



MARCO BERTI

SUPERBONUS 110%

INTERVENTI ENERGETICI

GUIDA ALLA RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA
FINALIZZATA AGLI INCENTIVI



**PRONTO
GRAFILL**

Clicca e richiedi di essere contattato
per informazioni e promozioni



WEBAPP INCLUSA
CON AGGIORNAMENTO AUTOMATICO

GRAFILL

Marco Berti

SUPERBONUS 110% INTERVENTI ENERGETICI

Ed. I (09-2022)

ISBN 13 978-88-277-0326-7

EAN 9 788827 7 03267

Collana **MANUALI** (277)



**Licenza d'uso da leggere attentamente
prima di attivare la WebApp o il Software incluso**

Usa un QR Code Reader
oppure collegati al link <https://grafill.it/licenza>

Per assistenza tecnica sui prodotti Grafill aprire un ticket su <https://www.supporto.grafill.it>

L'assistenza è gratuita per 365 giorni dall'acquisto ed è limitata all'installazione e all'avvio del prodotto, a condizione che la configurazione hardware dell'utente rispetti i requisiti richiesti.

© **GRAFILL S.r.l.** Via Principe di Palagonia, 87/91 - 90145 Palermo

Telefono 091/6823069 - Fax 091/6823313 - Internet <http://www.grafill.it> - E-Mail grafill@grafill.it

**CONTATTI
IMMEDIATI**



Pronto GRAFILL
Tel. 091 6823069



Chiamami
chiamami.grafill.it



Whatsapp
grafill.it/whatsapp



Messenger
grafill.it/messenger



Telegram
grafill.it/telegram

Finito di stampare presso **Tipografia Publistampa S.n.c. - Palermo**

Edizione destinata in via prioritaria ad essere ceduta nell'ambito di rapporti associativi.

Tutti i diritti di traduzione, di memorizzazione elettronica e di riproduzione sono riservati. Nessuna parte di questa pubblicazione può essere riprodotta in alcuna forma, compresi i microfilm e le copie fotostatiche, né memorizzata tramite alcun mezzo, senza il permesso scritto dell'Editore. Ogni riproduzione non autorizzata sarà perseguita a norma di legge. Nomi e marchi citati sono generalmente depositati o registrati dalle rispettive case produttrici.



**PRONTO
GRAFILL**

**CLICCA per maggiori informazioni
... e per te uno SCONTO SPECIALE**

SOMMARIO

| | | |
|--|----|----|
| INTRODUZIONE | p. | 11 |
| Scopo | " | 11 |
| Struttura | " | 11 |
| Conclusione | " | 12 |
| PARTE PRIMA | | |
| PRINCIPI E GRANDEZZE DI CONTROLLO | " | 13 |
| 1. CONCETTI PRELIMINARI | " | 15 |
| 1.1. Edilizia passiva | " | 15 |
| 1.2. Coefficienti di dispersione termica | " | 17 |
| 1.2.1. Coefficiente di dispersione per trasmissione | " | 18 |
| 1.2.2. Coefficiente di dispersione per ventilazione (e infiltrazione) | " | 20 |
| 1.2.3. Coefficiente di dispersione totale | " | 22 |
| 1.3. La riqualificazione energetica | " | 22 |
| 1.4. Il <i>Blower Door Test</i> | " | 22 |
| 1.5. Dall'edilizia passiva a quella sostenibile | " | 25 |
| 1.6. Edilizia a energia positiva | " | 27 |
| 1.7. I numeri della sostenibilità | " | 35 |
| 1.8. Le impronte ambientali | " | 38 |
| 1.8.1. La dimensione delle impronte | " | 39 |
| 1.9. Entropia | " | 42 |
| 2. GRANDEZZE PER IL CONTROLLO TERMICO | " | 44 |
| 2.1. Conduzione termica | " | 44 |
| 2.2. Convezione termica | " | 45 |
| 2.3. Irraggiamento termico | " | 46 |
| 2.4. Convezione e irraggiamento | " | 47 |
| 2.4.1. Scambi termici combinati | " | 48 |

| | | | |
|---------|--|----|----|
| 2.5. | Evaporazione e condensazione | p. | 48 |
| 2.6. | Conduktività termica | " | 49 |
| 2.7. | Permeabilità al vapore (δ) | " | 50 |
| 2.8. | Coefficiente di resistenza adimensionale al vapore (μ) | " | 51 |
| 2.9. | Resistenza al vapore dimensionale (S_d) | " | 53 |
| 2.10. | Diffusione del vapore (DVA) | " | 53 |
| 2.10.1. | Schermi e membrane traspiranti (SMT) | " | 54 |
| 2.11. | Resistenza termica..... | " | 55 |
| 2.11.1. | Conduktivanza termica..... | " | 55 |
| 2.11.2. | Resistenza superficiale (o adduttanza) | " | 56 |
| 2.11.3. | Resistenza nelle intercapedini | " | 56 |
| 2.12. | Resistenza termica totale..... | " | 57 |
| 2.13. | Resistenza S_d totale..... | " | 57 |
| 2.13.1. | Esempio di una parete perimetrale..... | " | 58 |
| 2.14. | Trasmittanza termica stazionaria | " | 59 |
| 2.15. | Ponti termici..... | " | 60 |
| 2.15.1. | Definizione..... | " | 60 |
| 2.15.2. | Ponti termici di struttura | " | 60 |
| 2.15.3. | Ponti termici di forma | " | 60 |
| 2.15.4. | Isoterme e linee di flusso..... | " | 61 |
| 2.16. | Trasmittanza termica puntuale | " | 62 |
| 2.17. | Trasmittanza termica lineare | " | 62 |
| 2.17.1. | Valori della trasmittanza lineare | " | 63 |
| 2.17.2. | Atlante dei ponti termici | " | 64 |
| 2.17.3. | Dispersione e nodi termici..... | " | 65 |
| 2.17.4. | Calcolo dei ponti termici..... | " | 66 |
| 2.18. | Trasmittanza dei serramenti | " | 68 |
| 2.18.1. | Esempi su differenti vetrate..... | " | 68 |
| 2.18.2. | Esempio su un serramento | " | 70 |
| 2.19. | Massa termica..... | " | 71 |
| 2.19.1. | Massa termica superficiale..... | " | 71 |
| 2.19.2. | Massa termica dei materiali | " | 72 |
| 2.20. | Diffusività termica | " | 72 |
| 2.20.1. | Esempio sulla diffusività..... | " | 74 |
| 2.21. | Trasmittanza termica periodica..... | " | 74 |
| 2.21.1. | Regime periodico semplificato | " | 76 |
| 2.21.2. | Regime periodico (muratura)..... | " | 79 |
| 2.21.3. | Regime periodico (fibra di legno) | " | 81 |
| 2.22. | Chiusure, temperature e pressioni | " | 82 |
| 2.22.1. | Umidità, temperatura e saturazione | " | 83 |
| 2.22.2. | Calcolo dell'umidità relativa | " | 85 |

| | | | |
|---------|---|----|----|
| 2.22.3. | Cappotto termico esterno | p. | 86 |
| 2.22.4. | <i>Glaser</i> con il cappotto esterno | " | 89 |
| 2.22.5. | Cappotto termico interno | " | 90 |
| 2.22.6. | <i>Glaser</i> con il cappotto interno..... | " | 92 |
| 2.22.7. | Cappotto interno con barriera vapore..... | " | 92 |
| 2.22.8. | <i>Glaser</i> con barriera vapore | " | 97 |

