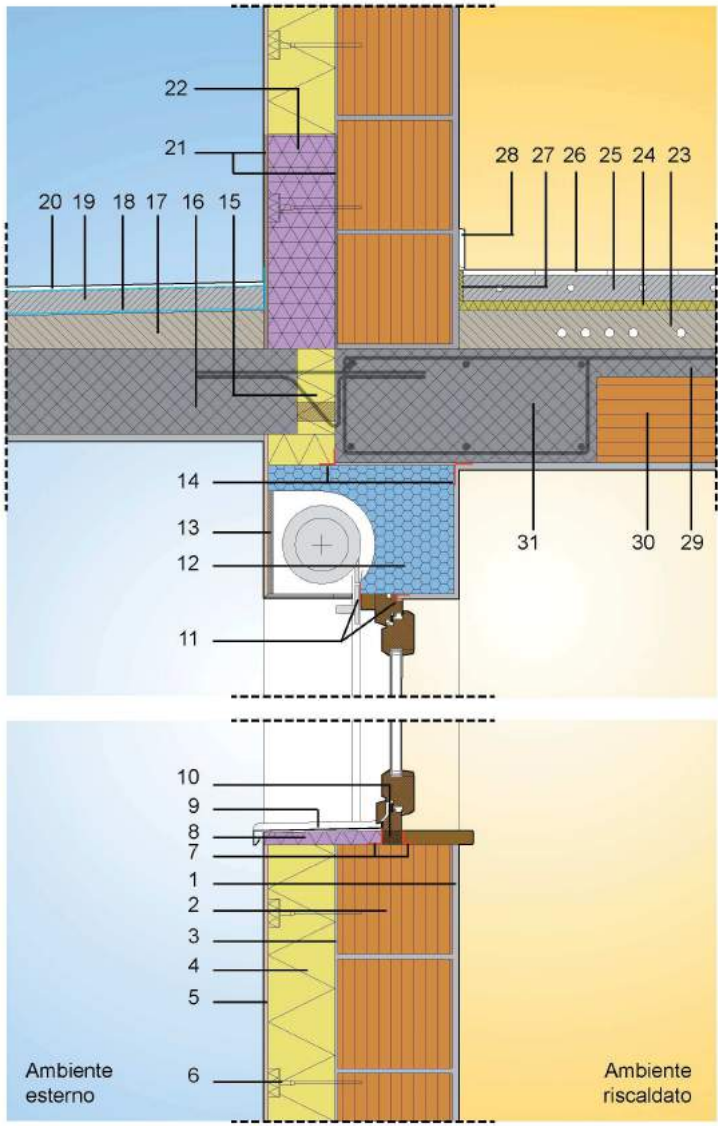
S32 modul5:
Trasmittanza 0,192 W/m^{2}K
Massa superficiale 354 kg/m^2
Sfasamento 8,45 h

Sistema costruttivo

Certificato n° ER-0894/2010

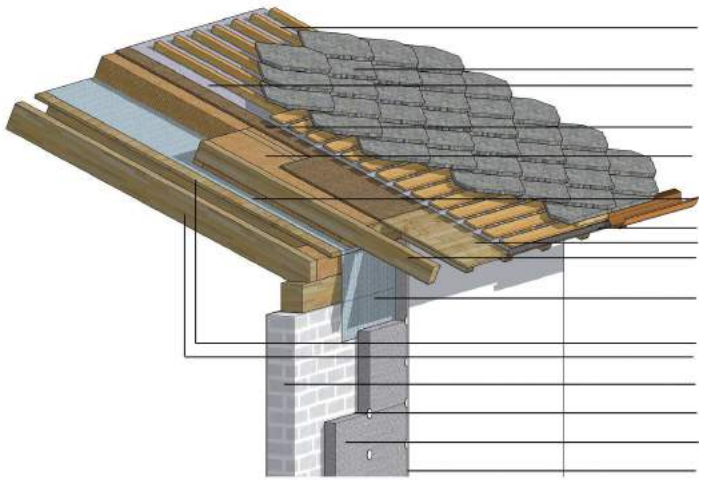
SAROTTO S.r.l
Via Cuneo, 17 - 12068 Narzole (CN)
Tel. +39 0173 77 162 - Fax 39 0173 77 66 33
Numero Verde 800 826 169
www.sarotto.it
sarotto@sarotto.it

5.5 Particolari costruttivi



1 Intonaco interno
2 Blocco in laterizio alveolare
3 Collante del sistema a cappotto
4 Pannello coibente del sistema
5 Rasante con rete di rinforzo
6 Tasselli di fissaggio dei pannelli con coppella di copertura
7 Nastri interni ed esterni di tenuta all'aria giunto parete/controtelaio
8 Coibente ad alta densità sotto davanzale
9 Davanzale esterno in lamiera piegata verniciata a polvere
10 Lato inferiore del controtelaio (taglio termico)
11 Nastri interni ed esterni di tenuta all'aria giunto controtelaio/cassonetto
12 Cassonetto coibentato per avvolgibile con ispezione esterna
13 Pannello portaintonaco
14 Nastri interni ed esterni di tenuta all'aria giunto cassonetto/solaio
15 Disgiuntore termico in coibente ad alta densità e tondini in acciaio inox di collegamento tra trave di bordo e balcone
16 Soletta del balcone in aggetto in calcestruzzo armato
17 Sottofondo di pendenza in c.l.s.
18 Guaina di impermeabilizzazione
19 Massetto armato
20 Pavimentazione esterna
21 Rasante e collante impermeabilizzante previsto dal sistema a cappotto per la zona di zoccolo
22 Coibente specifico previsto dal sistema a cappotto per la zona di zoccolo: solitamente XPS
23 Sottofondo per passaggio impianti in c.l.s. alleggerito
24 Isolante acustico (anticalpestio)
25 Massetto in c.l.s. (pannello radiante)
26 Pavimentazione interna
27 Risvolto dell'isolante acustico sul perimetro
28 Battiscopa (non a contatto con pavimentazione)
29 Getto di completamento del solaio in latero-cemento
30 Pignatta di alleggerimento in laterizio
31 Trave di bordo in calcestruzzo armato

Sezione della parete perimetrale



Listelli e controlistelli per formazione intercapedine di ventilazione

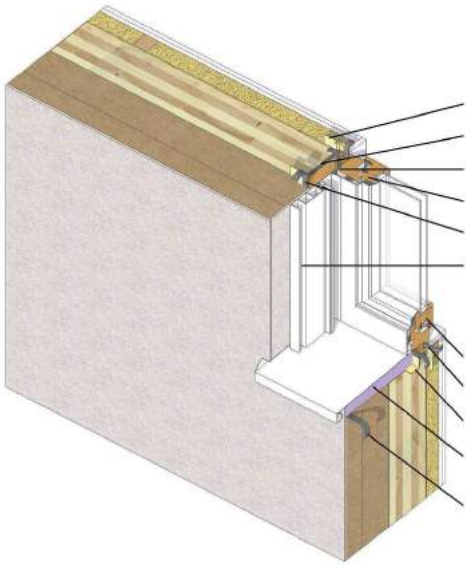
Manto di copertura
Guaina impermeabile ad acqua e vento, altamente traspirante per consentire la migrazione del vapore aqueo in uscita (valore sd < 0,02 m)
Strato coibente in fibra di legno ad alta densità (calpestabile)
Strato di coibentazione in fibra di legno per l'ottimo comportamento anche estivo

Guaina freno al vapore per limitarne la migrazione all'interno dello strato coibente (valore sd >2-5 m)
Retina blocca insetti
Tavolato in legno sopra passafuori
Passafuori fissati ai sottostanti puntoni con coibentazione interposta

Risvolto della guaina freno al vapoere su parete prima della posa del cappotto per assicurare una perfetta tenuta all'aria
Tavolato in legno sopra orditura primaria (puntoni)
Puntoni in legno interrotti all'interno dell'involucro coibentato appoggiati su banchina in legno
Parete in muratura (laterizio alvelolare,o calcestruzzo cellulare autoclavato)
Collante per il primo fissaggio dei pannelli di coibente

Pannelli di coibente del sistema a cappotto tassellati al supporto murario
Strato di rasante con rete e intonachino di finitura

Esempio di nodo tetto a falde e parete esterna in muratura con cappotto



Nodo laterale tipico serramento/parete in X-LAM

Nastrature esterne e interne di tenuta all'aria fra il controtelaio e il pannello strutturale in X-Lam

Nastro ad espansione o schiuma poliuretanica elastica fra controtelaio e pannello strutturale in X-Lam

Guarnizioni ad espansione per tenuta all'aria fra controtelaio e telaio fisso del serramento

Telaio in legno rivestito in alluminio con doppia guarnizione di tenuta: nodo laterale

Nastro autoespandente fra la coibentazione a cappotto e il controtelaio

Binario di scorrimento laterale veneziane esterne con eventuale scossalina per posizionamento zanzariere

Nodo inferiore tipico serramento/davanzale

Telaio in legno rivestito in alluminio con doppia guarnizione di tenuta: nodo inferiore

