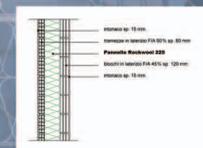
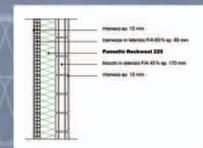


La Casa Passiva in Italia

Teoria e Progetto di una "casa passiva" in tecnologia tradizionale

Attilio Carotti
Domenico Madé



ROCKWOOL®

Presentazione

Il crescente interesse e la crescente sensibilità che ormai anche il nostro Paese sta rivolgendo ai problemi del risparmio energetico in edilizia, hanno fatto nascere anche nuove esigenze di comunicazione per l'aggiornamento professionale e per la formazione in ambito 'education'. La letteratura tecnica di 'prima generazione' (prevalentemente centro europea), fondativa di concetti e metodi della climatizzazione invernale a basso consumo o "passiva", si apre dunque ora a nuovi scenari climatici e a nuove specifiche esigenze: un Paese come il nostro vede i carichi di raffrescamento estivo giocare ruoli ben maggiori che nell'Europa centrale e con un peso, nel bilancio complessivo, non minore di quello invernale. Con le nuove normative nazionali e locali stanno apparendo i primi cantieri e le prime realizzazioni di edifici energeticamente performanti, a sancire che anche da noi è iniziata l'era dell' "edilizia certificata".

Molti ormai, comuni cittadini e tecnici del settore, cominciano a rendersi conto dei vantaggi multiscala che dalla nuova 'edilizia di qualità' potranno venire alle singole famiglie e alla collettività. Sul piano operativo, progettisti e tecnici del settore, edili e impiantisti, si pongono nuove domande, non solo sui criteri e metodi di progettazione, ma anche sui tempi e modi del 'cantiere', sul reperimento di materiali e componenti ad hoc, sul coordinamento edilizia/impianti, sulle tecnologie costruttive e di installazione, sulla valutazione dei costi.

A domande di questo tipo vuol dare risposta il presente testo 'di seconda generazione': dopo un inquadramento dei problemi multiscala su ambiente e sostenibilità e i fondamenti della progettazione e della certificazione di edifici energeticamente performanti e di "case passive", il libro dedica ampio spazio ai criteri di controllo dei carichi energetici e del benessere termoigrometrico per gli edifici a latitudini mediterranee e climi caldi. Il secondo e terzo capitolo sono dedicati ad una approfondita analisi della prima 'casa passiva' con design e tecnologia edile italiana tradizionale, realizzata a Cherasco (CN), in Piemonte, e certificata secondo il PassivHaus Standard; qui vengono analizzati tutti gli aspetti progettuali e costruttivi che hanno permesso di realizzare con successo quest'opera.

Un particolare ringraziamento rivolgiamo all' ingegner Paolo Guanzani per i preziosi suggerimenti durante lo sviluppo dell'opera.

Attilio Carotti e Domenico Madè
Milano, ottobre 2006

Prefazione

Due anni di progettazione e dieci mesi di cantiere: questi i tempi per realizzare la nostra casa passiva.

Perchè casa passiva?

Mio marito ed io siamo amanti della natura, specialmente della montagna; spesso nella stagione invernale pratichiamo sci nelle varie località turistiche che coronano la pianura della provincia di Cuneo. Siamo sempre rimasti impressionati e colpiti dalla vista di una cappa scura che nelle limpide giornate invernali ricopre tutta la pianura fino ad arrivare a Torino e che in venticinque anni è peggiorata sempre più. Per anni ci siamo chiesti quale potesse essere la causa di tutto ciò. Comune convinzione che la causa fosse lo smog dei gas di scarico delle automobili. Purtroppo, invece, la causa principale era da ricondurre ai fumi di scarico emessi dagli impianti di riscaldamento.

Nel momento in cui abbiamo pianificato di costruire la nostra casa, abbiamo deciso di non voler contribuire a peggiorare la situazione ambientale e quindi dovevamo assolutamente trovare una soluzione per limitare al minimo le emissioni di fumi inquinanti.

Nel frattempo, mio marito si era informato a quanto potesse ammontare la spesa annua per riscaldare la nostra casa con un impianto tradizionale a gpl, ed era rimasto letteralmente sconvolto quando aveva saputo che la spesa sarebbe stata poco meno di quattromila euro all'anno! Una follia!

La nostra idea iniziale era di costruire un edificio alimentato da un impianto geotermico, idea successivamente accantonata a causa delle caratteristiche morfologiche del terreno su cui sarebbe sorto. Non abbandonata la convinzione di costruire un edificio a basso consumo energetico continuammo le nostre ricerche in Austria ed in tutto l'Alto Adige ed un giorno, per caso, ci imbattemmo in una casa passiva: "fu amore a prima vista".

Ebbe così inizio la nostra avventura per realizzare la nostra casa passiva.

Dopo quasi due mesi di ricerche trovai un architetto austriaco con il quale iniziai a collaborare, il nostro incontro fu proficuo in quanto mi permise di visitare alcuni cantieri e di apprendere "sul campo" questi nuovi metodi costruttivi.

Il primo problema che incontrai nella realizzazione della nostra casa fu adeguare questi metodi a quella che era l'architettura prettamente piemontese, poiché l'edificio non poteva assolutamente avere delle caratteristiche costruttive simili a quelle che oggi ritroviamo nelle case passive del Nord e Centro Europa.

Ho adattato quindi queste tecnologie alla mia struttura in cemento armato con non poche difficoltà nel farle accettare ed eseguire all'impresario.