PARTE SECONDA

| | | |
|---|---|----|
| INTERVENTI ENERGETICI PRINCIPALI (O TRAINANTI) | " | 99 |
|---|---|----|

| | | |
|--|---|-----|
| 3. MATERIALI ISOLANTI TERMICI | " | 101 |
|--|---|-----|

| | | | |
|--------|---|---|-----|
| 3.1. | Classificazione del comportamento di un materiale isolante | " | 101 |
| 3.1.1. | Densità e calore specifico | " | 101 |
| 3.1.2. | Conduttività termica..... | " | 101 |
| 3.1.3. | Permeabilità al vapore | " | 101 |
| 3.1.4. | Diffusività termica | " | 102 |
| 3.1.5. | Resistenza meccanica | " | 102 |
| 3.1.6. | Reazione al fuoco | " | 102 |
| 3.1.8. | Potere fonoisolante..... | " | 108 |
| 3.2. | Polistirene espanso sinterizzato (EPS) | " | 109 |
| 3.3. | Polistirene espanso con grafite (EPS grigio) | " | 110 |
| 3.4. | Polistirene espanso estruso (XPS)..... | " | 111 |
| 3.5. | Poliuretano espanso rigido (PU) | " | 112 |
| 3.6. | Lana di roccia (MW) | " | 114 |
| 3.7. | Lana di vetro (MW) | " | 115 |
| 3.8. | Lana di legno mineralizzata (WW) | " | 116 |
| 3.9. | Sughero espanso (EC) | " | 117 |
| 3.10. | Fibra di legno (WF) | " | 119 |
| 3.11. | Vetro cellulare (CG) | " | 120 |
| 3.12. | Silicato di calcio idrato | " | 121 |

| | | |
|-------------------------------------|---|-----|
| 4. ISOLARE L'INVOLUCRO | " | 123 |
|-------------------------------------|---|-----|

| | | | |
|--------|--------------------------------------|---|-----|
| 4.1. | Posizione dell'isolante | " | 123 |
| 4.1.1. | Isolante esterno | " | 123 |
| 4.1.2. | Isolante nell'intercapedine..... | " | 124 |
| 4.1.3. | Insufflaggio | " | 124 |
| 4.1.4. | Perlite espansa | " | 125 |
| 4.1.5. | Fibra (o fiocchi) di cellulosa | " | 125 |
| 4.1.6. | Isolante interno | " | 126 |

| | | |
|-----------|---|--------------|
| 4.2. | Isolare la copertura..... | p. 129 |
| 4.2.1. | Struttura portante..... | " 129 |
| 4.2.2. | Pacchetto isolante..... | " 129 |
| 4.2.3. | Strato di protezione e drenaggio..... | " 131 |
| 4.3. | Isolare il sottotetto..... | " 132 |
| 4.4. | Cappotto termico esterno..... | " 132 |
| 4.4.1. | Montaggio del cappotto..... | " 133 |
| 4.4.2. | Basamento del cappotto..... | " 135 |
| 4.4.3. | Parete con lana di roccia (MW)..... | " 137 |
| 4.4.4. | Parete con EPS grigio..... | " 138 |
| 4.4.5. | Parete con fibra di legno (FW)..... | " 141 |
| 4.4.6. | Parete con sughero espanso (EC)..... | " 143 |
| 4.4.7. | Confronto tra differenti isolanti..... | " 145 |
| 5. | PRODUZIONE E DISTRIBUZIONE DEL CALORE..... | " 147 |
| 5.1. | Il sistema impianti..... | " 147 |
| 5.2. | Impianto di base..... | " 148 |
| 5.3. | Combustibili..... | " 150 |
| 5.4. | Caldaie..... | " 151 |
| 5.5. | Pompe di calore..... | " 152 |
| 5.6. | Pannelli solari termici..... | " 153 |
| 5.7. | Accumulo termico..... | " 155 |
| 5.8. | Rete di trasporto..... | " 155 |
| 5.9. | Corpi scaldanti (o terminali)..... | " 156 |
| 5.10. | Rendimenti..... | " 159 |
| 5.11. | Conclusioni operative..... | " 163 |
| 5.12. | La caldaia a condensazione..... | " 163 |
| 5.13. | Il recupero del calore latente..... | " 164 |
| 5.14. | La scheda tecnica..... | " 166 |
| 5.15. | La scelta della potenza..... | " 169 |
| 5.16. | GPL contro metano..... | " 171 |
| 5.17. | Tipologie..... | " 172 |
| 5.18. | Il pellet..... | " 174 |
| 5.19. | Considerazioni operative..... | " 175 |
| 5.20. | Le valvole termostatiche..... | " 176 |
| 5.21. | Valvole termostattizzabili..... | " 177 |
| 5.22. | Comando termostatico..... | " 178 |
| 5.23. | Contabilizzazione diretta..... | " 180 |
| 5.24. | Contabilizzazione indiretta..... | " 180 |
| 5.25. | Ripartitore di calore..... | " 181 |
| 5.26. | Radiatori e caldaia..... | " 182 |

PARTE TERZA

| | | |
|--|----|-----|
| INTERVENTI ENERGETICI AGGIUNTIVI (O TRAINATI) | p. | 185 |
| 6. LA VENTILAZIONE MECCANICA | " | 187 |
| 6.1. La qualità dell'aria | " | 187 |
| 6.1.1. Inquinanti chimici | " | 188 |
| 6.1.2. Inquinanti fisici | " | 190 |
| 6.1.3. Inquinanti biologici | " | 190 |
| 6.1.4. Tasso di ventilazione | " | 192 |
| 6.2. Ricambio dell'aria | " | 194 |
| 6.2.1. Aerazione | " | 195 |
| 6.2.2. Portata di ventilazione | " | 197 |
| 6.2.3. Calcolo della portata | " | 197 |
| 6.3. Sistemi di VMC | " | 199 |
| 6.4. VMC decentralizzata | " | 200 |
| 6.4.1. VMC decentralizzata a singolo flusso alternato | " | 201 |
| 6.4.2. VMC decentralizzata a doppio flusso | " | 202 |
| 6.5. VMC centralizzata | " | 203 |
| 6.6. VMC centralizzata a singolo flusso | " | 205 |
| 6.6.1. VMC centralizzata a singolo flusso autoregolabile | " | 207 |
| 6.6.2. Schema di una VMC centralizzata a singolo flusso | " | 208 |
| 6.7. VMC centralizzata a doppio flusso | " | 209 |
| 6.7.1. Recupero di calore | " | 210 |
| 6.7.2. Performance di un doppio flusso | " | 212 |
| 6.7.3. Schema di una VMC centralizzata a doppio flusso | " | 213 |
| 6.8. Riepilogo sui sistemi di VMC | " | 214 |
| 7. LA POMPA DI CALORE | " | 217 |
| 7.1. Componenti di una pompa termica | " | 221 |
| 7.2. Coefficiente di prestazione | " | 223 |
| 7.3. Sorgenti termiche | " | 225 |
| 7.4. Temperatura di mandata | " | 228 |
| 7.5. Performance e temperature | " | 228 |
| 7.6. Riscaldamento e raffreddamento | " | 230 |
| 7.7. Bollitori di ACS con pompa termica | " | 231 |
| 7.7.1. Bollitori tampone | " | 231 |
| 7.8. Pompe termiche ad aria | " | 232 |
| 7.9. Sistemi bivalenti | " | 235 |
| 8. PANNELLI FOTOVOLTAICI | " | 240 |
| 8.1. Irraggiamento solare | " | 240 |