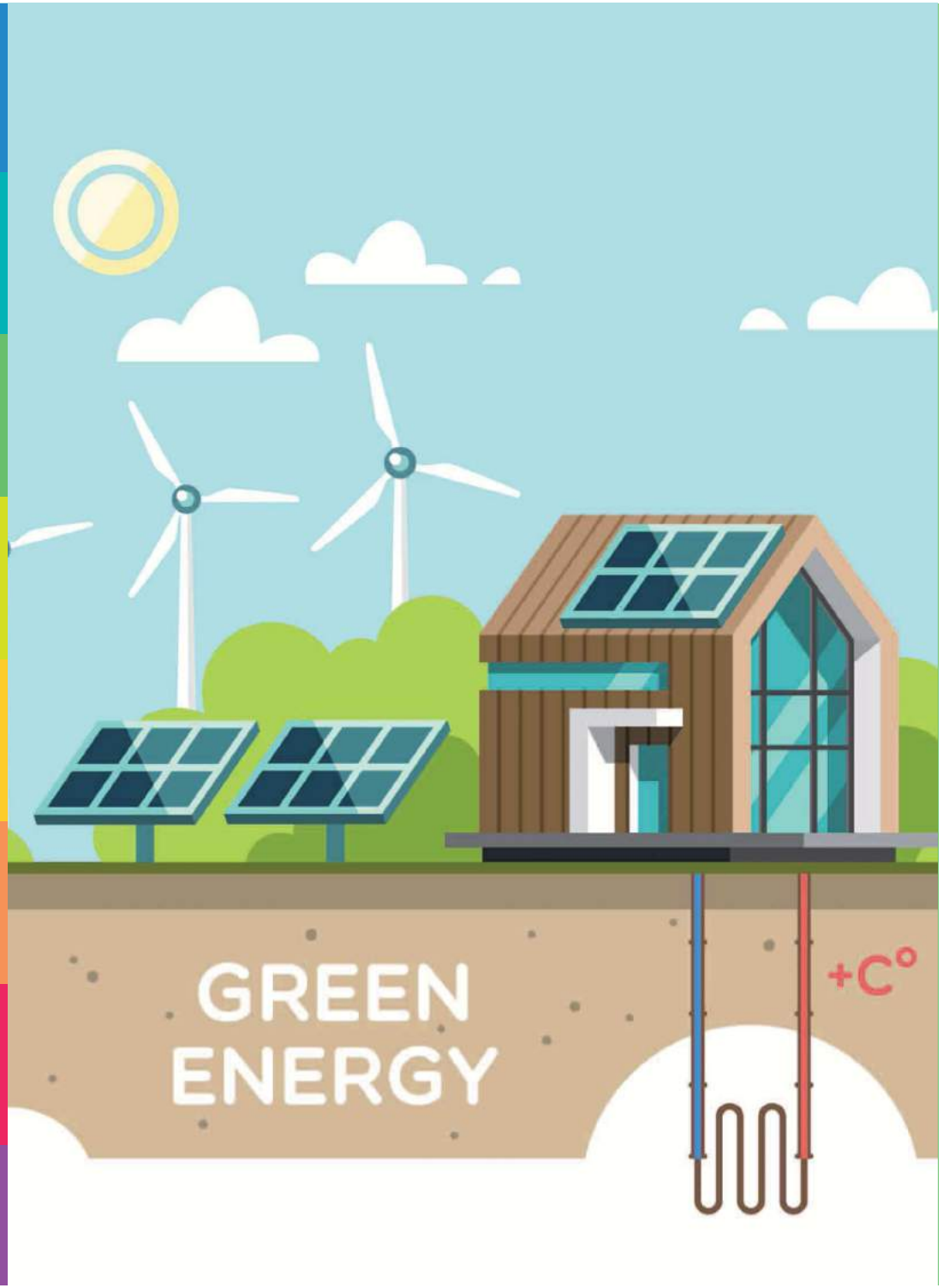
Guarnizioni ad espansione per tenuta all'aria fra controtelaio e telaio fisso del serramento

Nastrature esterne e interne di tenuta all'aria fra il controtelaio e il pannello strutturale in X-Lam

Davanzale in lamiera piegata su pannello di coibentazione in XPS ad alta densità che vada almeno a contatto con il lato inferiore del controtelaio del serramento

Nastro autoespandente fra la coibentazione a cappotto e il davanzale

Nodo parete in X-LAM e serramento



LE FONTI ENERGETICHE RINNOVABILI

3

3.1 | Fotovoltaico

Cenni storici

I primi studi sull'influenza della luce solare sui materiali si devono al fisico francese Alexandre Becquerel, il quale verso la metà dell'Ottocento scoprì che in taluni materiali, in seguito denominati semiconduttori, l'intensità della corrente elettrica aumentava in occasione di un'esposizione alla luce solare. A seguito di approfondimenti portati avanti da altri studiosi, tra i quali ricordiamo Heinrich Hertz, intorno alla metà del Novecento presso i laboratori del colosso Bell fu sviluppata la prima cella solare commerciale, impiegata inizialmente solo in campo spaziale, dato l'elevato costo della tecnologia. Verso la metà degli anni Settanta del secolo scorso le industrie mondiali si dedicarono allo sviluppo del fotovoltaico per applicazioni commerciali, con l'obiettivo di ridurre sempre più i costi e incrementare il rendimento.

Introduzione

Il Sole è una stella composta da vari gas, tra cui abbondano l'idrogeno (H) e l'elio (He), ad altissima temperatura. Al suo interno si svolgono reazioni termonucleari: quattro nuclei di idrogeno si fondono per generare un nucleo di elio, di massa inferiore alla somma dei nuclei di partenza.
La differenza viene trasformata in energia, emessa sotto forma di radiazione elettromagnetica e corpuscolare, con una lunghezza d'onda compresa tra 0,2 e 0,3 μm, che si diffonde in maniera radiale verso lo spazio e perviene sulla fascia esterna dell'atmosfera terrestre con un'intensità mediamente pari a 1367 W/m^2 (è la cosiddetta costante solare Ics). Poiché la distanza Terra-Sole non è costante, a causa dell'orbita ellittica compiuta dal nostro pianeta, questo valore varia di un +/-3,3%.
Ricordiamo che la potenza totale proveniente da una sorgente radiante e che investe l'area unitaria in senso ortogonale al piano di riferimento è chiamata irradianza e si misura in W/m^2.
Nel caso di non perpendicolarità tra i raggi solari e la superficie di riferimento si dovrà correggere questo valore moltiplicandolo per il coseno dell'angolo θ, cioè dell'angolo tra la normale alla superficie di misura e i raggi solari.
Com'è noto lo spettro solare è composto da differenti bande, tra le quali:

- spettro ultravioletto, con una lunghezza d'onda λ compresa tra 0,1 e 0,38 μm, intercettato in gran parte dalla nostra atmosfera
- spettro visibile, che comprende la familiare gamma di radiazioni luminose che vanno dal violetto al rosso, con una lunghezza d'onda λ compresa tra 0,38 e 0,78 μm
- spettro infrarosso, ad alto potere calorifero, con lunghezza d'onda λ compresa tra 0,78 e 1 μm.

Come anticipato, grazie all'atmosfera terrestre parte della radiazione solare globale incidente sul pianeta viene riflessa nello spazio e in parte viene assorbita e diffusa nell'atmosfera stessa.

Le componenti della luce solare

Si avranno le quote di radiazione:

- riflessa all'esterno dell'atmosfera
- assorbita dalle particelle di vapore acqueo sospese nell'atmosfera
- diffusa: a causa dell'urto con l'atmosfera parte della radiazione solare viene diffusa in modo omogeneo in tutte le direzioni
- diretta, che raggiunge la superficie terrestre
- riflessa, dal suolo e dalle superfici circostanti la superficie interessata.

Per effetto della diffusione una parte della radiazione solare appare distribuita su tutta la volta celeste. Il modo in cui la radiazione è divisa fra componente diretta e quella diffusa è funzione delle condizioni meteorologiche: con cielo coperto la radiazione è quasi tutta diffusa, mentre se il cielo è sereno, la componente diffusa è di solito non più del 15% del totale.
La quota di radiazione riflessa dal suolo e dalle superfici circostanti viene chiamata albedo: qui di seguito alcuni valori di coefficiente di albedo.

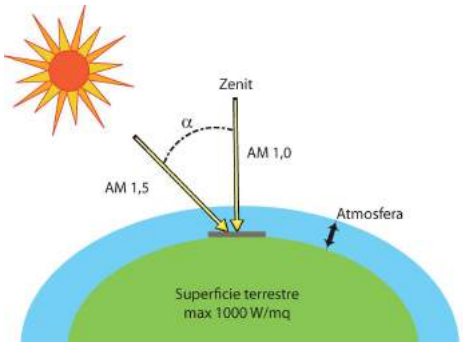
Tipologia di superficie	Albedo
neve	0,75
superfici con mattoni chiari o intonaci chiari	0,60
superfici in mattoni o intonaci scuri	0,27
boschi in autunno	0,26
cemento consumato	0,22
superfici in pietra	0,20
terreni di varia natura, argilla	0,14
superfici con bitume e pietrisco	0,13
asfalto consumato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

La radiazione globale è quindi data dalla somma delle precedenti componenti (radiazione diretta, diffusa e di albedo) e dipende:

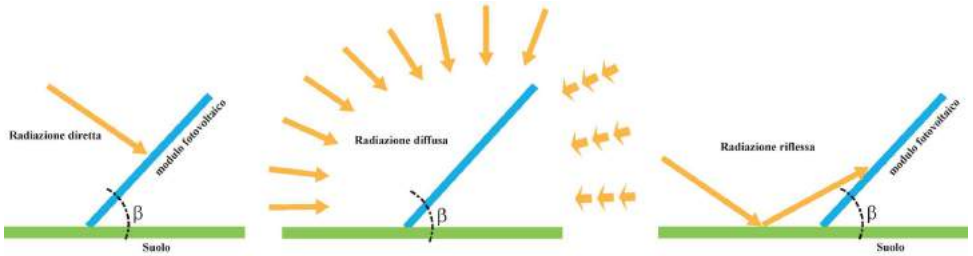
- dalle condizioni atmosferiche e meteorologiche: in presenza di cielo coperto prevale la componente diffusa, nelle giornate serene e limpide prevale la componente diretta
- dall'angolo di inclinazione della superficie captante (il pannello solare) rispetto al piano orizzontale (un pannello disposto orizzontalmente riceve la massima quantità di radiazione diffusa e minimizza quella diretta) e dalla direzione verso cui è puntato (Nord, Sud, Est o Ovest)
- dalla presenza di superfici riflettenti (effetto albedo): la radiazione riflessa dalla neve, ad esempio, è elevata, mentre in autunno terreno e foglie la riducono.