Mi recai varie volte in Austria accompagnata dal mio impresario per consentirgli di superare lo scetticismo inizialmente manifestato; tuttavia durante questi viaggi continuava a ripetermi: "io ve la costruisco, ma non funzionerà mai" e giunti in Austria, dopo aver visto le case in legno del Nord Europa, in modo ilare mi disse: "forse non avete ancora capito che dobbiamo costruire una casa solida e non una cuccia per cani".

In uno degli ultimi viaggi in Austria richiesi inoltre la presenza di mio suocero, dirigente di produzione in un'industria chimica del Torinese, che caratterialmente è una persona molto razionale e difficile da convincere se non dopo avere attentamente valutato i rischi. Ebbi la conferma da parte di entrambe che il progetto poteva realmente funzionare.

Con il supporto morale di mio marito che aveva sempre creduto in questo progetto, decisi di partire per questa avventura.

L'edificio, acquistato circa dieci anni fa, si trova in provincia di Cuneo in Località San Bartolomeo, nel cuore delle Langhe, vicino alla graziosa cittadina di Cherasco.

L'edificio preesistente era composto da un lungo fabbricato in cui erano visibili successivi ampliamenti.

La parte a sud ospitava l'abitazione: era intonacata ed aveva tre piani fuori terra ed un piano interrato con accesso dall'esterno; al piano terra c'era la zona giorno e un forno centrale per far cuocere il pane, al primo piano le camere (tutte con il proprio caminetto), mentre il piano sottotetto non era abitabile.

La parte nord era in mattoni a vista, sia in facciata che all'interno, ed era utilizzato come laboratorio e ricovero attrezzi. Queste due diverse destinazioni d'uso sono state riprese nel mio progetto come lo sono stati alcuni particolari costruttivi tra cui l'utilizzo di mattoni a vista e l'inserimento di un oblò sul lato nord, che nell'edificio preesistente era doppio e serviva per illuminare il primo piano, mentre nel mio progetto serve per l'illuminazione della scala interna di collegamento tra il piano terreno ed il primo piano.

Le persiane sono di colore simile a quelle preesistenti in quanto il mio obiettivo è sempre stato quello di mantenere vivo lo stile architettonico originario per ricordare agli abitanti del paese l'edificio precedente.

La pratica edilizia era iniziata con una denuncia attività (ristrutturazione edilizia) che prevedeva la parziale demolizione e la fedele ricostruzione del volume dell'edificio, successivamente, quando ha preso forma il progetto di casa passiva è stato richiesto il permesso di costruire per ridurre notevolmente i volumi e per riuscire a ruotare leggermente l'edificio al fine di avere maggiore esposizione sul lato sud. Il terreno su cui esisteva il vecchio edificio era stretto e lungo; questo ci ha un po' vincolati nella forma del fabbricato senza

però compromettere la buona riuscita del progetto. Le case passive visitate presentano infatti a sud la manica più lunga e ad ovest quella più corta. Nel nostro caso a sud e a nord si trovavano le facciate più strette e ad ovest quelle più lunghe. Anche internamente non siamo stati fedeli ai modelli austriaci che presentano un'unica zona giorno al piano terreno con una scala centrale che conduce ad una sorta di balconata interna con affaccio sul soggiorno sottostante e dalla quale avviene la distribuzione alle camere da letto.

L'edificio è composto da un fabbricato rettangolare con una parte più bassa in mattoni a vista, sia interni che esterni ed una parte più alta intonacata suddivisa tra piano terreno, in cui si trova la zona giorno aperta e piano primo in cui si trovano le camere da letto.

Il piano interrato, per scelta progettuale, non è stato incluso nel progetto passivo ed è collegato alla casa tramite una scala esterna.

L'edificio ha una superficie totale di 240 m² (140 m² al piano terra e 100 m² al piano primo) ed un volume di circa 650 m³: sia all'ingresso-studio, sia al piano primo abbiamo lasciato il tetto a vista (nello studio in rovere e nelle camere in abete) con conseguente notevole altezza che è stata sfruttata con sopralchi in legno.

I lavori sono iniziati nel febbraio 2005 e sono terminati nel novembre 2005.

Il trasloco era previsto per fine dicembre 2005 ma, ahimé, ci imbattemmo in un'altra persona scettica sul nostro progetto di casa passiva: nostro figlio Filippo di 4 anni! Durante la prima visita ufficiale all'interno dell'abitazione infatti notò che non erano presenti i termosifoni considerati da lui fondamentali per riscaldarsi i vestiti al mattino durante l'inverno. Al loro posto vide le bocchette di ventilazione e fino al giorno del trasloco non ha esitato a manifestarci il suo disappunto per tale "mancanza".

Il 21 dicembre 2005, mio marito Luca, mio figlio Filippo di 4 anni, mia figlia Matilde di appena 6 mesi ed io siamo finalmente entrati nella nostra casa ed il nostro sogno si è avverato.

Oggi, 29 settembre 2006, a nove mesi di distanza dobbiamo ammettere che siamo soddisfatti della scelta che abbiamo fatto. La temperatura in casa è rimasta costante a 21 °C per tutto l'inverno, mentre non ha mai superato i 24 °C durante i mesi estivi e, aspetto importante da sottolineare, è che per avere queste condizioni abbiamo speso fino ad ora meno di duecentocinquanta euro.

Le difficoltà che ho incontrato sono state superate, soprattutto grazie al lavoro di team di tutti coloro che sono stati impegnati per un anno intero a condurre questa "missione".