| | | | |
|------------|---|----|-----|
| 8.2. | Dai semiconduttori alla cella fotovoltaica..... | p. | 240 |
| 8.3. | Dalla cella all'impianto fotovoltaico | " | 242 |
| 8.3.1. | Generatore fotovoltaico | " | 242 |
| 8.3.2. | <i>Inverter</i> | " | 243 |
| 8.3.3. | Batteria di accumulo | " | 245 |
| 8.4. | Sostenibilità..... | " | 246 |
| 8.5. | Dimensionamento di un campo fotovoltaico..... | " | 246 |
| 8.5.1. | Consumo annuo | " | 247 |
| 8.5.2. | Posizione e inclinazione dei moduli | " | 247 |
| 8.5.3. | Scelta del modulo..... | " | 247 |
| 8.5.4. | Scelta dell' <i>inverter</i> | " | 248 |
| 8.5.5. | Coordinate geografiche..... | " | 249 |
| 8.5.6. | Orientamento del pannello..... | " | 250 |
| 8.5.7. | Radiazione solare globale giornaliera | " | 250 |
| 8.5.8. | Calcolo dell'impianto fotovoltaico | " | 253 |
| 8.5.9. | Scelta di una batteria di accumulo | " | 254 |
| 9. | LE COLONNINE DI RICARICA | " | 255 |
| 9.1. | Il caricabatteria..... | " | 256 |
| 9.2. | Il tempo di ricarica | " | 257 |
| 9.2.1. | Esempio sul tempo di ricarica..... | " | 257 |
| 9.2.2. | Secondo esempio sul tempo di ricarica | " | 258 |
| 9.2.3. | Modi di ricarica..... | " | 259 |
| 9.2.4. | Prese e connettori..... | " | 261 |
| 9.2.5. | Tipi di colonnine (o stazioni) | " | 262 |
| 9.2.6. | Scelta della colonnina | " | 262 |
| 9.2.7. | Campo fotovoltaico per la colonnina | " | 265 |
| 10. | CONTENUTI E ATTIVAZIONE DELLA WEBAPP | " | 266 |
| 10.1. | Contenuti della WebApp..... | " | 266 |
| 10.2. | Requisiti hardware e software | " | 266 |
| 10.3. | Attivazione della WebApp | " | 266 |
| | BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA | " | 268 |
| | Bibliografia | " | 268 |
| | Sitografia | " | 268 |

INTRODUZIONE

Scopo

In questo manuale vengono descritti gli interventi più frequenti finalizzati a quello che in maniera suggestiva è chiamato *superbonus 110* per cento.

In effetti, sono stati rappresentati tutti quei lavori che rispondono alle richieste normative in tema di interventi principali o trainanti (a eccezione dei provvedimenti antisismici) e in tema di interventi aggiuntivi o trainati (a eccezione dei provvedimenti per l'abbattimento delle barriere architettoniche).

In sintesi vengono presentati quei lavori che in termini generali rientrano nell'attività di riqualificazione energetica degli edifici esistenti – quelli che (secondo la norma) godono del *superbonus 110*.

Inoltre, il manuale, attraverso semplici e numerosi esempi numerici dà forma e sostanza a quelle grandezze che costituiscono gli strumenti fondamentali per operare, progettare, o semplicemente scegliere i materiali all'interno del mercato dell'edilizia.

Struttura

Il testo è diviso in tre parti:

- la prima parte tratta alcuni argomenti che formano la base per qualunque intervento di riqualificazione energetica, come ad esempio gli edifici passivi, l'uso del *Blower Door Test* e gli edifici a energia positiva. E vengono definite le principali grandezze come le resistenze, le trasmittanze (anche in regime periodico), i ponti termici, la diffusività, il calcolo di una stratigrafia con l'uso di una barriera vapore e la verifica di *Glaser*;
- la seconda parte, dopo un'introduzione sui materiali isolanti, tratta quegli argomenti che rappresentano gli interventi principali (o trainanti) del *superbonus 110*, come l'isolamento termico delle strutture d'involucro, il cappotto termico e la riqualificazione degli impianti con la caldaia a condensazione, le valvole termostatiche e i generatori ibridi;
- la terza parte analizza gli interventi aggiuntivi (o trainati) del *superbonus 110*, in particolare tratta della ventilazione meccanica controllata, delle pompe di calore aria-acqua, di quelle geotermiche e dei moduli fotovoltaici con l'uso dell'atlante solare e un semplice esempio di dimensionamento per un edificio residenzia-

le. Infine, presenta un argomento esplicitamente indicato dal *superbonus 110*: le colonnine per la ricarica degli autoveicoli ibridi plug-in e di quelli elettrici, con un esempio di dimensionamento di una stazione di ricarica e di un sistema fotovoltaico per la sua alimentazione.

Conclusione

Da quanto detto, dovrebbe risultare evidente che l'organizzazione di questo manuale ha lo scopo di dare le basi per gli interventi di riqualificazione energetica finalizzata agli incentivi.

Pertanto, il volume è destinato a quei tecnici, che da differenti punti di vista si confrontano con il *superbonus 110*.

CONCETTI PRELIMINARI

Esiste una dimensione culturale quando si procede verso un intervento di riqualificazione energetica. Questo libro (nel suo complesso), e soprattutto questo capitolo, sono finalizzati alla ricerca di questa dimensione.

Un modello di riferimento

Realizzare un intervento finalizzato al miglioramento della performance energetica di un sistema edilizio, edificio ecc., significa (in ogni caso) tendere a un modello di riferimento: la casa passiva. Ovvero, anche riqualificando (dal punto di vista energetico) un edificio di tipo ordinario, i modelli e le tecnologie di riferimento sono quelle della casa passiva. Per questo motivo è importante lo studio di un sistema passivo.

1.1. Edilizia passiva

Non è semplice una definizione dei sistemi passivi, tante sono le variabili tecnologiche, culturali e storiche che li contraddistinguono. Purtroppo, si possono enumerare le proprietà fondamentali di un edificio passivo, o a comportamento passivo:

- un livello d'isolamento elevato, tanto da rendere praticamente ermetico l'involucro. Con un cappotto termico esterno che raggiunge spessori di circa 25-30 cm;
- la quasi totale mancanza di un impianto di climatizzazione. Ovvero, la presenza di un impianto di ventilazione meccanica controllata (VMC) con recuperatore di calore (e talvolta con pompa termica) che risolve sia il problema del ricambio dell'aria che quello di rendere confortevole l'ambiente *indoor*¹.

Diversamente, vale a dire in assenza di un sistema VMC, l'ermeticità dell'involucro renderebbe disagiata l'ambiente *indoor* per l'elevato livello d'umidità interna che si accumulerebbe.

Dal punto di vista storico abbiamo avuto (e abbiamo tuttora) varie denominazioni: edilizia bioclimatica, bioarchitettura, edifici a energia quasi zero, architettura a bassa (o

¹ L'elevato livello d'isolamento, l'ermeticità dell'involucro e quindi la bassa permeabilità al vapore, se da un lato riducono fortemente consumi ed emissioni, al contempo aumentano il livello d'umidità dell'ambiente *indoor* generando il disagio termico negli utilizzatori. Pertanto, in questo contesto, diventa fondamentale il sistema VMC con recuperatore di calore, che, oltre a ridurre le perdite di ventilazione, determina l'allontanamento dell'umidità all'esterno.

nulla) impronta di carbonio ecc.. Tutte classificazioni che – pur rispondendo a valenze culturali distinte e approcci tecnologici differenti – rappresentano modelli architettonici che hanno uno scopo in comune:

- il basso o quasi nullo consumo di energia (si intende quella non rinnovabile) e una bassa o quasi nulla emissione di gas a effetto serra.

In modo più sintetico, i modelli architettonici elencati (e in generale tutti quelli a basso consumo energetico e ridotte emissioni), rientrano nell'edilizia passiva, che più recentemente viene denominata architettura sostenibile.

Osservazione

Il concetto di edilizia passiva si contrappone al concetto di edilizia attiva (che di fatto è l'edilizia ordinaria).