Risulta evidente che i valori delle suddette componenti variano in funzione dell'esposizione: al mutare dell'inclinazione si modificano la componente diffusa e quella riflessa.

A seguito di questi fenomeni si rileva il valore della costante solare al livello del mare, che vale circa 1000 W/m^2 in condizioni di giornata serena e sole a mezzogiorno; in caso di cielo completamente coperto l'irradianza scende a circa 100 W/m^2.
L'intensità dell'irraggiamento dipende anche dalla massa d'aria (AM, air mass) attraversata dalla radiazione solare: in funzione della maggiore o minore quantità e spessore di atmosfera attraversata si avranno differenti condizioni di riferimento. In particolare, in un giorno d'estate limpido, al livello del mare, con pressione atmosferica pari a 1013 mbar (1 atmosfera), la radiazione proveniente dal Sole allo zenit corrisponde a una massa d'aria unitaria (abbreviata con AM 1); in presenza di differenti condizioni la massa d'aria è approssimativamente uguale a 1/cosθz, dove θz è l'angolo di zenit, ovvero l'angolo che la radiazione solare forma con la perpendicolare al suolo.
Le condizioni presenti al di fuori dell'atmosfera terrestre, simboleggiate da AM 0, sono importanti per applicazioni di celle solari su satelliti.
Un valore di AM pari a 1,5 è un tipico spettro solare sulla superficie della Terra: con irradianza globale di 1000 W/m^2, è usato per le prove di qualifica su celle solari e moduli fotovoltaici.



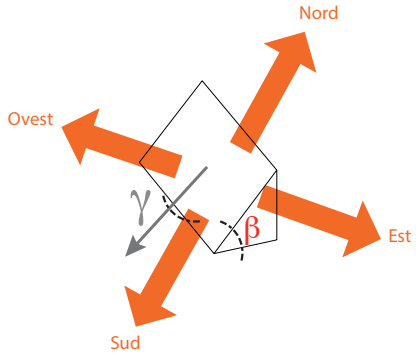
Schema di massa d'aria unitaria (AM 1)



Dida

3.1 | Fotovoltaico

La collocazione della superficie captante (pannello solare) viene definita secondo due angoli, come accennato in precedenza.
L'angolo compreso tra la superficie captante e l'orizzontale prende il nome di angolo di tilt, β, (o tiltaggio) mentre l'angolo formato tra il sud geografico e la direzione perpendicolare al pannello si definisce azimut (indicato con γ).



Definizione di angolo di orientamento e di tilt

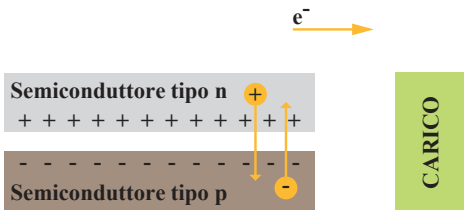
È importante che tali valori siano ottimizzati per raggiungere la massima producibilità annua del sito. Le condizioni migliori nell'emisfero boreale si hanno per orientamenti del pannello a Sud (poiché sarà massima la quantità di radiazione solare catturata durante tutta la giornata), con un angolo di inclinazione rispetto all'orizzontale (angolo di tilt) pari circa al valore della latitudine del punto in cui è collocata la struttura diminuito di una decina di gradi. Tolleranze contenute entro circa 45° (in più e in meno) rispetto all'azimut e angolo di tilt ottimale rispetto alla collocazione producono rendimenti dell'ordine di circa il 95% di quello massimo teoricamente ottenibile, mentre per azimut pari a 0° e tilt pari a 90° si avranno valori di rendimento prossimi al 70% e con azimut pari a 0° e tilt pari a 0° intorno al 90% di quello ottimale. In genere sono disponibili i valori di radiazione solare globale per una specifica località, ma grazie alla formula di Liu e Jordan è possibile ricavare direttamente i valori di radiazione diretta e diffusa, seppur definendo una stima per difetto di quest'ultima.

L'effetto fotoelettrico e l'effetto Volta: l'effetto fotovoltaico

Sfruttando questo fenomeno si ottiene la produzione di energia elettrica attraverso la captazione di energia solare all'interno di una cella fotovoltaica, in genere costituita da una sottile lamina di materiale semiconduttore, nella maggior parte dei casi in silicio.

Il fenomeno si verifica perché il materiale semiconduttore assorbe i fotoni (ossia quanti di energia, secondo le teorie di Einstein, cioè particelle elementari portatrici di energia elettromagnetica) la cui energia fa sì che si creino cariche elettriche di segno opposto (l'elettrone, di carica negativa, e la cosiddetta "lacuna", di carica positiva). Introducendo delle impurità in quantità controllata all'interno del materiale che costituisce la cella si crea una differenza di potenziale che permette di generare corrente elettrica. Tali materiali non puri vengono detti "droganti" (si dice che il materiale viene "drogato") poiché modificano le proprietà del materiale semiconduttore. Introducendo, ad esempio, nel silicio (il materiale semiconduttore) atomi di fosforo si perviene al cosiddetto silicio di tipo "n" che presenta una maggiore densità di elettroni liberi rispetto al silicio normale.
Anche il boro viene utilizzato come drogante del silicio, ottenendo il silicio di tipo "p", che presenta invece maggiori cariche positive rispetto al materiale puro di partenza.
Impiegando due strati di tali materiali si realizza la cosiddetta giunzione "p-n", che consiste nell'intimo contatto degli stessi strati. Si ha quindi la formazione di un campo elettrico, che viene poi investito dai fotoni della luce solare. Nel momento in cui si collega questo dispositivo a un carico (dispositivo che assorbe corrente) si origina la circolazione della corrente elettrica, la cui quantità è direttamente proporzionale alla quantità di luce solare che incide sulla superficie di captazione.
Ricordiamo infine che, secondo la teoria di Planck, affinché avvenga lo scambio di energia dal fotone alla materia il fotone stesso deve possedere un'energia maggiore del valore minimo posseduto dal materiale della cella stessa.

Purtroppo non tutta la radiazione solare viene assorbita dalla cella e trasformata in energia elettrica: solo la luce dotata di fotoni con sufficiente energia può innescare la conversione fotovoltaica. Si utilizza quindi un parametro, l'efficienza di conversione, che rappresenta il rapporto tra la potenza massima erogabile dalla cella e l'irraggiamento solare in condizioni standardizzate (STC, *standard test conditions*), ossia riproducibili per effettuare le prove di caratterizzazione dei moduli.



Giunzione p - n

Fra le modifiche per migliorare l'efficienza della cella fotovoltaica si ha un rivestimento antiriflettente (in genere composto da ossido di titanio) che abbassa la componente riflessa nel computo complessivo delle componenti rimanenti, diretta e diffusa. In funzione dei materiali e delle tecnologie che caratterizzano la cella si avranno diversi valori di efficienza di conversione, in genere compresa tra il 12% e il 18% per le abituali celle al silicio, mentre valori più elevati si raggiungono per specifiche applicazioni di laboratorio (sino al 24%).
Come accennato, non tutti i fotoni possiedono una sufficiente energia per innescare il fenomeno fotovoltaico; inoltre, l'eventuale eccesso di energia dei fotoni stessi non genera corrente elettrica ma viene dissipata in calore all'interno della cella stessa, peggiorandone le condizioni di funzionamento. Infine occorre considerare le perdite dovute al collegamento dei vari dispositivi.

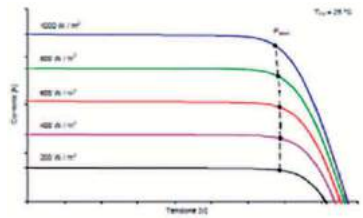
Il materiale maggiormente utilizzato oggi per i pannelli fotovoltaici è il silicio, di tipo monocristallino (molto puro, proveniente dall'industria elettronica, di colore blu scuro uniforme) o di tipo policristallino (materiale di fusione degli scarti della stessa industria, la quale richiede caratteristiche di purezza decisamente superiori rispetto al fotovoltaico). Come è intuibile, il primo presenta caratteristiche di purezza maggiori, a cui si collegano rese più elevate, mentre il silicio policristallino ha costi inferiori. Dopo diversi trattamenti metallurgici si ottengono i cosiddetti "wafer", ossia strati di silicio monocristallino o policristallino, di spessore variabile tra 0,25 e 0,35 mm.

La cella fotovoltaica è comunemente composta da wafer di silicio, sottoposto alle sopra citate operazioni di drogaggio, ha forma in genere quadrata e superficie compresa tra 100 e 400 cm^2, e si comporta come una piccola batteria, potendo produrre, in condizioni standard (STC pari a 1000 W/m^2 di radiazione incidente, temperatura dei moduli pari a 25°C, AM=1,5 e assenza di vento) valori di corrente elettrica definiti.

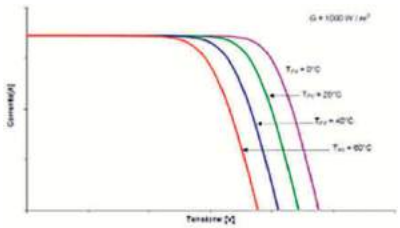
Fino a pochi anni addietro le celle fotovoltaiche avevano forma cilindrica, con un diametro da circa 8 cm, poiché derivavano dal taglio di un lingotto di queste dimensioni. Ciò non permetteva però un efficace sfruttamento dell'intera area del modulo e si passò quindi a celle quadrate, in genere con i quattro angoli smussati, di lato 8-10 cm per il monocristallino e da 12-15 cm per il policristallino.