In primis l'impresario Battista inizialmente scettico, si è poi dimostrato molto disponibile ad utilizzare queste tecniche nuove di costruzione, cosa non facile per un impresario costruttore da più di cinquant'anni di case tradizionali. Ancora più difficile accettare le direttive di un neo architetto come sono io ammettendo che sicuramente questi saranno gli edifici del futuro.

Un ringraziamento è rivolto anche a Bernard, che ha creato e messo in funzione l'impianto di riscaldamento e di ventilazione della casa. Arrivando da noi partendo quasi dai confini con l'Austria si è sempre reso molto disponibile e cosciente dell'impegno che avrebbe dovuto svolgere. Super efficienti sono stati Klaus ed Helmut, i montatori dei serramenti da me acquistati in Alto Adige da un'azienda che ho scoperto dopo innumerevoli ricerche, poiché la corretta installazione dei serramenti è fondamentale per il buon funzionamento di qualsiasi casa passiva.

Grande impegno ha dimostrato Claudio, l'elettricista che oltre all'impianto elettrico ha dovuto siliconare tutti i tubi in cui passano i cavi per evitare dispersioni; inizialmente aveva espresso alcune perplessità, oggi si è appassionato al progetto e ne parla con entusiasmo. Non per ultimo ringrazio tutto il team di Rockwool Italia, soprattutto l'ingegner Paolo Guanzani, che mi ha seguita nella posa dell'isolante oltre alla fornitura ed il professore Attilio Carotti che fin dall'inizio mi ha sostenuta in questo progetto e che ha voluto mettere a disposizione di tutti la mia esperienza positiva che potrà essere di esempio e di aiuto per coloro che vorranno replicare ciò che ho fatto io.

La conferma ufficiale del successo è finalmente arrivata alla fine del mese di novembre 2005, quando lo staff di ingegneri austriaci ha effettuato il blower door test, e ci ha rilasciato la certificazione di Casa Passiva.

Architetto Maria Grazia Novo

e-mail: atelier.novomg@yahoo.it

cell. 331.276.46.09

















Sommario

Capitolo I. Ambiente, Sostenibilità, Edilizia.

I Consumi e strategie energetiche multiscala. Ambiente e clima	1
1.1 Consumi energetici mondiali	1
1.2 Il quadro europeo: potenzialità del risparmio energetico e controllo del clima	3
1.3 Le azioni nazionali e il quadro italiano	3
1.4 Protocollo di Kyoto ed “Emission Trading”	4
1.5 La Direttiva europea EPBD sull’efficienza energetica in edilizia. Misure specifiche di politica energetica	5
1.6 Il recepimento dell’EPBD in Italia	7
2 Il concetto di casa passiva nei climi freddi e moderati	10
2.1 Introduzione	10
2.2 Canoni di progetto di una casa passiva	13
2.3 Influenza dei vari fattori dell’involucro sulle performance globali della casa passiva	15
2.4 La forma	16
2.5 L’orientamento dell’edificio e i serramenti vetrati	17
2.6 L’involucro	19
2.7 La ventilazione forzata	21
3 La Casa Passiva nelle regioni mediterranee	23
3.1 Introduzione	23
3.2 Le tecniche di controllo energetico passivo per edifici nei climi caldi	28
3.3 Il controllo solare: un esempio	30
3.4 Controllo dei carichi interni con tecniche di modulazione dei guadagni termici	32
3.5 Tecniche di abbattimento (dissipazione/trasferimento) del calore in ingresso	35

4	Benessere termoigrometrico	39
4.1	Introduzione	39
4.2	Gli inquinanti ambientali	41
4.3	Gli indici di comfort termico	42

Capitolo 2. Una “casa passiva” italiana in tecnologia tradizionale: l’esperienza di Cherasco

1	Cenni sull’origine del fabbricato	45
2	Filosofia di recupero e di progetto: il cammino verso la “Casa Passiva”	47
2.1	Il progetto architettonico	50
2.2	Il sistema impiantistico della casa di Cherasco	55
2.3	Due cardini del progetto integrato: la forma dell’edificio e la qualità dell’involucro	60
2.3.1	La forma. Il rapporto S/V	60
2.3.2	L’involucro	62
(I)	Generalità	62
(II)	Assenza di ponti termici	66
(III)	L’isolamento della copertura	71
(IV)	I serramenti finestra	74
(V)	Gli ombreggiamenti	77
(VI)	L’impermeabilità all’aria dell’involucro	82
3	La risposta estiva della casa di Cherasco: analisi degli sfasamenti dell’onda termica	86

Capitolo 3. Alcuni aspetti della progettazione e realizzazione della casa passiva di Cherasco.

I	Gli impianti.	95
1.1	La ventilazione e il riscaldamento	95
1.2	L'“aggregato compatto” aria-aria	99
1.2.1	Caratteristiche di “Aerosmart L”	101
1.2.2	Dimensionamento a zone dell'aerazione	107
1.2.3	Lo scambiatore di calore interrato	110
1.3	Casa di Cherasco: il bilancio energetico invernale	114
1.4	La produzione di acqua calda. Interventi successivi sul sistema edificio impianto	118
1.5	Ipotesi di produzione di energia elettrica con il fotovoltaico	122
2	Il cantiere di Cherasco: il libro di cantiere	123