In linea di principio, nell'edilizia passiva non si utilizzano dispositivi elettromeccanici come pompe, azionamenti elettrici ecc. – al contrario, nell'edilizia attiva si utilizzano i dispositivi elettromeccanici per il movimento del fluido termovettore (ad esempio le pompe elettriche nell'impianto di riscaldamento/raffrescamento) o per l'azionamento di schermature solari ecc. (ad esempio i motori elettrici attuatori per la chiusura/apertura delle tapparelle).

Tuttavia, nella pratica dell'edilizia contemporanea, anche gli edifici passivi fanno un uso – seppur in modo molto limitato – di alcuni dispositivi elettromeccanici per il comando delle schermature solari, per la ventilazione meccanica controllata, per le pompe di calore ecc.

In conclusione, un sistema passivo è caratterizzato dalle tecnologie elencate nel seguente prospetto.

Prospetto 1.1. Tecnologie dell'edilizia passiva

| Edificio passivo | |
|---|--|
| Tecnologie: | Effetti: |
| Massimo livello dell'isolamento termico dell'involucro | Riduzione delle perdite di calore |
| Elevata ermeticità (ossia tenuta dell'aria) dell'involucro | Riduzione delle perdite per infiltrazioni d'aria |
| Ventilazione meccanica controllata con recuperatore di calore | Riduzione delle perdite per il ricambio dell'aria indoor e climatizzazione |

Le perdite dell'involucro edilizio

Le perdite di calore di un edificio sono dei seguenti tipi:

- perdite di calore per trasmissione attraverso lo spessore dell'involucro;
- perdite di calore per ventilazione dovute al ricambio dell'aria interna;
- perdite di calore per infiltrazione dovute (soprattutto) alla scarsa qualità di montaggio degli infissi, alla presenza delle canalizzazioni degli impianti, alle cassette

GRANDEZZE PER IL CONTROLLO TERMICO

In questo capitolo verranno accennate le principali modalità di scambio termico e verranno analizzati i fattori di controllo dei processi termici e igrometrici.

2.1. Conduzione termica

La conduzione è una modalità di trasmissione del calore – in un mezzo solido o fluido¹ – che avviene senza trasferimento di massa. È un flusso di calore che va nel senso delle temperature decrescenti.

Se dal punto di vista macroscopico il movimento di massa è nullo, dal punto di vista microscopico la conduzione è data dal continuo moto casuale delle particelle elementari che urtandosi trasferiscono energia da quelle più veloci a quelle più lente.

Nei solidi, questo trasferimento di energia (a livello microscopico) è dato dalle vibrazioni delle molecole che formano il reticolo cristallino e dal movimento disordinato degli elettroni liberi. Nei fluidi, è dato dal movimento disordinato delle molecole che collidono continuamente.

La potenza termica trasferita per conduzione attraverso una parete perimetrale è data dalla seguente relazione:

$$\dot{Q} = \lambda A \frac{T_1 - T_2}{\Delta x} = \lambda A \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (W) \quad 2.1$$

dove:

- \dot{Q} : potenza termica trasmessa per conduzione (W);
- λ : conduttività termica del materiale (W/mK);
- A : area della superficie della parete (m²);
- Δx : spessore della parete (m);
- T_1 : temperatura² della faccia interna della parete (°C);

¹ Per fluido si intende una sostanza allo stato liquido, allo stato gassoso o allo stato di vapore.

² Nella Relazione 2.1 la temperatura può essere espressa sia in gradi kelvin (K) che in gradi celsius (°C). Infatti, essendo le due scale centesimali, ogni qual volta abbiamo una differenza di temperatura, si può usare indifferentemente sia l'una che l'altra unità di misura.

- T_2 : temperatura della faccia esterna della parete ($^{\circ}\text{C}$);
- ΔT : gradiente termico applicato allo spessore della parete ($^{\circ}\text{C}$).

Dove λ è un costante di proporzionalità che rappresenta la capacità di un materiale di trasmettere il calore per conduzione. Tanto più alto è il valore di λ tanto maggiore sarà la potenza termica trasmessa.

Nel seguente prospetto diamo alcuni valori della conduttività termica.

Prospetto 2.1. *Conduttività termica di alcuni materiali*

| Materiale | λ (W/mK) | Materiale | λ (W/mK) |
|-----------|------------------|---------------------------|------------------|
| Argento | 429 | Porcellana | 0,9 |
| Oro | 317 | Acqua (liquida in quiete) | 0,63 |
| Ghisa | 50 | Pelle umana | 0,37 |
| Grafite | 4,9 | Alcool | 0,21 |
| Ghiaccio | 2,35 | Linoleum | 0,18 |

2.2. Convezione termica

La modalità di trasmissione del calore tra una superficie solida e un fluido adiacente è la conduzione se il fluido è fermo, oppure è la convezione se il fluido è in moto. Pertanto, nella conduzione il trasferimento di calore è dato dal movimento microscopico delle particelle elementari, mentre nella convezione il trasferimento di calore è dato sia dal movimento microscopico delle particelle che dal movimento macroscopico del fluido. In altri termini, la convezione rappresenta l'effetto combinato di conduzione e trasporto di massa.

Il calore trasmesso tra un solido e un fluido con trasporto di massa (convezione) è maggiore del calore trasmesso senza trasporto di massa (conduzione). Inoltre, la velocità crescente del movimento del fluido aumenta il calore scambiato con la superficie solida. Quando il moto del fluido è forzato da un dispositivo o agente esterno (un ventilatore, una pompa o il vento) si parlerà di **convezione forzata**. Diversamente, quando il moto è dovuto alla variazione di densità dovuta alla variazione di temperatura, si parlerà di **convezione naturale**.

La potenza termica scambiata per convezione tra una superficie solida e un fluido vale:

$$\dot{Q} = hA(T - T_{\infty}) \quad (\text{W}) \quad 2.2$$

dove:

- \dot{Q} : potenza termica scambiata per convezione (W);
- h : coefficiente di scambio termico convettivo ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$);
- A : area della superficie solida (m^2);

MATERIALI ISOLANTI TERMICI

3.1. Classificazione del comportamento di un materiale isolante

Le principali grandezze per la classificazione del comportamento di un materiale isolante sono:

- la densità;
- il calore specifico;
- la conduttività termica;
- la permeabilità;
- la resistenza meccanica;
- la reazione al fuoco.

3.1.1. Densità e calore specifico

Dal punto di vista delle unità di misura abbiamo: $[\text{kg}/\text{m}^3]$ per la densità e $[\text{J}/\text{kgK}]$ per il calore specifico. Il loro prodotto rappresenta la massa termica.

Una massa termica in aumento (abbinata a una conduttività decrescente) contrasta con efficacia crescente il caldo estivo. Nelle stratigrafie di un involucro, la massa termica non è data dallo strato isolante, ma è fornita dallo strato che svolge la funzione strutturale.

3.1.2. Conduttività termica

Dal punto di vista dell'unità di misura abbiamo: $[\text{W}/\text{mK}]$.

Tanto minore è la conduttività termica, tanto maggiore è il contrasto al freddo invernale. E tanto maggiore è il livello d'isolamento. Un materiale termicamente isolante dev'essere chiuso alla diffusione del calore.

Le stratigrafie di un involucro funzionale, hanno una conduttività termica decrescente verso l'esterno. Ovvero, con gli strati dell'involucro che rimangono "caldi" verso l'interno (in inverno), oppure "freddi" (in estate).

3.1.3. Permeabilità al vapore

Consideriamo la permeabilità DVA (Diffusione del Vapore Acqueo), con la seguente unità di misura: $[\text{g}/\text{m}^2 \text{24h}]$. Per un materiale, tanto maggiore è la permeabilità, quanto più è aperto alla diffusione del vapore.