Nuove tecnologie prevedono l'impiego di film sottili: sfruttano materiali semiconduttori quali il silicio amorfo e altri composti policristallini (Tellururo di Cadmio - CdTe; CIS - *Copper Indium Diselinide*, Diseleniuro di Indio e Rame; CIGS - *Copper Indium Gallium Diselinide*, o ancora il CIGSS, che prevede l'ulteriore aggiunta di zolfo) che vengono depositati, a partire da una miscela di gas, per uno spessore di circa 4-5 micron, su strati di supporto (detti substrati) che possono essere rigidi oppure flessibili e deformabili. Tipicamente il modulo in silicio amorfo è di colore marrone uniforme con riflessi rossastri. I film sottili presentano bassi costi di realizzazione ma anche bassi valori di efficienza, a cui si sommano decadimenti prestazionali rapidi (anche del 30%), subito dopo i primi tempi di installazione. Di contro risulta inferiore il consumo di materia prima, anche a causa dei ridottissimi spessori dei moduli (1-2 micron), i quali si presentano con buone caratteristiche di flessibilità. Sono utilizzati in architettura poiché sono facilmente integrabili in tegole, lamiere grecate, vetrature trasparenti che permettono una certa producibilità fotovoltaica.
Analizzando i costi di produzione possiamo dire che i meno costosi, in genere, risultano i CISD, seguiti dal silicio amorfo, dal CdTe, sino al cristallino (più oneroso). Parallelamente le efficienze minori si hanno con l'amorfo, seguito dal CdTe, dal CIS, a crescere sino al cristallino.
L'industria del fotovoltaico sta comunque spingendo la ricerca verso nuovi materiali che risultano promettenti per prestazioni e stabilità temporale, in vista di una futura produzione.

Come accennato in precedenza, per confrontare le prestazioni di più moduli fotovoltaici sono state introdotte le condizioni standard di prova, STC, poiché la potenza sviluppabile da una cella fotovoltaica dipende anche dalle condizioni di temperatura e di irraggiamento solare incidente.
Riassumendo:
- STC: radiazione incidente pari a 1000 W/m^2, temperatura dei moduli pari a 25°C, massa d'aria AM=1,5 e assenza di vento



Caratteristica Tensione-Corrente di una cella solare in funzione dell'irradianza



Caratteristica Tensione-Corrente di una cella solare in funzione della temperatura

Molto importante nella scelta dei moduli è la temperatura nominale di funzionamento della cella fotovoltaica, NOCT (*Nominal Operating Cell Temperature*), che descrive il comportamento termico dei moduli, facendo riferimento alle seguenti condizioni:

- radiazione incidente pari a 800 W/m^2, temperatura dell'aria pari a 20°C, velocità del vento pari a 1 m/s.

La potenza che una cella è in grado di erogare in condizioni STC viene detta potenza di picco, Wp. Tali condizioni sono spesso teoriche poiché gli impieghi usuali avvengono in condizioni differenti. In realtà si osserva che la potenza prodotta, in genere e per temperature al di sopra dei 25°C, decresce all'aumentare della temperatura nominale di funzionamento, NOCT.

I componenti del sistema

Il modulo fotovoltaico

Esso rappresenta il componente di base del sistema e nasce dall'accoppiamento delle celle solari con altri elementi: si presenta in genere come una struttura robusta, il cui funzionamento viene garantito per diversi anni, in genere 25-30. Le celle solari, invece, sono generalmente fragili, non sono isolate dal punto di vista elettrico e non sono dotate di supporti meccanici. Si provvede, quindi, a collegare in serie o in parallelo (vedi box esplicativo qui sotto) le differenti celle al fine di arrivare ai valori richiesti di tensione e di corrente elettrica per il modulo fotovoltaico, cercando di minimizzare le perdite per disaccoppiamento (cosiddetto *mismatching*), ossia evitando l'utilizzo di celle con caratteristiche elettriche differenti tra di loro.

In genere le celle sono accoppiate a uno strato di vetro e di plastica (incapsulamento) al fine di proteggerle dai raggi ultravioletti e permetterne l'autopulizia, mantenendone la temperatura entro valori bassi.

Successivamente viene applicata la cornice che incrementa la rigidezza del modulo consentendone il montaggio sulle strutture di sostegno.

Attualmente i moduli sono per lo più realizzati con celle in silicio monocristallino e policristallino, con superficie variabile tra 0,5 e 2 m^2 e un peso compreso tra i 5 e i 20 kg. Le celle in genere vengono collegate in serie tra di loro, ottenendo valori di potenza di picco variabili tra i 50 e i 250 Wp circa, anche se sempre più utilizzati sono quelli con potenze anche maggiori, in genere per il rivestimento di edifici. La maggior parte dei moduli presenti in commercio presenta valori di efficienza compresa tra il 12 e il 18% se in silicio mono e policristallino, mentre per i moduli al silicio amorfo si parla di rendimento di circa l'8% e del 10% mediamente per i moduli a film sottile.

I singoli moduli fotovoltaici vengono poi collegati in serie a formare la stringa fotovoltaica, caratterizzata da una tensione massima (pari alla somma delle singole tensioni sviluppate dai moduli connessi) e da una tensione di funzionamento.

Nelle schede tecniche che accompagnano i moduli sono riportate le caratteristiche principali, unitamente all'identificazione del costruttore e del numero di serie. In genere la garanzia di prodotto copre i difetti di fabbricazione e del materiale per almeno 2 anni, mentre le prestazioni devono essere garantite almeno al 90% della potenza iniziale per i primi 10 anni e almeno all'80% per 20 anni.

I parametri forniti dai costruttori prevedono, tra gli altri, l'indicazione della corrente di cortocircuito (Isc), la tensione a vuoto (Voc), la tensione al punto di massima potenza (Vmpp), la corrente al punto di massima potenza (Impp), la potenza nominale, il dato di NOCT, la resa energetica e i coefficienti di perdita al variare della temperatura di esercizio.

Tra i componenti importanti del modulo ricordiamo la cornice, utile per proteggere da infiltrazioni di acqua ma anche per conferire una certa rigidità al modulo stesso.

Le anzidette stringhe di moduli sono composte da più moduli, tutti con le stesse caratteristiche elettriche al fine di evitare le perdite per *mismatching*, e collegati in serie. La stringa deve essere dotata di protezione contro le sovratensioni in caso di scariche atmosferiche, e quando il numero di stringhe è maggiore di 3, ciascuna stringa deve essere dotata di un diodo di blocco.

Il generatore fotovoltaico

Come accennato in precedenza, i moduli fotovoltaici sono formati da un certo numero di celle collegate tra loro in serie, così da formare un unico componente. Collegando in serie più moduli si costruisce una stringa la quale, collegata in parallelo insieme ad altre stringhe, forma il generico sottocampo. L'unione di più sottocampi definisce il generatore fotovoltaico, caratterizzato da potenza nominale, massima e di picco date dalla somma delle singole potenze nominali, massime e di picco di ciascun modulo, sempre riferito alle condizioni di test standard (STC) e misurate in laboratori specifici.

Il generatore è caratterizzato dai suoi valori di potenza nominale P_{nom} (potenza erogata in condizioni STC) e di tensione nominale V_{nom} (tensione a cui viene erogata la P_{nom}).

Un campo fotovoltaico va progettato con una tensione nominale di esercizio tale da bilanciare:

- elevate correnti che si originano per basse tensioni (che però richiedono cavi di maggiore sezione e dispositivi di manovra complessi)
- elevate tensioni di esercizio che richiedono adeguati dispositivi di protezione,

cercando così di ottenere strutture affidabili, limitandone le perdite elettriche.

Al fine di limitare effetti negativi sulle stringhe e sui moduli si impiegano diodi di by-pass (Dbp) e di blocco (Db), utili per evitare eventuali correnti inverse e per isolare eventuali moduli malfunzionanti.

Collegamento in serie e in parallelo

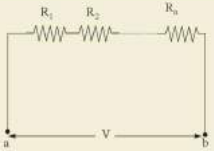
In serie

Si parla di collegamento in serie quando due o più componenti sono collegati in modo da formare un percorso unico per la corrente elettrica che li attraversa; nel caso di componenti elettrici a due terminali il collegamento in serie prevede che l'estremità di ciascuno di essi sia collegata solo con l'estremità di un altro. Il primo e l'ultimo componente hanno un'estremità libera, e a queste si applica la tensione elettrica: in pratica si infilano le due estremità libere del conduttore (filo) in una presa elettrica, o vi si applica una batteria o qualsiasi altro generatore di corrente.

Resistenze in serie

Conoscendo il valore della resistenza (in ohm) e l'intensità della corrente elettrica (in ampère) è possibile determinare la tensione elettrica (in volt) su una resistenza con la legge di Ohm (valida sia in corrente continua sia in corrente alternata):

V=R x I



Schema di collegamento in serie

Schema di collegamento in parallelo

Conoscendo la differenza di potenziale V ai capi del resistore e il valore della sua resistenza R, è possibile calcolare l'intensità della corrente elettrica I che circola utilizzando la formula inversa:

I = V/ R

La resistenza totale di n resistori in serie è data dalla somma delle resistenze di ciascun resistore:

Rtot = R1 + R2 + ... + Rn

Inoltre, la tensione totale di più generatori collegati in serie è data dalla somma delle tensioni di ogni singolo generatore mentre l'intensità totale di corrente rimane quella di un singolo generatore.

In parallelo

Si parla di collegamento in parallelo quando i componenti sono collegati a una coppia di conduttori in modo che la tensione elettrica sia applicata a tutti quanti allo stesso modo.