Appendice

1	Standard per il calcolo del fabbisogno energetico primario	130
2	La nuova normativa tecnica	131

Bibliografia

- Lloyd A.C., *Una Centrale elettrica in cantina*, Le Scienze, Settembre 1999, pp. 84-97;
- M. Aygun, *Environmental life cycle assessment of buildings and their elements in Sustainable Building 2000 Maastricht - Proceedings*, Eneas Technical Publishers, A Best 2000;
- E. Van Eueren, *The Dutch national packages for sustainable building: a first step towards a sustainable built environment in Sustainable Building 2000 Maastricht - Proceedings*, Eneas Technical Publishers, A Best 2000;
- D. De Masi, *Un codice per la qualità energetico - ambientale*, in «Ecoenea», n. 3, settembre 1998, pp. 8-11;
- Huovilla, *Construction related sustainability indicators: setting targets and monitoring performance in the built environment in Sustainable Building 2000 Maastricht - Proceedings*, Eneas Technical Publishers, A Best 2000;
- AA.VV., *Edifici efficienti dal punto di vista energetico*, Le Scienze, ott. 1987;
- *Green Building Challenge - 1998/2002 process overview*, in <http://www.greenbuilding.ca/iisbe/gbc2k2/gbc2k2-start.htm>, Green Building Challenge, 2002;
- *Solution technique RT 2000 - Maisons individuelles non climatisees*, materiale informativo, Ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement -Secretariat d'Etat au Logement, 2001;
- ANIT, *Sintesi del D.lgs 19 agosto 2005*, Aprile 2006;
- Margelli R., *A proposito di rendimento energetico: il D.lgs 192*, ABCD N.25 2005, pp. 38-40;
- “Passive on” project, Report ‘Passive Houses for Italy’, 2006 (progetto fra sei partner europei)
- Bronzo E., *Ex area Falck investimenti per 4 mld*, Il Sole 24Ore, 17 giugno 2006;
- Carotti A., Rimoldi P., *Prontuario di Ingegneria Edile e Strutturale*, Editore UTET, Torino 2000 (pp. 566)
- Carotti A., Rimoldi P., Marchionini L., *Modelli e Dati per Progettare in Ingegneria. Nuovo Manuale Sinottico*, Editore Abitare Segesta Documenti, Milano 1999 (384 pp.)
- Carotti A.(Editor), *Vetro Strutturale e Facciate Continue*, Editore Libreria CLUP, Milano 2003 (Collana ‘Quaderni di Innovazione & Hi-Tech in Architettura ed Edilizia’)
- Carotti A.(Editor), *Sperimentazione Monitoraggio & Diagnostica Strutturale: il Collaudo Strutturale*, Editore Libreria CLUP, Milano 2003 (Collana ‘Quaderni di Innovazione & Hi-Tech in Architettura ed Edilizia’)

-
- Carotti A.(Editor), *Progettazione di Ambienti Interrati in presenza di Falda. Impermeabilizzazione. Drenaggio dei Terreni*, Editore Libreria CLUP, Milano 2004 (Collana 'Quaderni di Innovazione & Hi-Tech in Architettura ed Edilizia')
 - Carotti A. (Editor), *La Casa Passiva. Costruzione e Struttura. Progettazione. Adeguamento. Manuale di dettagli costruttivi*, Libreria Ed. CLUP, 2004 (Collana 'Quaderni di Innovazione & Hi-Tech in Architettura ed Edilizia')
 - Carotti A. (Editor), *La Casa Passiva in Europa*, Libreria Ed. CLUP, 2005;
 - Ferrari S., *Lucentezza nell'efficienza*, QualEnergia, anno IV, N.1, 2006;
 - Laukamp H., *Photovoltaic in buildings*, materiale informativo, Fraunhofer ISE, Friburgo 2001;
 - La Torre C., *Parametri e valori del comfort igrotermico*, in: *L'installatore italiano*, n. 4/2003, pp. 120-124;
 - Barbieri D., Pietrafesa M. e Rizzo G., *Qualità dell'area interna e requisiti di ventilazione*, Quaderni di Fisica Tecnica e Energetica, Aprile 2006;
 - Santamouris M. & Asimacopoulos D.: *Passive Cooling of Buildings*, James & James, London 1996;
 - Wienke U. (a cura di), *I materiali termoisolanti dal punto di vista ecologico*, ASSA, Perugia, 1996;
 - Wienke U., *L'Edificio Passivo, Standard, Requisiti, Esempi, Alinea*, 2002;
 - Wienke U., *Edifici Passivi*, in: *L'installatore Italiano*, n.7, Luglio 2002, pp. 43-49
 - Corrado V. e Serraino M., *Applicazione della nuova normativa sull'efficienza energetica degli edifici*, Quaderno Rockwool Italia, 2006
 - Decreto Legislativo 19 Agosto 2005, N.192, *Attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia*;
 - Ecofys, *Mitigation of CO₂ Emissions from Building*, febbraio 2004;
 - Wienke U., *Aria Calore Luce*, DEI, 2005;
 - Wienke U., *Edifici Passivi. Verso uno standard energetico europeo*, *L'installatore italiano*, N.9, settembre 2000, pp. 50-58.
 - Tavolo Energia & Ambiente (Provincia di Milano), *Certificazione Energetica degli Edifici – Procedura Operativa*, 24 gennaio 2006;
 - Zabot S., *Valutazione di standard per gli edifici ad alta qualità energetica*, Eubios, n.12, anno VII, febbraio 2005, pp. 12-40;
 - Dall'Ò G., *Gli impianti nell'architettura*, Editore UTET, Torino, 2000;
 - *L'igrotermia*; Biblioteca Knauf, 1996.

Siti internet

www.rockwool.it - www.rockwool.com - www.cephus.de - www.eurima.org - www.euroace.org - www.digilander.libero.it/giabon

Capitolo I. Ambiente, Sostenibilità, Edilizia.