Le stratigrafie di un involucro funzionale, hanno una permeabilità crescente verso l'esterno; e al contempo, una conduttività decrescente. Vale a dire, gli strati interni, che diffondono con maggiore difficoltà il vapore, nel senso che sono meno aperti alla diffusione, sono più caldi; mentre gli strati esterni, aperti alla diffusione del vapore, sono più freddi. Tutto questo riduce la probabilità dell'evento condensazione e aumenta l'effetto volano termico dell'involucro.

3.1.4. Diffusività termica

Dal punto di vista dell'unità di misura abbiamo: $[cm^2/h]$.

La diffusività termica è data dalla conduttività diviso per la densità e diviso per il calore specifico. Ovvero, dalla conduttività diviso per la massa termica.

Nell'involucro funzionale, la massa termica significativa è negli strati verso l'interno, mentre la resistenza termica significativa è negli strati verso l'esterno. Con queste due grandezze - concentrate in punti diversi dell'involucro - si contrasta tanto il freddo invernale, quanto il caldo estivo.

3.1.5. Resistenza meccanica

Dal punto di vista dell'unità di misura abbiamo il chilo-pascal: $[kPa]$.

La resistenza meccanica è principalmente riferita alla resistenza a compressione e alla stabilità di forma. Infatti, i materiali isolanti svolgono la loro funzione coibente per la presenza nella propria massa di aria ferma, la quale, una volta espulsa accidentalmente per compressione, oppure espulsa lentamente per compressioni ripetute, rende il materiale conduttivo.

Pertanto, questa proprietà diventa importante in tutte quelle situazioni dove le sollecitazioni meccaniche divengono significative, ovvero durante le operazioni di cantiere quando i pannelli vengono stoccati per impilaggio, oppure in opera, nell'isolamento sottopavimento continuamente sottoposto al calpestio ecc.

Ma anche in situazioni meccanicamente meno gravose, come in un cappotto esterno, che è protetto soltanto da un sottile strato (sebbene armato) d'intonaco.

Osservazione

Di solito viene fornito il livello di pressione a compressione (kPa) che determina una deformazione del 10%.

3.1.6. Reazione al fuoco

La classificazione della reazione al fuoco di un materiale è fondamentale per la prevenzione dell'evento incendio.

La reazione al fuoco di un materiale dipende da vari parametri, ad esempio:

- l'infiammabilità;
- la resistenza alla propagazione della fiamma;

ISOLARE L'INVOLUCRO

Per isolamento termico dell'involucro, si intende l'isolamento delle chiusure verticali e orizzontali che formano il confine dell'edificio. In altri termini si includono le pareti perimetrali e la copertura. E si escludono il solaio di base e le strutture contro terra, che sono termicamente meno significative, e sono soggette a differenti criticità, come l'umidità e il gas radon.

4.1. Posizione dell'isolante

Dal punto di vista termico, il materiale isolante, in qualunque posizione, produce i medesimi effetti. Diversamente, dal punto di vista igrometrico, gli effetti cambiano.

Comunque, lo strato di materiale isolante, può essere in queste differenti posizioni:

- all'esterno della struttura d'involucro. In questo caso, se la struttura è una chiusura verticale (o parete perimetrale) si parla di cappotto termico esterno;
- dentro la massa della struttura d'involucro. In questo caso si parla d'isolamento nelle cavità o nell'intercapedine. Si tratta di riempire i vuoti interni alle strutture con un materiale isolante in pannelli o in forma granulare;
- all'interno della struttura d'involucro. Nel caso delle pareti perimetrali si parla di cappotto termico interno.

4.1.1. Isolante esterno

Quando i pannelli isolanti vengono messi all'esterno, le strutture d'involucro sono completamente protette e funzionano da pareti "calde" (in inverno) o da pareti "fredde" (in estate).

In questa posizione, il materiale isolante corregge i ponti termici ed evita la formazione della condensa, delle muffe e delle macchie. Inoltre, le strutture d'involucro protette dall'isolante, funzionano da "volano termico", vale a dire aumentano l'inerzia termica del sistema edificio. Ovvero, accumulano il calore, lo trattengono e lo rilasciano lentamente, quando l'ambiente interno è in fase di raffreddamento.

In altre parole, l'inerzia termica migliora il comfort dell'ambiente *indoor*, e limita gli sbalzi termici, e le dilatazioni termiche, riducendo i movimenti interstrutturali degli edifici ed evitando il generarsi di fessurazioni.

Con il pannello isolante messo all'esterno dell'involucro (elementi in nero della figura sottostante), abbiamo il cappotto termico. Denominato – in presenza di certificazione europea di sistema – anche ETICS¹.

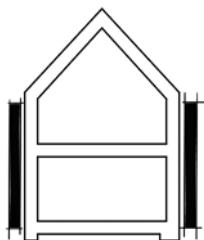


Figura 4.1. Cappotto esterno

Il sistema dell'isolamento sull'esterno è il sistema d'elezione per le case passive, quelle a energia quasi zero, quelle a energia positiva ecc.

4.1.2. Isolante nell'intercapedine

Il sistema è dotato di poca inerzia termica. Infatti, circa metà della parete è accoppiata termicamente all'ambiente esterno. L'isolamento è discontinuo – a causa delle interruzioni nelle intercapedini – e quindi non corregge i ponti termici in prossimità dei pilastri, delle intersezioni tra i solai e le pareti perimetrali ecc.

È un sistema abbandonato negli edifici nuovi. È usato (per il basso costo e la semplicità della messa in opera) negli edifici esistenti con intercapedine vuota. In questo caso il riempimento dell'intercapedine viene fatto con l'insufflaggio. Che consiste nel "soffiarvi" dentro un materiale isolante in fibre, o granuli (ad esempio fibre di cellulosa, sughero granulare, perlite, vermiculite ecc.).

Il sistema non si applica alle case passive, che non hanno intercapedini; tantomeno intercapedini vuote, dove l'aria, con moto convettivo, disperde quantità significative di calore.

4.1.3. Insufflaggio

L'insufflaggio è una tecnica di riempimento – con materiale isolante – di cavità vuote presenti all'interno delle strutture. Si usa nelle ristrutturazioni, quando, per vari motivi, non è possibile applicare l'isolamento esterno. È di semplice esecuzione. E rientra tra gli isolamenti in intercapedine.

Presentando tutte le criticità di questo tipo d'isolamento: non corregge i ponti termici e non risolve il rischio di condensazione.

Tra i materiali più usati per l'insufflaggio abbiamo la perlite espansa e la fibra di cellulosa.

¹ ETICS: "External Thermal Insulation Composite System", ovvero; Sistema di Isolamento Termico a Cappotto.

PRODUZIONE E DISTRIBUZIONE DEL CALORE

Chiarimento iniziale

Quando il livello d'isolamento è elevato (tipo casa passiva), per la climatizzazione dell'ambiente *indoor* è sufficiente il sistema di ventilazione meccanica controllata con recuperatore termico, eventualmente integrato (soprattutto per il raffrescamento estivo) da una pompa di calore. Quando il livello d'isolamento è medio, per la climatizzazione dell'ambiente *indoor*, solitamente si installa una caldaia a condensazione. I casi intermedi vanno valutati di volta in volta. Comunque le soluzioni sono una combinazione delle seguenti tecnologie: ventilazione meccanica controllata, pompa termica, pannelli solari termici e caldaia a condensazione.

5.1. Il sistema impianti

Il calore viene prodotto in punti e ambienti diversi rispetto ai punti e ambienti di utilizzazione. Quindi, è necessario utilizzare un vettore – un fluido – che trasporti il calore dal punto di produzione ai punti di consumo.

In funzione del fluido termovettore, gli impianti vengono classificati in impianti ad acqua e impianti ad aria. Che sono detti rispettivamente a “tutt’acqua” e a “tutt’aria”. In taluni casi si utilizzano ambedue i fluidi – con differenti funzioni – e parleremo di impianti misti.