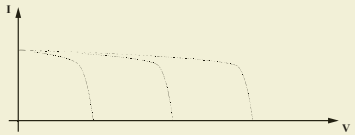
Resistenze in parallelo

La resistenza totale di n resistori in parallelo è data dalla relazione:

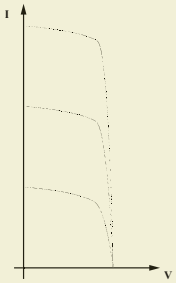
1/Rtot = 1/R1 + 1/R2 + ... + 1/Rn

ovvero è il reciproco della somma dei reciproci delle resistenze dei singoli resistori. Infine la tensione totale di più generatori collegati in parallelo rimane quella di un singolo generatore mentre l'intensità totale di corrente è data dalla somma delle correnti di ogni singolo generatore.

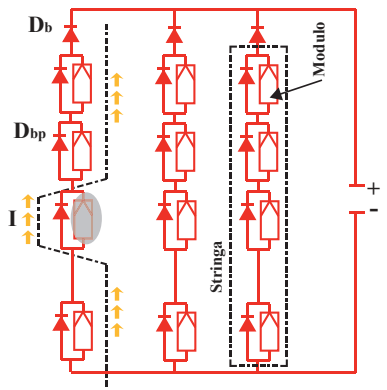
Di seguito si noti il differente andamento tensione-corrente per celle collegate in serie oppure in parallelo



Tipico andamento Tensione-Corrente di tre celle collegate in serie



Tipico andamento Tensione-Corrente di tre celle collegate in parallelo



Configurazione elettrica tipica

I diodi di by-pass servono per evitare la dissipazione della potenza delle celle verso una cella ombreggiata, che si comporta quindi come un carico di una normale utenza (ossia un assorbitore di potenza): tra l'altro, se non fossero presenti, verrebbe limitata la potenza erogata dalla stringa, pari solo a quella erogata dalla cella interessata dall'ombreggiamento. I diodi di blocco, in maniera similare, servono per evitare che un'intera stringa ombreggiata si trasformi anch'essa in un assorbitore della potenza generata dalle altre stringhe (si comporti, cioè, in maniera passiva). Come per i diodi di by-pass, l'assenza del diodo di blocco andrebbe a ridurre la potenza generata da parte dell'intera configurazione a quella generata dalla sola stringa ombreggiata. Va però ricordato che i diodi di blocco dissipano calore e quindi occorrerà un opportuno dimensionamento termico del loro quadro.
Progettando le stringhe va considerato anche il loro cosiddetto "sezionamento", valutando l'eventuale necessità di isolare una stringa, ad esempio per le operazioni di manutenzione, utilizzando appositi organi di manovra.

L'inverter
L'inverter permette la conversione della corrente elettrica continua prodotta dal generatore fotovoltaico in corrente elettrica alternata, in monofase o trifase, necessaria per il funzionamento di un'utenza o per l'immissione alla rete elettrica.
Inoltre, poiché l'insolazione varia per quantità sia di irraggiamento sia di temperatura, l'inverter permette di ottenere l'uniformità e la costanza di tensione di alimentazione richiesta dalle utenze.
In sostanza, permette il controllo e il condizionamento della potenza erogata dal generatore fotovoltaico.

Gli inverter per sistemi connessi alla rete elettrica nazionale (*grid-connected*) sono dotati della funzione MPPT (Maximum Power Point Tracker) o inseguimento del punto di massima potenza, per adattare immediatamente i parametri in uscita dal generatore alle esigenze del carico connesso, ottenendo così la massima potenza disponibile verso il carico stesso e quindi il massimo rendimento istantaneo.
L'inverter (o convertitore statico DC/AC) sarà in genere dotato di adeguate protezioni contro valori anomali di tensione, sovracorrenti, avviamento automatico a seguito di disconnessione e reset, nonché contro eventuali sovratensioni di manovra o di origine atmosferica. In assenza occorrerà predisporre le protezioni mancanti all'interno di un quadro elettrico.
In genere i produttori di inverter offrono garanzie temporali minori rispetto a quelle fornite per i moduli (2-5 anni contro 25-30 anni) e dunque gli inverter rappresentano un punto debole del sistema fotovoltaico.
L'accostamento tra generatore fotovoltaico (stringhe di moduli) e inverter deve permettere l'accoppiamento corretto tra la tensione in uscita dal primo e l'intervallo di tensioni ammesse in ingresso dal secondo, verificato alle diverse condizioni di temperatura (minima, d'esercizio e massima) a cui sono assoggettati i moduli.
La potenza in uscita da una o più stringhe (indicata con Pinv) e destinata all'inverter deve essere compresa tra la massima potenza consigliata in ingresso all'inverter stesso (indicata con PPV), ridotta dal 20%, e la stessa, incrementata del 5%:

$$P_{PV(-20\%)} < P_{inv} < P_{PV(+5\%)}$$

Infine, la corrente in uscita dal generatore fotovoltaico deve essere minore del valore della corrente massima che l'inverter può accettare.
In genere se l'accoppiamento generatore-inverter risulta corretto quest'ultimo è in grado di lavorare nelle migliori condizioni di rendimento (secondo il punto di massima potenza).

I cavi
Servono per la connessione tra moduli e stringhe e sono realizzati in materiale resistente alle radiazioni ultraviolette e agli agenti atmosferici, che non deve inoltre propagare eventuali incendi o dare luogo all'emissione di gas tossici.
Il dimensionamento della sezione dei cavi deve essere calcolato per contenere la caduta di tensione, in genere entro il 2%, evitando anche elevate temperature di funzionamento (azioni termiche per effetto Joule). In genere le sezioni minime sono pari a 2,5 mm^2 per il cablaggio con posa esterna (modulo-modulo o stringa-quadro di campo) e pari a 4 mm^2 per i cavi interni al quadro di campo.

Una resistenza R attraversata da una corrente elettrica I provoca una caduta di tensione e l'effetto Joule

Caduta di tensione
Con l'espressione "caduta di tensione" o "caduta di potenziale" si indica la differenza di potenziale fra due qualsiasi punti di un conduttore attraverso il quale scorre una corrente. Essa è sempre minore della tensione del generatore, che invece rappresenta la differenza di tensione massima che si può avere ai capi del conduttore. Se in un conduttore c'è una caduta di tensione ciò significa che al suo interno si trovano punti a potenziali diversi. Le linee elettriche sono dimensionate in modo che in condizioni di normale funzionamento la caduta di tensione sia sempre molto contenuta (entro pochi punti percentuali dalla tensione di alimentazione), per garantire che ai carichi siano applicate tensioni che si scostino di poco dalla tensione nominale. La massima caduta di tensione ammissibile è dettata dalla tipologia di apparecchi utilizzatori.

Effetto joule
Quando una corrente I attraversa una resistenza R si ha il riscaldamento di quest'ultima. È l'effetto Joule. La quantità di energia W (espressa in *J, joule*) dissipata in calore nel tempo t (espresso in *s, secondi*) dipende dal quadrato della corrente I.
Il fenomeno è indispensabile, ad esempio, nel filamento di una lampada a incandescenza, nelle stufe elettriche, nei ferri da stiro e nei fusibili posti a protezione degli impianti elettrici. Risulta invece inutile e dannoso quando, non avendo la necessità di produrre calore, il circuito elettrico comunque si riscalda durante il funzionamento.
Nei componenti elettrici, se la corrente supera il limite previsto, l'*effetto Joule* crea surriscaldamento e deterioramento dell'isolante.

I quadri elettrici

Quadri di campo
"Raccolgono" le stringhe di moduli fotovoltaici, gestendone il sezionamento e la protezione. Il grado di protezione, se installati in esterno, non deve essere inferiore a IP65.

Quadri di interfaccia alla rete
Contengono le apparecchiature di comando, controllo e misura dell'energia elettrica immessa alla rete di distribuzione, secondo i requisiti imposti dalle norme vigenti e dai distributori locali di energia .

Il grado di protezione IP è indicato con due cifre caratteristiche più eventuali due lettere addizionali.

La prima cifra indica il grado di protezione contro la penetrazione di corpi solidi estranei

0 nessuna protezione
1 protetto contro corpi solidi superiori a 50 mm di diametro
2 protetto contro corpi solidi superiori a 12 mm di diametro
3 protetto contro corpi solidi superiori a 2,5 mm di diametro
4 protetto contro corpi solidi superiori a 1 mm di diametro
5 protetto contro le polveri (nessun deposito nocivo)
6 totalmente protetto contro le polveri

La seconda cifra indica il grado di protezione contro la penetrazione di liquidi

0 nessuna protezione
1 protetto contro le cadute verticali di gocce d'acqua
2 protetto contro le cadute di gocce d'acqua o pioggia fino a 15° dalla verticale
3 protetto contro le cadute di gocce d'acqua o pioggia fino a 60° dalla verticale
4 protetto contro gli spruzzi d'acqua da tutte le direzioni
5 protetto contro i getti d'acqua
6 protetto contro i getti d'acqua potenti
7 protetto contro gli effetti delle immersioni temporanee
8 protetto contro gli effetti delle immersioni continue

La lettera aggiuntiva indica il grado di protezione contro l'accesso a parti pericolose

A protetto contro l'accesso con la mano
B protetto contro l'accesso con il dito
C protetto contro l'accesso con attrezzo
D protetto contro l'accesso con filo

La lettera supplementare fornisce informazioni relative alla protezione del materiale

H adatto per apparecchiatura ad alta tensione
M provato contro gli effetti dannosi dovuti all'ingresso d'acqua quando le parti mobili dell'apparecchiatura sono in moto
S provato contro gli effetti dannosi dovuti all'ingresso d'acqua quando le parti mobili dell'apparecchiatura non sono in moto
W adatto all'uso in condizioni atmosferiche specificate e dotato di misure o procedimenti addizionali

Le strutture di sostegno
Sono in genere composte da profili metallici impiegati per sostenere i moduli fotovoltaici, collegandoli alla struttura principale (copertura dell'edificio, etc.) o anche a terra. Si possono avere strutture a palo, a cavalletto, per l'integrazione o per il retrofit. Dovranno essere verificate dal punto di vista dei carichi agenti (peso delle strutture, delle zavorre, dei moduli) e dei sovraccarichi accidentali quali carico neve, spinta del vento, effetti sismici sulla struttura.