I Consumi e strategie energetiche multiscala. Ambiente e clima

I.1 Consumi energetici mondiali

Nel 2004 i consumi mondiali d'energia primaria sono cresciuti del 3,7%. Le dinamiche, tuttavia, variano fra le regioni del Mondo e sembrano fortemente correlate all'espansione dell'attività economica. In particolare, la domanda energetica cinese mostra un'importante progressione, con una crescita del 12,5%. Nei principali Paesi industrializzati l'aumento dei consumi è stato più contenuto a causa della minore espansione dell'economia e dell'effetto dell'incremento dei prezzi energetici. Il 2004 è l'anno in cui i consumi energetici dei Paesi in via di sviluppo hanno superato quelli dei Paesi dell'OCSE.

Nel 2004 il petrolio ha coperto circa il 35,3% dei consumi complessivi d'energia primaria, il carbone il 24,6% e il gas naturale il 20,7%. Il restante 19,4% è costituito da energia elettrica primaria (9% circa, principalmente nucleare e idroelettrica), e da biomassa (10,4% circa). Negli ultimi mesi si è assistito ad una progressiva crescita dell'importanza relativa del carbone, a seguito soprattutto dello sviluppo del settore termoelettrico in Cina e in India.

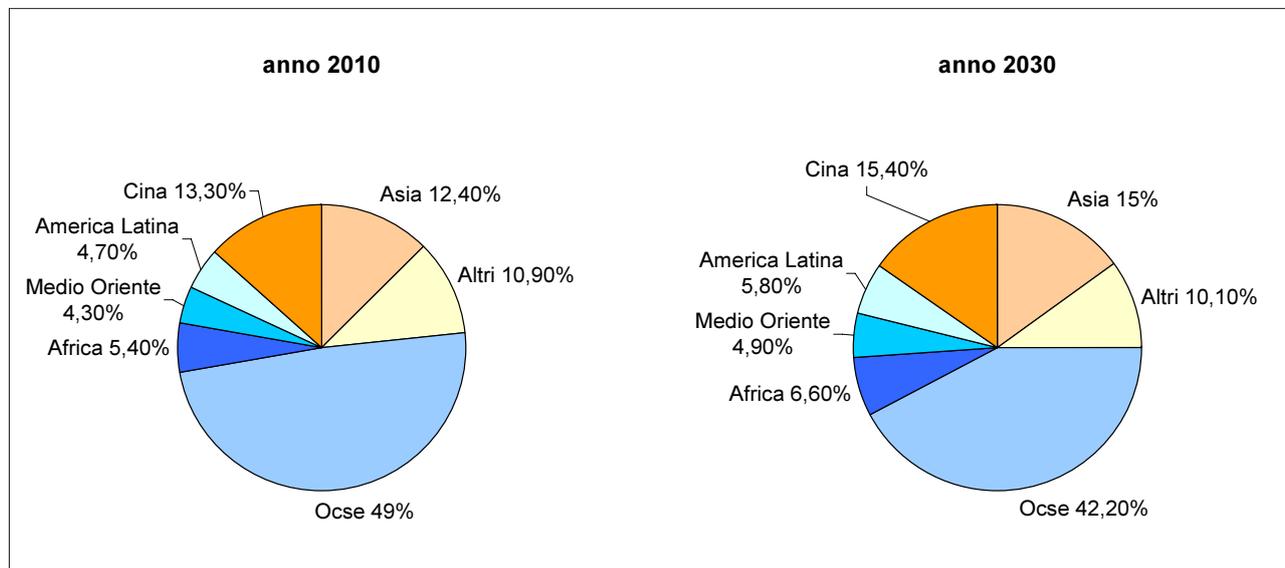
Sulla scena ambientale internazionale il 2004 è stato caratterizzato da un ciclo serrato di negoziazioni, in particolare dell'Unione Europea con la Russia, per permettere l'entrata in vigore del Protocollo di Kyoto, poi realizzatasi nel gennaio 2005.

In parallelo, a livello di UE, le negoziazioni fra i Paesi membri, l'industria e la Commissione hanno avuto come oggetto principale la presentazione e l'approvazione dei Piani Nazionali di Assegnazione (PNA) delle Emissioni di CO₂, requisito necessario per l'applicazione

della direttiva sul commercio di emissioni (Emission Trading). Il mercato delle emissioni ha preso ufficialmente avvio nel gennaio del 2005 ma, in attesa dell'approvazione definitiva di tutti i piani di allocazione, il volume delle emissioni scambiate ed il loro prezzo sono rimasti molto modesti.

Ripartizione dei consumi mondiali:

lo sviluppo delle nuove economie emergenti traccia un nuovo quadro della ripartizione delle risorse energetiche; uno studio ne evidenzia il diverso mix previsto nel prossimo futuro.



1.2 Il quadro europeo: potenzialità del risparmio energetico e controllo del clima

In Europa i consumi complessivi di energia per riscaldamento superano di poco il 40% del totale, con grande influenza sulle emissioni di CO₂, responsabile del 50% dell'effetto serra.

Questo quadro vede i consumi dell'Europa al 15% del totale mondiale e l'Europa stessa al non invidiabile primato di essere il maggior importatore di energia.

Sulla base delle tendenze attuali, entro il 2030 l'UE dipenderà per il 90% dalle importazioni per coprire il suo fabbisogno di petrolio e per l'80 % per quello di gas naturale. Come indicato nella riunione ministeriale dell'Agenzia Internazionale dell'Energia (AIE) del 2 maggio 2005, l'efficienza energetica è uno degli strumenti fondamentali per far fronte a questa sfida.