Gli impianti ad acqua – che sono quelli utilizzati nell’edilizia residenziale – permettono il controllo della temperatura dell’aria ambiente, mentre non sono in grado di controllare umidità e ventilazione.

Un **impianto ad acqua** è costituito dai seguenti elementi:

- generatori di produzione di acqua calda e fredda, rispettivamente caldaia e macchina frigorigena;
- tubazioni per la distribuzione del fluido termovettore all’interno dell’edificio, ovvero per portare il calore nei vari ambienti;
- terminali scaldanti in grado di realizzare lo scambio termico tra acqua (il fluido termovettore) e aria del locale da riscaldare (termosifoni, ventilconvettori, pannelli radianti).

Nei luoghi di lavoro – soprattutto in quelli aperti al pubblico – è sempre previsto un ricambio d’aria con un impianto di ventilazione meccanica. Dove, l’aria esterna di rinnovo

– prima dell'immissione nell'ambiente interno – viene trattata e adeguata alle condizioni di temperatura e umidità dell'aria *indoor*. In questo caso il fluido termovettore è l'aria e si parla di "impianti ad aria".

Un **impianto ad aria** è costituito dai seguenti elementi:

- generatore di produzione di acqua calda e fredda, vale a dire una caldaia e una macchina frigorifera;
- macchina di trattamento aria (MTA), che – utilizzando l'acqua fredda o calda – raffredda o riscalda, deumidifica o umidifica l'aria proveniente dall'esterno;
- sistema per raffreddare la parte "calda" della macchina frigorifera: il condensatore. Che può essere raffreddato ad acqua, mediante la torre evaporativa, oppure ad aria, mediante un ventilatore;
- canalizzazioni per il trasporto dell'aria dalle MTA all'ambiente *indoor*;
- reti e i servizi di sistema: per il trasporto dell'acqua calda e fredda dai generatori alla MTA; per la raccolta della condensa sulle batterie fredde della MTA; per il collegamento del condensatore della macchina frigorifera (MF) alla torre evaporativa, quando il raffreddamento è ad acqua.

L'impianto ad aria è quello che garantisce le migliori condizioni ambientali interne, a fronte di un maggior costo e dell'impegno di un maggiore spazio, date le dimensioni dei canali dell'aria, con un diametro di almeno 20-30 cm. Per limitare l'ingombro degli impianti ad aria si utilizzano gli **impianti misti**. Dove il controllo dell'umidità e della ventilazione è affidata a un sistema ad aria, mentre il controllo della temperatura a un sistema ad acqua.

Un tipico impianto misto è quello che utilizza le bocchette a parete (o a soffitto) per l'immissione e l'estrazione dell'aria e i terminali scaldanti (radiatori, ventilconvettori ecc.), alimentati ad acqua, per controllare la temperatura dell'aria *indoor*.

Osservazione

Questi impianti ad aria (o misti), data l'elevata dimensione e complessità, non rientrano nei tipi per l'edilizia abitativa, per le piccole attività commerciali ecc., e non rientrano negli scopi del testo. Diversamente, gli impianti ad aria di portate limitate, vi rientrano pienamente e vengono denominati sistemi di ventilazione meccanica controllata (VMC). Dove non ci sono le macchine frigorifere (che sono energivore), le torri evaporative ecc., ma semplicemente degli scambiatori termici e delle pompe di calore. Inoltre, gli edifici passivi utilizzano esclusivamente questo tipo di impianto ad aria (VMC) per la climatizzazione dell'ambiente interno.

I sistemi di VMC verranno trattati nella parte terza del testo (cfr. Capitolo 6).

5.2. Impianto di base

È quello che si utilizza negli edifici residenziali. Di solito è finalizzato al solo riscaldamento, o al raffrescamento o alla ventilazione.

LA VENTILAZIONE MECCANICA

La ventilazione meccanica controllata è praticamente obbligatoria quando il livello dell'isolamento termico dell'involucro è elevato; ad esempio, tutte le case passive sono dotate di un impianto di ventilazione meccanica controllata (VMC). Quindi, in generale, tutte le case termicamente molto isolate ed ermetiche – ossia con elevata tenuta dell'aria – devono essere dotate di un sistema di VMC. Negli altri casi – quando il livello dell'isolamento e l'ermeticità non sono estremi – l'impiego della VMC va valutato caso per caso.

Un altro aspetto importante. Quando la ventilazione meccanica è dotata di un recuperatore di calore – ed è inserita in un ambiente termicamente ben isolato ed ermetico – il sistema di VMC **funziona anche da climatizzatore** dell'ambiente *indoor*. Ad esempio, nelle case passive, a qualunque latitudine, è l'unico sistema di climatizzazione impiegato.

Obiettivo della ventilazione meccanica

È finalizzata al ricambio dell'aria *indoor*. Soprattutto negli edifici molto isolati ed ermetici, che accumulano grandi quantità di umidità. È anche finalizzata alla climatizzazione dello spazio interno.

Componenti fondamentali di un sistema di VMC

È un sistema meccanico molto semplice (e a basso consumo energetico). Il *core* è costituito da due ventilatori. Il primo estrae l'aria viziata interna e la espelle all'esterno. Il secondo aspira l'aria fresca esterna e la immette all'interno. Il consumo elettrico è trascurabile: ogni ventilatore assorbe circa 100 watt. Inoltre, nei sistemi di VMC aggiornati, è sempre presente uno scambiatore per il recupero termico; che trasferisce il calore (circa il 90%) dall'aria calda in uscita all'aria fredda in ingresso – oppure, nel periodo estivo, dall'aria calda in ingresso all'aria fredda in uscita.

6.1. La qualità dell'aria

In generale, l'aria *indoor* è fino a cinque volte più inquinata dell'aria esterna; infatti, mentre nell'ambiente esterno l'aria inquinata si disperde, negli ambienti interni l'aria viene continuamente inquinata e si concentra causando malessere, malattie ecc. In concreto, l'aria *indoor* viziata è piena di umidità e sostanze inquinanti.

Tenendo inoltre presente che il tempo trascorso negli ambienti confinati è in media il 70% del tempo totale a disposizione, ne discende che la qualità dell'aria *indoor* è un obiettivo fondamentale in ambito edilizio.

Nel seguente prospetto diamo i numeri che rappresentano la percentuale di esposizione a un certo inquinante, in un luogo definito.

Prospetto 6.1. *Esposizione ad alcuni inquinanti in luoghi diversi*

| Percentuale di esposizione in ambienti diversi | | | | |
|--|--------|------------------|-------------|---------|
| Agente inquinante | A casa | In altri edifici | All'esterno | In auto |
| Monossido di carbonio | 50% | 41% | 4% | 5% |
| Biossido di azoto | 48% | 35% | 15% | 2% |
| Formaldeide | 63% | 34% | 1% | 2% |
| Composti organici volatili | 69% | 18% | 3% | 10% |

Uno sguardo rapido mette in evidenza come un ambiente *indoor* – nel suo complesso – sia molto più inquinato dell'ambiente esterno. E come l'ambiente domestico sia più inquinato degli altri ambienti interni.

In ultima analisi, i dati mettono in evidenza quanto sia importante un rigoroso rinnovo dell'aria, con lo scopo di ridurre il livello dell'inquinamento *indoor*.

Gli inquinanti *indoor*

Si suddividono in tre categorie: inquinanti fisici, chimici e biologici. E si presentano come gas, vapori o particolato.

6.1.1. Inquinanti chimici

Monossido di carbonio (CO)

Gas inodore, incolore, insapore e tossico. Generato negli ambienti interni e nell'ambiente esterno prossimo all'ambiente *indoor*. Deriva da una combustione incompleta. Ovvero dal cattivo funzionamento degli impianti di riscaldamento, delle stufe, dei caminetti e dei fornelli. Deriva anche dai gas di scarico degli autoveicoli.