Le scariche dei fulmini
Poiché l'impianto fotovoltaico viene solitamente collocato sulle coperture delle abitazioni, ed è esposto ai fenomeni meteorologici, occorre considerare il rischio di fulminazione dovuto alle sovratensioni originate dalle scariche atmosferiche. Occorre anzitutto capire, attraverso la specifica procedura di calcolo e valutazione, se l'edificio risulta di per sé autoprotetto dai fulmini. L'osservanza della normativa non può comunque assicurare e garantire in assoluto dai rischi per le persone e per gli oggetti, pur permettendo di ridurre fortemente il rischio di danno.
In caso di impianti che risultino autoprotetti, è buona prassi prevedere i cosiddetti scaricatori di sovratensione (SPD, *Surge Protection Device*), disponibili in differenti classi secondo la tensione alla quale sono tarati per intervenire a protezione dalle sovratensioni di manovra (classe I, II o III, in ordine decrescente di valore di tensione di taratura, di "innesco").
Ad esempio gli SPD di classe III possono essere impiegati per proteggere gli inverter, più sensibili e costosi degli altri componenti, intercettando quelle sovratensioni non "filtrate", non "bloccate" dagli SPD di classe I e II.
Qualora occorra invece dotare l'impianto fotovoltaico di protezioni contro i fulmini si impiegano i sistemi LPS (*Lightning Protection System*), da installare prima dell'impianto, il quale dovrà essere contenuto all'interno del volume protetto dai LPS. In particolare dovranno essere collegate agli LPS le cornici e le strutture di sostegno dei moduli fotovoltaici, secondo le indicazioni della normativa vigente. In alternativa è possibile collocare captatori connessi all'impianto per evitare fulminazioni dirette sul generatore fotovoltaico.

Operazioni di manutenzione
La manutenzione ordinaria (consigliata con cadenza annuale) prevede ispezioni visive dei singoli moduli così da intervenire in caso di danneggiamento dei vetri, deterioramento dei sigillanti o sporcamento delle superfici di captazione dell'energia solare. Occorre verificare il corretto funzionamento dei diodi di by-pass, il corretto serraggio e collegamento dei cavi (e lo stato dei contatti elettrici) e, con l'analisi visiva, lo stato dell'isolamento degli stessi, nonché il mantenimento della protezione dagli agenti atmosferici. Si devono inoltre verificare le tensioni e le correnti delle stringhe. Va controllata anche la stabilità delle strutture di sostegno dei moduli. Sono necessarie operazioni di controllo per individuare eventuali infiltrazioni d'acqua, formazione di condensa, deteriramenti dei vari componenti, guasti meccanici e/o elettrici, da effettuarsi previa messa in fuori servizio dell'impianto, secondo le indicazioni contenute nel manuale d'uso e manutenzione, previsto per legge.
Va inoltre monitorata la producibilità dell'impianto stesso (per impianti di piccola taglia, fino a 20 kW, l'operazione viene effettuata direttamente sul display dell'inverter o con letture online), al fine di rilevare eventuali anomalie di funzionamento.

I collaudi
Rappresentano le verifiche tecniche e funzionali dell'impianto a lavori ultimati, e comprendono controlli sui componenti (che devono essere conformi alle indicazioni progettuali e alle leggi vigenti e esenti da evidenti difetti), verifica di corretta messa in opera e dell'integrità strutturale. Occorre inoltre controllare le connessioni tra i moduli, le corrette messe a terra dei componenti, i valori di efficienza dell'inverter e di efficienza operativa del generatore fotovoltaico.

Le tipologie di impianti fotovoltaici

Possiamo distinguere fra impianti connessi alla rete (*grid-connected*) e impianti isolati (*stand-alone*).
In questi ultimi l'energia prodotta dal generatore fotovoltaico alimenta il carico di un'utenza e la quota di energia in surplus viene accumulata in apposite batterie di accumulatori, per il successivo utilizzo in periodi di mancata producibilità (ad esempio durante le ore notturne). Essi non sono connessi ad alcuna rete elettrica di distribuzione.
Negli impianti *grid-connected* il sistema è connesso alla rete elettrica di distribuzione e l'energia solare viene convertita in corrente elettrica alternata che viene utilizzata da un carico della singola utenza o immesso nella stessa rete.
In caso di sistemi *stand-alone* è presente un regolatore di carica che protegge gli accumulatori da eventuali eccessi di carica (legati al generatore fotovoltaico) ma anche di scarica (legati a un eccessivo utilizzo), mentre nel caso di sistemi connessi alla rete il sistema di controllo trasforma la corrente continua prodotta in corrente alternata, massimizza il rendimento del sistema stesso tramite la già citata funzione MPPT ma controlla anche la qualità della potenza immessa in rete (con opportune operazioni di "rifasamento").
I sistemi *stand-alone* sono impiegati nel caso di insediamenti posti in località particolarmente isolate da un contesto abitativo o dove il collegamento alla rete elettrica di distribuzione comporti costi di investimento elevati, soprattutto in rapporto alle modeste quantità di potenza installata richiesta.
Tali impianti vengono preferiti anche in alternativa a generatori con gruppi elettrogeni, per i quali occorre considerare nelle valutazioni economiche il costo del combustibile, il fastidio dovuto al rumore, l'inquinamento prodotto e i costi di manutenzione connessi.
In genere le strutture *stand-alone* vengono impiegate per baite, rifugi, abitazioni isolate, così come nei Paesi in via di sviluppo, ma anche per alimentare impianti di pompaggio dell'acqua da pozzi e per la successiva depurazione, stazioni di rilevamento e trasmissione dati, postazioni per la segnalazione di incendi e in genere per i servizi di protezione civile, per l'illuminazione stradale su tratti non serviti dalla rete elettrica di distribuzione, etc.

Il fotovoltaico a concentrazione
Esso si basa sull'impiego di particolari sistemi ottici costituiti da specchi (meno costosi delle celle solari) che permettono di far convergere i raggi solari sulla cella fotovoltaica: viene così amplificato l'irraggiamento raccolto dal sole, riducendo proporzionalmente la quantità di celle da utilizzare al fine di arrivare alla stessa quantità di potenza sviluppata dal modulo.

Fotovoltaico a inseguimento
Si basa su strutture a inseguimento caratterizzate dalla possibilità di ruotare l'azimut e il tiltaggio del modulo al fine di seguire la condizione di efficienza ottimale dell'impianto. La rotazione può avvenire su un singolo asse (inseguitori parziali) o su due assi (inseguitori totali). Sono però caratterizzati da elevati costi di produzione, installazione e manutenzione.

Applicazioni varie
Il sistema fotovoltaico risulta utilizzabile non solo sulle coperture dei fabbricati di civile abitazione ma, per la sua flessibilità, può essere utilmente posizionato anche su singoli elementi edilizi (ad esempio le tegole fotovoltaiche), sulle barriere autostradali di sicurezza, integrati all'interno di elementi di arredo urbano (piastrelle segnapasso, lampioncini da giardino, etc.), su alcune tipologie di barriere acustiche, in genere collocate su grandi arterie stradali, su coperture di stazioni ferroviarie, stazioni di metropolitane, parcheggi pubblici, aziende agricole o grandi capannoni industriali, case rurali, etc.

Il dimensionamento di un impianto fotovoltaico

Dovendo procedere al dimensionamento di un impianto fotovoltaico occorre in primis valutare le caratteristiche del sito di installazione, in termini di disponibilità di spazi sui quali installare il generatore fotovoltaico e di disponibilità solare dell'area, considerando non solo l'esposizione maggiormente favorevole in termini di azimut e angolo di tilt dei pannelli, ma anche i possibili effetti di ombreggiamento sulla struttura captante. È evidente la necessità di valutare anche le disponibilità economiche della committenza, collegate all'analisi del rendimento economico dell'investimento.
Il consumo annuo di energia elettrica da parte della committenza è un dato essenziale per un corretto dimensionamento, al fine di evitare sovra o sottodimensionamenti.

Riguardo la disponibilità solare del sito ricordiamo che in Italia, in funzione della località scelta, si hanno valori compresi tra i 1.200 e i 1.800 kWh/m^2 all'anno circa, con una differenza tra Nord e Sud di circa il 40%. Normalmente il 75% della quantità di irraggiamento si verifica durante i mesi estivi, da aprile a settembre.
In generale la quota di radiazione diffusa rispetto al totale (diretta + diffusa) è più alta al Nord Italia (mediamente il 40%) mentre al Sud scende a valori intorno al 25%.
In sostanza l'energia producibile da un impianto dipende dalla località in cui viene installata la struttura (località da caratterizzare in termini di latitudine, radiazione solare disponile, temperatura ed effetto albedo delle superfici circostanti), dagli angoli di azimut e di tilt dei pannelli, dalle caratteristiche dei moduli quali potenza nominale, NOCT, uniformità delle caratteristiche elettriche dei componenti (al fine di evitare perdite in potenza per *mismatch*), e dall'efficienza complessiva dell'intero sistema fotovoltaico (cosiddetto BOS, Balance of System, in genere pari a circa l'85%).