Secondo numerosi studi l'UE potrebbe risparmiare almeno il 20 % rispetto al suo consumo attuale d'energia, per un importo pari a 60 miliardi di euro all'anno, equivalente al consumo energetico di Germania e Finlandia messe assieme.

L'Europa è all'avanguardia a livello mondiale nella predisposizione di adeguati servizi energetici; gli investimenti richiesti porterebbero quindi alla creazione di numerosi nuovi posti di lavoro di alta qualità in Europa. Sulla base di diversi studi si stima un incremento di occupazione, diretto e indiretto, di un milione di nuovi posti di lavoro.

Il risparmio energetico rappresenta senza dubbio il mezzo più rapido, efficace ed efficiente, in termini di costi, per ridurre le emissioni di gas a effetto serra e per migliorare la qualità dell'aria, in particolare nelle regioni densamente popolate.

1.3 Le azioni nazionali e il quadro italiano

Sotto molti aspetti il livello nazionale sembra più adeguato per realizzare le misure volte all'efficienza energetica. L'azione delle autorità nazionali rafforza l'azione comunitaria che, da sola, non può risultare efficace nel lungo termine. A tal fine le autorità nazionali devono essere incoraggiate ad avvalersi dell'intera vasta gamma di misure a loro disposizione, attraverso le attività degli organismi di regolamentazione, un migliore controllo della catena dell'approvvigionamento dell'energia, lo sviluppo di un meccanismo di certificazione e l'ottimizzazione del traffico stradale. Giova sottolineare che in tutti gli Stati membri si possono riscontrare esempi eccellenti di buone pratiche che meriterebbero di essere generalizzate.

Nel nostro paese il quadro energetico è analogo a quello europeo e con cifre ancor più pesanti: un 68% del totale va al riscaldamento, un altro 12% al riscaldamento dell'acqua sanitaria e un restante 20% per elettrodomestici e cucina.

Con i suoi 26 milioni di appartamenti, l'Italia supera del 30-40% i tassi di consumo europei per riscaldamento; quanto alla climatizzazione estiva il nostro Paese registra un aumento annuo degli impianti di condizionamento dell'ordine delle 800-900 mila unità.

Da una recente indagine dell'ente europeo Eurima escono altri non invidiabili nostri primati: primi, su 20 Paesi, per emissioni di CO₂ e per consumo energetico imputabili all'edilizia (il 17,5 % del totale europeo), e invece al terzultimo posto (su 20) per qualità della coibenza termica dei fabbricati (con spessori medi dei pannelli isolanti dell'ordine dei 5 centimetri contro i 20-30 degli isolamenti di qualità).

1.4 Protocollo di Kyoto ed “Emission Trading”

Il 16 febbraio del 2005 il protocollo è entrato finalmente in vigore. Quella di Montreal è stata l'undicesima riunione dei paesi sottoscrittori della Convenzione sul clima (Cop 11) e al suo interno si è svolta la prima sessione delle parti firmatarie del protocollo di Kyoto (Mop-1; dove 1 indica, appunto, prima seduta e Mop significa Meeting of Parties): un evento storico perché, come detto, ha avviato l'operatività del protocollo. La Mop, formata dai 156 Paesi che hanno ratificato il Protocollo (circa il 70% della popolazione mondiale) è l'organismo che deve attuare il Protocollo ed in particolare gestire tutte le azioni previste dallo stesso, verificare l'attuazione degli impegni, dirimere le dispute e comminare le sanzioni per gli inadempimenti. In questa prima riunione la Mop ha provveduto a costruire la propria struttura operativa, ad approvare i regolamenti abbozzati precedentemente dalle Cop e a definire gli aspetti legali, soprattutto per quanto riguarda verifiche, controlli e sanzioni. A questo proposito sono state indicate le penalità da applicare a chi non rispetterà gli impegni di riduzione.

Per ora è stata decisa la costituzione di un gruppo di lavoro delle parti firmatarie del protocollo, che dovrà individuare le future azioni da intraprendere, proponendo gli impegni per il secondo periodo (oltre il 2012) e riferire ad ogni conferenza annuale.

Non sono stati indicati valori, ma si sa che l'UE propone per i paesi industrializzati una riduzione delle emissioni molto consistente: 15-30%, entro il 2020 e 60-80%, entro il 2050.

In conclusione, il principale risultato del summit è stato quello di convincere tutti i Paesi a riavviare il confronto per delineare concordemente il possibile piano di azione per il “dopo Kyoto”.

Emission Trading

Approvata il 13 ottobre 2003 dal Consiglio e Parlamento europeo, in vigore dal 1 gennaio 2005, prevede che nessun impianto che ricade nel campo di applicazione della stessa possa emettere gas serra, ossia possa continuare ad operare, in assenza di apposita autorizzazione. È un sistema di scambio di quote di emissioni dei gas a effetto serra per i paesi dell'Unione Europea.

Questo sistema consente a un Paese industrializzato di vendere ad un altro i diritti in eccesso che derivano da una riduzione delle proprie emissioni oltre la soglia sulla quale si è impegnato in base al protocollo di Kyoto.

1.5 La Direttiva europea EPBD^(*) sull'efficienza energetica in edilizia.

Misure specifiche di politica energetica

L'applicazione della Direttiva sul rendimento energetico nell'edilizia (2002/91/CE), a partire dal 2006, comporterà un risparmio stimato in circa 40 Mtep (milioni di tonnellate equivalenti di petrolio) entro il 2020.