Biossido di azoto (NO₂)

Gas tossico, di colore giallo-rosso, di odore forte e pungente. Con un grande potere irritante. In ambiente *indoor* è dovuto ai fornelli, alle stufe, alle caldaie (quando sono interne agli spazi abitati) e al fumo di tabacco.

Biossido di zolfo (SO₂)

Gas incolore, irritante, non infiammabile, solubile in acqua, dall'odore pungente. Deriva dai processi di combustione interni all'edificio e da quelli esterni.

LA POMPA DI CALORE

Negli edifici di nuova costruzione, e nelle riqualificazioni energetiche importanti di edifici esistenti, è opportuno che il fabbisogno energetico sia risolto impiegando (per quanto possibile) fonti rinnovabili, e quindi sostenibili¹.

Tra i generatori termici, le pompe di calore utilizzano energia rinnovabile, infatti utilizzano il calore che è liberamente disponibile nell'ambiente che ci circonda (ossia nell'aria, nell'acqua e nel sottosuolo).

Trasporto di calore da bassa ad alta temperatura

Mentre il calore passa spontaneamente – ossia senza impiegare lavoro – da un mezzo caldo a un mezzo freddo; il processo inverso – ovvero il trasporto di calore dal freddo al caldo – si realizza con una macchina frigorigena (un climatizzatore), o con una pompa di calore. Con la differenza che un climatizzatore ha come scopo (effetto utile) il raffreddamento, mentre una pompa di calore ha come scopo (effetto utile) il riscaldamento.

E con un'ulteriore differenza pratica: mentre il climatizzatore può funzionare solo da macchina frigorigena, la pompa di calore è invertibile, e – oltre a funzionare come generatore di calore – funziona anche come macchina frigorigena.

In concreto, sia il climatizzatore che la pompa di calore (nel suo duplice funzionamento), realizzano un trasferimento termico nella medesima direzione (dalla sorgente fredda al pozzo caldo).

Quello che cambia è l'effetto utile (o effetto obiettivo); infatti, mentre un climatizzatore (o una pompa termica quando funziona da generatore di freddo) hanno come effetto utile (o scopo) quello di mantenere un certo ambiente a "bassa" temperatura (ossia raffrescarlo), sottraendogli calore e cedendolo a un pozzo con una temperatura superiore; la pompa di calore (quando funziona da generatore termico) ha come effetto utile (o scopo) quello di mantenere un certo ambiente ad "alta" temperatura (ossia riscaldarlo), fornendogli calore sottratto a una sorgente a temperatura inferiore (che potrebbe essere aria atmosferica, acqua o sottosuolo).

¹ In realtà, oltre allo scopo socialmente importante dell'uso di fonti rinnovabili, vige anche un vincolo normativo, che indica che almeno il 50% dell'intero fabbisogno energetico di un nuovo edificio (o di un edificio ampiamente riqualificato) deve provenire da fonte rinnovabile (e sostenibile). E ciò motiva l'ampio successo dei generatori ibridi che abbinano una pompa di calore con una caldaia a condensazione a gas metano.

Entropia

Quando il calore passa spontaneamente da una temperatura superiore, a una temperatura inferiore, abbiamo un aumento di entropia. Del resto – il secondo principio della termodinamica – **indica che gli eventi avvengono spontaneamente nel verso delle entropie crescenti.**

L'entropia è definita dalla seguente relazione:

$$S = \frac{Q}{T} \quad 7.1$$

dove:

- S : entropia di un sistema (kJ/K);
- Q : calore scambiato dal sistema (kJ);
- T : temperatura assoluta del sistema (K).

Osservando la precedente equazione, notiamo che quando il calore passa verso temperature inferiori, l'entropia è crescente². Vale a dire, il trasporto di calore nel senso delle temperature decrescenti, avviene spontaneamente e **non richiede** l'apporto di energia dall'esterno. Al contrario, sempre osservando la precedente equazione, notiamo che quando il calore passa verso temperature superiori, l'entropia è decrescente, il processo non è spontaneo, e richiede un apporto di energia dall'esterno.

Osservazione

Quando l'entropia è crescente gli eventi si realizzano spontaneamente (come afferma il secondo principio della termodinamica) e quindi senza apporto di lavoro (o spesa energetica). Ad esempio, in uno scambiatore termico statico, il calore va spontaneamente verso le temperature inferiori (e il lavoro speso è nullo).

Al contrario, in una pompa termica, il calore non va spontaneamente verso le temperature superiori (infatti l'entropia è decrescente), il lavoro speso non è nullo, ma corrisponde all'apporto energetico per l'azionamento del compressore della pompa di calore.

Schemi logici di funzionamento

La pompa termica può funzionare sia come **generatore di calore (PdC)** che come **macchina frigorigena (MF)**. Comunque, in ambedue le modalità trasferisce il calore da una sorgente fredda a un pozzo caldo.

Nella seguente figura riportiamo il suo schema termodinamico; dove a sinistra funziona come macchina frigorigena – ed è finalizzata a raffrescare un ambiente *indoor*

² Infatti, la temperatura si trova al denominatore, per cui, quando è decrescente aumenta l'intera frazione (ovvero l'entropia).

PANNELLI FOTOVOLTAICI

8.1. Irraggiamento solare

L'irraggiamento solare rappresenta la quantità di energia solare incidente su una superficie unitaria in un giorno. L'unità di misura è il kWh/m² giorno.

L'irraggiamento solare è una quantità che dipende dalle condizioni climatiche locali (ad esempio la nuvolosità) e dalla latitudine del luogo, ed è decrescente quando la latitudine è crescente e viceversa. Ad esempio, alle varie latitudini del territorio nazionale, l'irraggiamento medio giornaliero, su un metro quadrato di superficie orizzontale, vale:

- area settentrionale: 3,5 kWh/m² giorno;
- area centrale: 4,6 kWh/m² giorno;
- area meridionale: 5,35 kWh/m² giorno.

Con un sistema fotovoltaico **si trasforma l'irraggiamento solare in elettricità**.

8.2. Dai semiconduttori alla cella fotovoltaica

Conduttori e semiconduttori

Nei conduttori le cariche elettriche (gli elettroni) si spostano liberamente sotto l'azione di un campo elettrico. In altre parole, in un conduttore gli elettroni si trovano nella banda di conduzione dove hanno un'elevata mobilità.

Nei semiconduttori – che presentano una conducibilità intermedia tra un conduttore e un isolante – le cariche elettriche si trovano nella banda di valenza e hanno una scarsa mobilità.

Tra i semiconduttori abbiamo:

- il silicio;
- il germanio;
- l'arseniuro di gallio.

Drogaggio di un semiconduttore

Il comportamento elettrico dei semiconduttori viene modificato attraverso un trattamento chiamato "drogaggio". Che include, nella struttura cristallina del materiale, delle impurità (sostanze estranee) che danno maggiore mobilità alle cariche elettriche.

In pratica si fanno due tipi di trattamento:

- drogaggio di **tipo P**: la sostanza inserita crea una struttura cristallina con alcune lacune, che sono cariche positive mobili;
- drogaggio di **tipo N**: la sostanza inserita crea una struttura cristallina con alcuni elettroni liberi, che sono cariche negative mobili.

Giunzione PN

Sovrapponendo uno strato semiconduttore di tipo N con uno strato semiconduttore di tipo P, si ottiene un componente polarizzato: la giunzione PN.

La giunzione PN è un **semiconduttore polarizzato**, nel senso che è conduttore in un verso e isolante nel verso opposto.

Cella fotovoltaica

La cella fotovoltaica è un dispositivo dove la parte attiva è la giunzione PN. Ed è il dispositivo dove avviene l'effetto fotovoltaico, vale a dire la produzione di corrente elettrica (o di tensione elettrica) dall'irraggiamento solare.