Periodo estivo

Descrizione	N.	Potenza totale (W)	ore/giorno utilizzazione	fattore di contemporaneità	Consumo (Wh/g)
Frigorifero 150 litri - 24 V	1	60	8	1	480
Congelatore 50 litri - 24 V	1	60	8	1	480
Illuminazione (lampade fluorescenti basso consumo 13 W)	15	195	5	0,5	490
Radio stereo	1	20	4	1	80
Pompa sommersa pluristadio	1	300	1	1	300
Carichi sporadici in corrente alternata	-	150	1	1	150

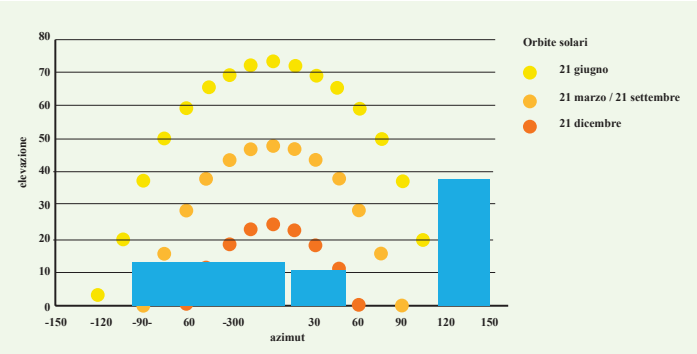
Periodo invernale

Descrizione	N.	Potenza totale (W)	ore/giorno utilizzazione	fattore di contemporaneità	Consumo (Wh/g)
Frigorifero 150 litri - 24 V	1	60	8	1	480
Congelatore 50 litri - 24 V	1	60	8	1	480
Illuminazione (lampade fluorescenti basso consumo 13 W)	15	195	8	0,6	940
Radio stereo	1	20	4	1	80
Pompa sommersa pluristadio	1	300	0,5	1	150
Carichi sporadici in corrente alternata	-	150	2	1	300

Alcuni carichi elettrici prevedibili

Occorre quindi considerare le perdite (resistive, ottiche, termiche, di *mismatch*) del generatore fotovoltaico, in genere attestate sul 15% circa, nonché le perdite presenti all'interno dell'inverter, valutabili intorno al 10%.
La radiazione solare incidente sulla superficie dei moduli va scomposta nelle sue componenti diretta, diffusa e riflessa, sia tramite la formula di Liu e Jordan sia tramite banche dati specifiche, ma occorre anche conoscerne l'evoluzione temporale durante l'arco dell'anno.
Nota la quantità di radiazione raccolta su una superficie orizzontale, è possibile calcolare la rispettiva quantità sul piano inclinato, orientato secondo lo specifico azimut. Questi valori risultano molto influenzati dalle condizioni meteorologiche e atmosferiche, per cui si possono utilizzare anche i dati storici di irraggiamento solare della località in esame o, tramite opportune interpolazioni, di località vicine.
Tra le banche dati ricordiamo l'Atlante Europeo della radiazione solare (con le rispettive curve isoradiative), le norme UNI 10349, la raccolta dati ENEA, nonché la banca dati europea presente sull'applicativo web PVGIS.
La rappresentazione grafica del moto apparente del sole avviene tramite appositi diagrammi solari caratterizzati da due assi su cui sono riportati l'azimut (angolo formato dai raggi solari e la direzione del Sud geografico) e l'elevazione solare (angolo formato dai raggi del sole con la superficie orizzontale). Si ottengono così diagrammi come il seguente, a seconda della latitudine del sito indagato.

Su questi diagrammi, o carte dei percorsi solari, si possono annotare le sagome delle superfici ombreggianti che ridurranno l'apporto di radiazione luminosa (ad esempio, fabbricati, alberature, rilievi montuosi, colline, etc.).



Fenomeni di ombreggiamento

In sede di sopralluogo preliminare occorre infatti procedere con l'analisi clinometrica del sito, al fine di definire gli ombreggiamenti potenziali sul sistema fotovoltaico. Questa operazione può essere eseguita per mezzo di uno strumento topografico di precisione (tacheometro, teodolite, stazione totale, etc.) al fine di ricavare il profilo dell'orizzonte, misurato in termini di altezza solare (angolo di elevazione) e di azimut rispetto al Sud geografico. Si riporta quindi questo profilo clinometrico sul diagramma solare, evidenziando gli ombreggiamenti clinometrici (dovuti a rilievi, colline, alberature, edifici posti a una distanza sufficientemente grande dal campo fotovoltaico e quindi istantaneamente uguali per ogni modulo e stringa). Gli ombreggiamenti locali sono quelli dovuti alla presenza di ostruzioni poste a piccola distanza dal campo fotovoltaico, i cui effetti potenzialmente possono interessare solo alcuni moduli, ma con effetti anche più gravi del precedente caso.
Se una cella viene parzialmente oscurata, le altre celle collegate in serie subiscono lo stesso abbassamento di corrente causando una producibilità di potenza inferiore, anche se sono completamente raggiunte dai raggi solari. In effetti la perdita di energia di un'intera stringa di moduli (collegati sempre in serie) risulterebbe così pari alla percentuale di area oscurata sulla singola cella più ombreggiata. Addirittura se una singola cella (collegata in serie alle altre) venisse completamente oscurata, si comporterebbe come una resistenza e non più come un generatore: il calore sprigionato per effetto Joule porterebbe a un forte incremento di temperatura, con conseguente dilatazione termica e rottura della cella.
Come già illustrato, proprio per limitare la propagazione della mancata producibilità di una cella solare colpita dall'ombreggiamento, sui pannelli vengono applicati i diodi di by-pass che permettono di isolare la cella in questione, evitando di ridurre il rendimento complessivo del generatore fotovoltaico.
Se ciascuna cella è dotata di diodo di by-pass viene isolata solo la cella colpita dall'ombreggiamento, mentre se sul modulo sono presenti solo due diodi viene scollegata la metà delle celle, con conseguente minor produzione di energia. Un indice della qualità del modulo fotovoltaico è anche il numero di diodi di by-pass.
Per calcolare l'energia incidente annua occorre definire mese per mese la quantità di radiazione solare utile, anche in funzione dei singoli valori mensili di albedo delle superfici circostanti.

Le tipologie di perdite

Perdite termiche e ottiche
Come accennato in precedenza, la potenza sviluppabile da una cella è fortemente influenzata dalla temperatura dell'ambiente circostante, dalla manifattura del pannello e dalle condizioni di irraggiamento presenti.
Il parametro NOCT (*Nominal Operating Cell Temperature*) rappresenta proprio la temperatura del modulo in presenza di una temperatura ambiente di 20°C e radiazione incidente pari a 800 W/m^2.
In genere i valori di NOCT si aggirano sui 40-45°C, in funzione del tipo di incapsulamento realizzato per le celle fotovoltaiche.
In caso di aumento di temperature delle celle, ma a parità di insolazione, si ha una diminuzione della tensione e della potenza erogata. Nel periodo estivo un modulo può raggiungere temperature comprese tra i 40°C e i 70°C, con una perdita di potenza istantanea tra il 5% e il 20% per un'aerazione insufficiente del modulo stesso. Da preferire, quindi, posizioni ventilate per i moduli, ad alta dispersione termica.
Per il silicio cristallino, ad esempio, sono comuni i valori di decremento di potenza anche del 4% o di decremento di tensione del 3,5% in caso di aumento di 10°C di temperatura (si vedano i coefficienti di perdita indicati sulle schede tecniche dei singoli pannelli).
Questo effetto risulta circa fino a due volte inferiore nel caso di impiego di celle a silicio amorfo.
Ricordiamo però che il surriscaldamento dei moduli produce effetti negativi sul comfort indoor interessando anche gli ambienti confinanti con i pannelli, qualora questi siano integrati nei componenti edili: è dunque preferibile la ventilazione della superficie posteriore dei moduli introducendo opportune intercapedini che, con una certa profondità, migliorino anche l'efficienza delle celle (soluzione con pareti ventilate o facciate a doppia pelle).
Le perdite ottiche sono invece causate dalla differente risposta, in termini di potenza erogata dal modulo, in funzione dell'angolo di incidenza dei raggi solari sul pannello stesso. Ad esempio, in caso di raggi abbastanza radenti la potenza erogata dal pannello tende ad annullarsi.
La radiazione solare globale (Hb) tende cioè a valori nulli quando incide con angoli superiori a un valore limite (Q_{lim}), mentre al di sotto di tale inclinazione va considerato il contributo del fattore di trasmissione del vetro t0:

Hb = 0 per angoli maggiori di Q_{lim}
Hb = Hb x t0 per angoli minori di Q_{lim}

In genere le perdite ottiche pesano per un valore prossimo al 4%.

Perdite per sporcamento
Sono causate da depositi di pulviscolo e calcare sulla superficie del vetro: è quindi preferibile un'inclinazione minima di 20° per i moduli, per avere sistemi autopulenti.

Perdite per riflessione
Sono quelle dovute alla porzione di radiazione solare riflessa dalla vetratura posta per la protezione della cella: sono sostanzialmente inevitabili, in genere pari a un 3%.

Perdite per *mismatching*
Sono dovute all'accoppiamento di stringhe in parallelo allo stesso gruppo di conversione che presentano, però, prestazioni non uniformi. In genere sono considerate pari a circa il 2% se si hanno impianti composti da meno di 5 stringhe connesse allo stesso inverter e al 3% per valori superiori.

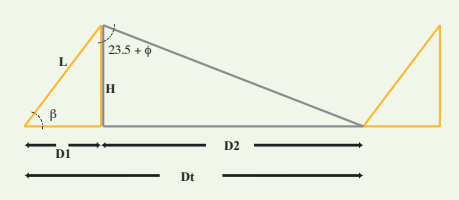
Perdite ohmiche
Sono dovute alla dissipazione di energia elettrica in calore per effetto Joule nei cavi e dipendono dalla sezione e dalla lunghezza dei cablaggi (sarebbero da contenere entro un 3-4%).

Perdite per ombreggiamento
Sono dovute alla presenza di vegetazione, alla particolare conformazione orografica del territorio (presenza di rilievi su una pianura), alla morfologia dell'ambiente costruito (corpi edilizi prossimi all'abitazione) ma anche alla geometria stessa dell'edificio oggetto di analisi (ad esempio travi aggettanti, comignoli o torrini ascensore).
Come anticipato, annotando sulle carte dei percorsi solari le sagome degli ostacoli e degli elementi ombreggianti si determinano le ore del giorno e i mesi dell'anno durante i quali si verifica l'ombreggiamento. Con tali valori, e considerando i diagrammi di distribuzione oraria e mensile della componente diretta (l'unica soggetta al fenomeno dell'ombreggiamento), si possono quantificare le perdite per ombreggiamento.