Spetta alla Commissione vigilare sull'applicazione rigorosa della direttiva e fornire agli Stati membri gli strumenti necessari allo sviluppo di una metodologia integrata di calcolo della prestazione energetica degli edifici. Quasi 30 norme europee (CEN) sono state elaborate. Gli Stati membri hanno già confermato che intendono dare applicazione a dette norme su base volontaria. Qualora si constatasse che la conformità volontaria alle norme non si realizzi o non potesse essere comprovata, tali norme dovranno essere rese vincolanti in una versione modificata della direttiva sull'edilizia.

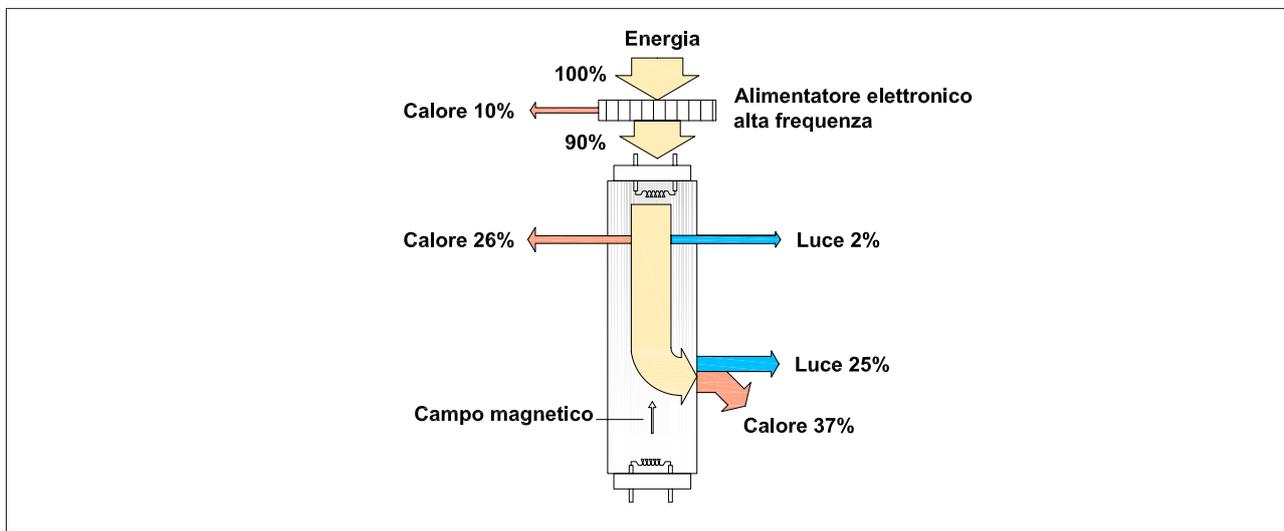
L'articolo 7 della citata Direttiva dispone che sia emesso, trasferito, esibito un attestato di certificazione energetica rispettivamente nella fase di costruzione, compravendita o locazione di un edificio di metratura superiore a 50 m². L'attestato è corredato di raccomandazioni per il miglioramento del rendimento energetico in termini di costi-benefici. Spetta agli Stati membri agevolare i finanziamenti necessari per dare attuazione a tali raccomandazioni.

Un'importante opzione della direttiva stessa consiste nel proporre un'estensione del suo ambito di applicazione per migliorare il rendimento energetico di un edificio in occasione dei lavori di ristrutturazione. La direttiva attuale si applica soltanto agli edifici di oltre 1000 m².

(*) Direttiva sulle Performance Energetiche degli Edifici

Uno studio dell'agenzia Ecofys mostra che il potenziale tecnico sarebbe molto elevato se la Direttiva fosse applicata a tutte le ristrutturazioni di edifici. In termini economici, la maggiore opportunità consiste nel combinare le misure tendenti a migliorare l'efficienza energetica con gli interventi di ristrutturazione.

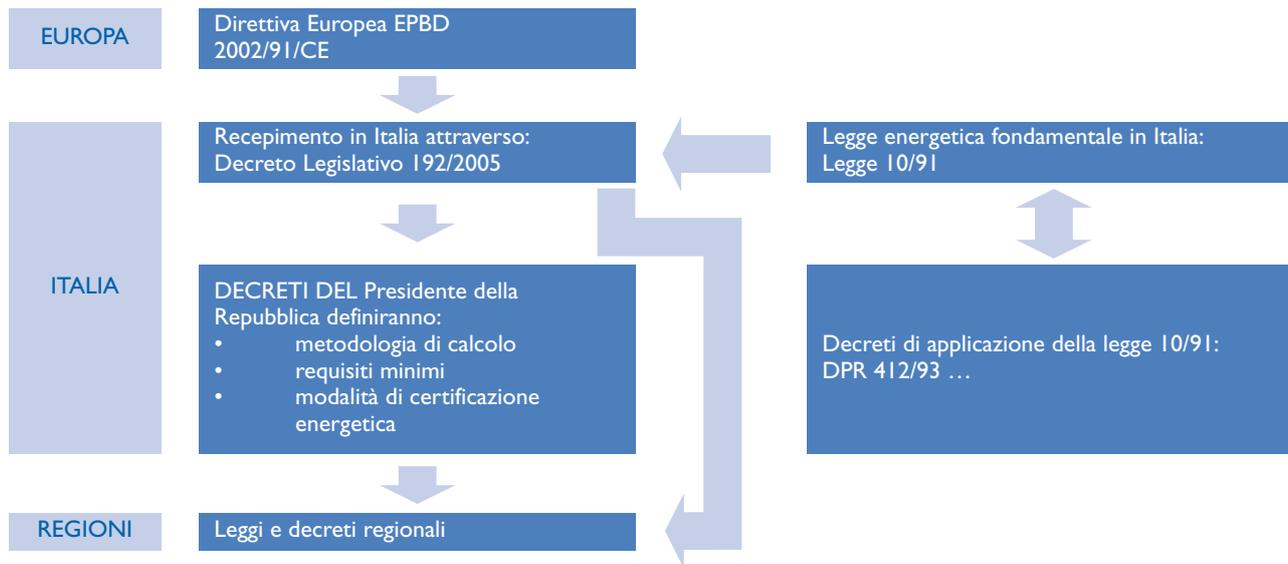
Sul fronte degli impianti un cenno - a titolo indicativo - all'illuminazione: assorbe circa un terzo dell'energia consumata negli edifici; il potenziale risparmio è spesso superiore al 50 %, come dimostrato da molti progetti intrapresi nell'ambito del programma «European Green Light». Per realizzare questo potenziale risparmio, l'Europa dovrebbe promuoverne l'utilizzo e lo sviluppo di un'illuminazione moderna e intelligente.