Per l'effetto fotovoltaico, la giunzione PN (che è polarizzata), deve essere orientata con lo stato N verso il sole e con lo strato P verso la parte opposta.

Dal punto di vista tecnologico nella cella fotovoltaica abbiamo:

- la giunzione PN, con la zona N che assorbe l'energia solare;
- i contatti elettrici metallici, per il collegamento elettrico con le altre celle, dispositivi ecc.;
- il rivestimento antiriflettente, per ridurre la riflessione dell'irraggiamento solare;
- la testurizzazione¹ della faccia esposta al sole (quella di tipo N), con lo scopo di aumentare la superficie di scambio termico e di recuperare una parte dei raggi solari riflessi.

Prestazioni di una cella

Le condizioni standard – che hanno lo scopo di rendere confrontabili le prestazioni di differenti celle – sono le seguenti:

- irraggiamento solare: 1000 W/m²;
- temperatura della cella: 25°C.

La potenza di una cella, in condizioni standard, è chiamata potenza di picco, ed è misurata in **watt di picco** (W_p).

Diversamente, la potenza di una cella, in condizioni reali (**non standard**), è misurata in watt (W).

Come semplice orientamento quantitativo possiamo dire che una cella quadrata (o equivalente) di dimensioni 125×125 mm produce – in condizioni standard – i valori di seguito riportati:

¹ La superficie della cella, che si presenta piana, in realtà è costituita da tante piccole e contigue piramidi infinitesime.

LE COLONNINE DI RICARICA

Negli ultimi tempi stiamo assistendo alla transizione dai veicoli a trazione termica ai veicoli a trazione ibrida, e a trazione elettrica.

Nei veicoli a trazione termica viene utilizzato un motore termico; in quelli a trazione ibrida vengono adoperati due motori: quello termico e quello elettrico; infine, nei veicoli a trazione elettrica viene adoperato soltanto un motore elettrico.

Il combustibile fossile dei motori termici (benzina, gasolio ecc.) viene stoccato nel serbatoio, mentre la carica elettrica dei motori elettrici viene stoccata in batteria, che viene ricaricata con varie modalità, in funzione del tipo di veicolo.

Dal punto di vista ambientale la transizione dai veicoli termici a quelli elettrici determina una forte riduzione delle emissioni e dell'inquinamento¹.

Veicoli ibridi (*Hybrid Electric Vehicles - HEV*)

Hanno due motori: elettrico e termico, e una batteria di accumulo.

Il motore termico è di trazione. Il motore elettrico è di supporto a quello termico in fase di accelerazione, ed è alimentato dalla batteria che viene ricaricata dallo stesso motore elettrico, che funziona da generatore azionato dal motore termico, nelle fasi di frenata o decelerazione dell'autoveicolo. In altre parole, nel veicolo ibrido la batteria si ricarica recuperando l'energia durante le decelerazioni del mezzo. Infine, aumentando la capacità della batteria, vale a dire usando batterie più grandi, il motore elettrico (per pochi chilometri e a bassa velocità) diventa motore di trazione.

La classificazione dei veicoli ibridi viene fatta in funzione del rapporto fra la potenza elettrica e quella termica.

In pratica, all'aumentare della componente elettrica, abbiamo:

- *Micro Hybrid (Micro HEV)*;
- *Mild (o Medium) Hybrid (Mild HEV)*;
- *Full Hybrid (Full HEV)*.

In concreto, nei veicoli *Micro* e *Mild*, la trazione (con il mezzo a velocità costante) è data dal motore termico (solitamente a benzina), mentre in accelerazione è data dal ter-

¹ È bene comunque ricordare che il veicolo elettrico, pur non inquinando localmente (vale a dire nei luoghi dove è presente), è comunque un forte consumatore di elettricità, che è ancora prodotta in gran parte da fonti fossili.

mico e dall'elettrico. Nei veicoli *Full*, dotati di una batteria con maggiore capacità di accumulo, alcuni tratti possono essere fatti a trazione elettrica.

Nell'ambito dei veicoli ibridi esiste un'altra tipologia, *Plug-in HEV (PHEV)*², con una batteria più capace, ricaricabile anche da una presa di corrente, e con una maggiore autonomia nella trazione elettrica.

Osservazione

Mentre nelle *Micro, Mild e Full HVE* – la batteria si ricarica recuperando energia in fase di frenata e decelerazione; nelle *Plug-in* la batteria si ricarica sia in fase di frenata e decelerazione, che a una presa di corrente.

Veicoli elettrici (*Electric Vehicles – EV*)

Il motore e la trazione sono soltanto elettrici. La batteria si ricarica sia a una presa di corrente che in fase di frenata e decelerazione – *Battery Electric Vehicles (BEV)*.

Osservazione

Come conclusione di questa brevissima introduzione si può dire che le auto ibride *Plug-in* e le auto elettriche (*BEV*) si ricaricano sia in marcia con il recupero energetico in fase di frenata e di decelerazione, che con il collegamento a una presa di corrente, una colonnina di ricarica o un dispositivo *Wall Box*. Oppure, ma solo **in emergenza**, con una presa schuko.

Con l'avvertenza che la ricarica con la presa schuko deve essere continuamente controllata, infatti, le elevate correnti di ricarica possono determinare il surriscaldamento (della linea e della presa) ed eventualmente l'incendio.

9.1. Il caricabatteria

Premesso che la funzione di un caricabatteria è quella di convertire la corrente alternata della rete in corrente continua della batteria, e di abbassare la tensione della rete nella tensione della batteria, abbiamo due tipi di ricarica:

- in corrente continua, dove il caricabatteria è **interno alla stazione di ricarica**, e il cavo di collegamento (tra la presa e il veicolo) è collegato direttamente alla batteria;
- in corrente alternata, dove il caricabatteria è **interno all'autoveicolo**, e il cavo di collegamento (tra la presa e il veicolo) è collegato al caricabatteria che a sua volta alimenta la batteria.

² "Plug in", in italiano: "collegare"; si riferisce ai veicoli che si collegano alla rete elettrica per ricaricare la batteria.

CONTENUTI E ATTIVAZIONE DELLA WEBAPP

10.1. Contenuti della WebApp

La **WebApp inclusa** consente di accedere alla banca dati con motore di ricerca **Speciale superbonus 110%** che riporta:

- Normativa di rango primario;
- Modifiche alla norma di rango primario;
- Provvedimenti attuativi;
- Provvedimenti e circolari dell'Agenzia delle Entrate;
- Risposte e Risoluzioni dell'Agenzia delle Entrate;
- Risposte della Commissione consultiva per il monitoraggio dell'applicazione del Sismabonus;
- Dati Enea sull'utilizzo del superbonus 110%;
- Normativa collegata;
- Giurisprudenza;
- Documenti utili.

10.2. Requisiti hardware e software

- Dispositivi con MS Windows, Mac OS X, Linux, iOS o Android;
- Accesso ad internet e browser web con Javascript attivo;
- Software per la gestione di documenti Office e PDF.

10.3. Attivazione della WebApp

- Collegarsi all'indirizzo internet:

https://www.grafill.it/pass/0326_7.php

- Inserire i codici **[A]** e **[B]** riportati nell'ultima pagina del presente volume e cliccare su **[Continua]**;

- Accedere al **Profilo utente Grafill** oppure crearne uno su **www.grafill.it**;
- Cliccare sul pulsante **[G-CLOUD]**;
- Cliccare sul pulsante **[Vai alla WebApp]** a fianco del prodotto acquistato;
- Fare il *login* usando le stesse credenziali di accesso al **Profilo utente Grafill**;
- Accedere alla WebApp abbinata alla presente pubblicazione cliccando sulla relativa immagine di copertina presente nello scaffale **Le mie App**.