Il posizionamento a terra dei moduli
Com'è noto, è possibile posizionare i pannelli fotovoltaici non solo sulle falde di copertura o sulle pareti degli edifici ma anche a terra, lungo file parallele (a filari). La distanza fra le file risulta dall'ottimizzazione di effetto ombra tra le stesse e spazio utile a disposizione.
In particolare occorrerà disporre i filari, dal secondo in poi, a una distanza minima che dipende dalla latitudine del sito, dall'angolo di tilt dei pannelli e dall'altezza massima delle file stesse:

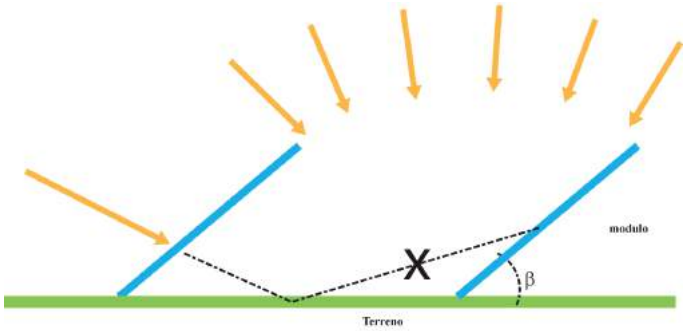
$D1 = L \times \cos \beta$
$H = L \times \text{sen } \beta$
$D2 = H \times \text{tg } (23{,}5 + \Phi)$
$DT = D1 + D2$
ossia
$D/H = \text{sen } \beta \times \text{tg } (23{,}5 + \Phi) + \cos \beta$

in cui D è la distanza tra le file, H è l'altezza massima delle file stesse, β è l'angolo di tilt e Φ è la latitudine.



Triangolo delle ombre

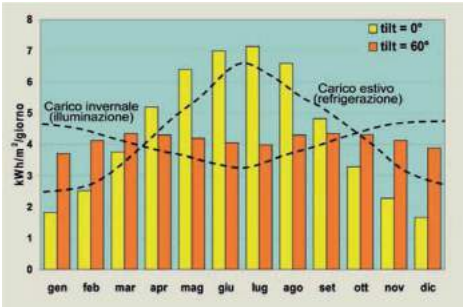
La distanza minima deriva da una condizione di non ombreggiamento alle ore 12 del solstizio di inverno, la cui declinazione risulta proprio di 23,5°.
Ricordiamo che tale disposizione non permette di beneficiare della componente di radiazione solare riflessa dal suolo (tranne la prima fila) e viene raccolta una minor quantità di radiazione diffusa, stante la minor porzione di cielo vista a causa della presenza dei filari davanti e dietro al filare in oggetto.



Configurazione a file parallele e relative perdite

La scelta dell'angolo di tilt
L'inclinazione del pannello fotovoltaico rispetto all'orizzontale presenta valori ottimali per la producibilità del sistema, variabili durante l'anno solare: in particolare, alle nostre latitudini, durante il periodo estivo vengono massimizzate le producibilità per valori di tilt prossimi ai 15° mentre nel periodo invernale si hanno valori ottimali per angoli elevati, prossimi ai 65°. Su base annua, in assenza di impianti a inseguimento, i massimi si ottengono per valori di tilt prossimi ai valori di latitudine del sito, ridotti di circa 10°.

Per valori bassi di tilt, che massimizzano l'energia raccolta in inverno, avremo la captazione del 90% della massima energia annua, mentre con elevati valori di tilt, nel periodo invernale si potrà captare solo il 65% di quella massima ottenibile in quel periodo.



Producibilità per tilt diversi

Verifiche tecniche
L'impianto fotovoltaico deve rispettare alcune condizioni per un corretto funzionamento nelle diverse condizioni di potenza generata, da verificarsi all'atto del collaudo:

1) prestazione lato corrente continua: Pcc > 0,85 x Pnom x I / ISTC
dove:
- Pcc è la potenza in corrente continua prodotta dal generatore fotovoltaico, con una precisione migliore di +/-2%
- Pnom è la potenza nominale del generatore fotovoltaico
- I è l'irraggiamento espresso in W/m². Misurato sul piano dei moduli, con una precisione migliore di +/-3%
- ISTC è l'irraggiamento in condizioni di prova standard, pari a 1000 W/m².

Tale condizione dovrà essere verificata per I > 600 W/m².

2) prestazione lato corrente alternata: Pca > 0,9 x Pcc
dove:
- Pca è la potenza attiva in corrente alternata misurata all'uscita dell'inverter, con una precisione migliore di +/-2%.

Tale condizione dovrà essere verificata per una potenza attiva maggiore del 90% della potenza di targa dell'inverter.

3) prestazione globale del sistema: Pca > 0,75 x Pnom x I / ISTC

Procedendo a singoli precollaudi è possibile rilevare eventuali malfunzionamenti del sistema, valutare l'eventuale degrado dei materiali forniti nonché gli intervalli di tensione e corrente per il miglior accoppiamento dei moduli nelle stringhe.

Valutazioni finanziarie per l'investimento fotovoltaico

L'impatto economico per la realizzazione un impianto fotovoltaico dovrebbe essere valutato anche attraverso analisi di investimento finanziario: esponiamo brevemente alcuni principi, sicuramente non esaustivi, da approfondire su testi di economia finanziaria.
Per prima cosa si definisce "flusso di cassa" la differenza tra entrate e uscite: si determinano, inizialmente, le variazioni di flussi di cassa che l'investimento (fotovoltaico, solare termico, geotermico, cappottatura, etc.) genera in ogni periodo, valutati però al netto delle imposte.
In seguito occorre definire la modalità con cui costi e benefici si distribuiscono nel tempo: a tal fine, per confrontare valori monetari riferiti a tempistiche diverse, si introducono il "valore attuale" e le "operazioni di sconto".
Diventa utile una semplice riflessione: se oggi si investe 1 euro a un tasso di interesse annuo del 10% tra un anno esso frutterà 10 centesimi e quindi si avrà il rimborso del capitale iniziale investito oltre gli interessi maturati, per un totale di 1,10 euro.
Ossia il valore attuale di 1,10 euro da percepire tra un anno ammonta oggi a 1 euro: per calcolare il valore attuale "VA" di un generico flusso di cassa "Fn" che si realizzerà tra "n" anni secondo un tasso di interesse "r" (anche detto tasso di sconto) si impiega la formula:
VA = Fn / (1+r)n

Nel caso si debba decidere tra investimenti alternativi oppure scegliere se intraprenderne o meno anche uno solo – ammettendo di possedere un budget sufficiente – si applicheranno tali concetti, sviluppandoli al fine di valutare investimenti che generano flussi di cassa diversi in tempi diversi.
Occorre però introdurre una regola secondo cui operare le scelte: ad esempio il metodo del Valore Attuale Netto o VAN. Se un ipotetico progetto presenta un VAN positivo è probabile che sia conveniente (se negativo dovrebbe essere tralasciato), mentre tra due investimenti occorrerebbe scegliere quello con un VAN maggiore.
In genere un VAN positivo dovrebbe assicurare il rientro dell'investimento, oltre ad assicurare la remunerazione definita dai criteri di investimenti stimati.

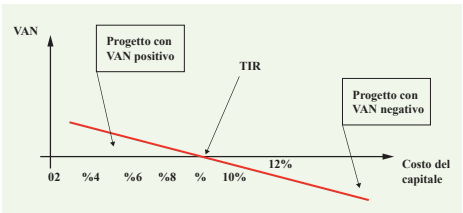
In genere il VAN si calcola come:
VAN = F0 + sommatoria (per t che va da 1 a T) del generico Ft / (1+r)t
ossia
VAN = F0 + F1 / (1+r)1 + F2 / (1+r)2 + F3 / (1+r)3 + … + FT / (1+r)T
in cui
Ft: generico flusso di cassa al periodo t
F0: flusso di cassa iniziale
T: periodo temporale di valutazione (numero complessivo di anni)
r: tasso di sconto.

Il flusso iniziale di cassa sarà negativo, a causa dall'investimento effettuato, ma nel tempo verrà bilanciato elementi di flusso positivi. Qualora l'investimento presenti dei flussi di cassa successivi al periodo di analisi (ad esempio un impianto la cui vita utile sia superiore all'orizzonte temporale scelto per l'analisi finanziaria) la formula si correggerà così:
VAN = F0 + sommatoria (per t che va da 1 a T) del generico Ft / (1+r)t + VANT+1
in cui
VANT+1 è il valore attuale netto ipotizzato dopo il termine dell'orizzonte temporale di valutazione (T).
Risulta determinante anche il valore del tasso di sconto impiegato nelle analisi, in funzione del minore o maggior peso delle condizioni future: minore è il tasso di sconto scelto e maggiori saranno i flussi di cassa futuri rispetto all'investimento iniziale.

Un secondo metodo di analisi è il Tasso Interno di Rendimento, definibile come il tasso di sconto che azzera il VAN di un progetto:

VAN = 0 = F0 + sommatoria (per t che va da 1 a T) del generico Ft / (1+TIR)t

Rappresenta il costo del capitale oltre cui l'investimento non sarebbe redditizio.
Dovendo valutare un investimento, lo si prenderà in considerazione se presenta un TIR maggiore del costo del capitale, mentre in presenza di più investimenti andrebbe scelto quello con il TIR maggiore.
Discretizzando la formula del VAN per diversi valori di TIR si ottiene graficamente la soluzione:



Tasso interno di rendimento