L'efficienza delle lampade a fluorescenza è aumentata almeno del 35%. Gli alimentatori elettronici riducono la dissipazione di calore sia nel reattore sia nel filamento.

1.6 Il recepimento dell'EPBD in Italia:

Uno sguardo al quadro normativo:



Il Dlgs. 192/2005 (al momento in revisione) è un aggiornamento della L. 10/91 alla luce dell'EPBD Europeo.

Non è più richiesta la verifica sul Cd e sul FEN, cade inoltre l'obbligatorietà del riferimento agli standard UNI. Le Regioni potranno recepire direttamente il Dlgs. 192 o modificare parti del decreto.

Il nuovo indicatore di prestazione energetica è il fabbisogno annuo di energia primaria per il riscaldamento invernale, normalizzato rispetto alla superficie calpestabile (FEPi).

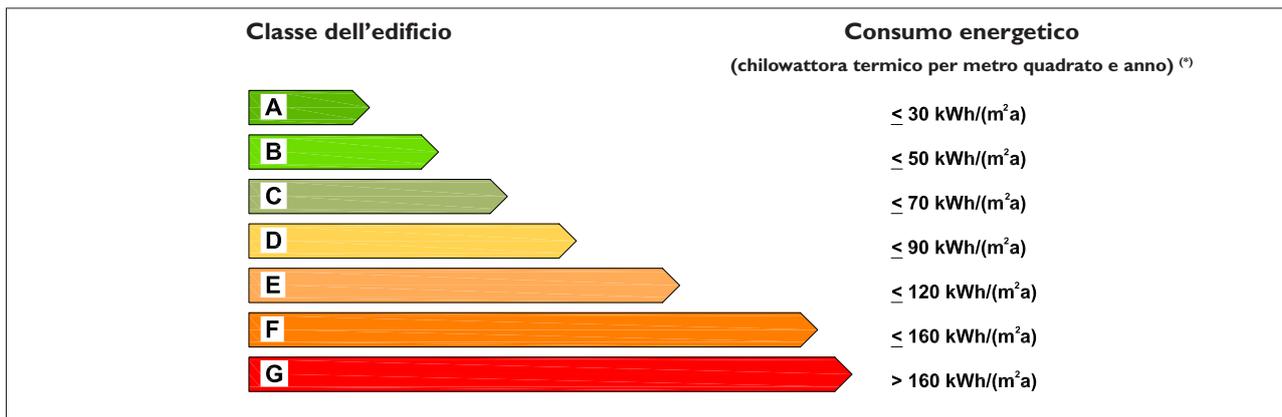
Molto utile, in un libro interamente dedicato alla 'casa passiva', questa breve digressione alla vigente normativa italiana (D.Lgs. 192/05). Il lettore potrà facilmente cogliere la "distanza" tra questi nostri standard e quelli - ben più severi e ambiziosi - dell'edilizia ad elevate prestazioni energetiche.

Gradi giorno	FEP _i - Dlgs 192-2005							
	S/V 0.2	S/V 0.3	S/V 0.4	S/V 0.5	S/V 0.6	S/V 0.7	S/V 0.8	S/V 0.9
<600	10	15	20	25	30	35	40	45
600	10	15	20	25	30	35	40	45
700	11	17	22	28	33	39	44	50
800	13	19	25	31	36	43	48	55
900	15	21	27	34	40	47	53	60
1000	17	23	30	37	43	51	57	65
1100	19	25	33	40	47	55	62	70
1200	21	28	36	43	51	59	66	75
1300	23	30	39	47	55	63	71	80
1400	25	33	42	50	59	67	76	85
1500	27	35	44	53	62	70	79	88
1600	29	37	47	56	65	74	81	92
1700	32	40	49	59	68	77	85	95
1800	34	42	52	61	71	81	89	99
1900	36	45	54	64	74	84	93	102
2000	38	47	57	67	77	87	97	106
2100	40	50	60	70	80	90	100	110
2200	41	51	61	72	82	93	103	113
2300	43	53	64	74	84	95	106	116
2400	44	55	66	77	88	99	110	120
2500	46	57	68	79	91	102	113	124
2600	47	58	70	81	93	104	116	128
2700	49	60	72	84	96	108	120	132
2800	51	63	75	87	99	111	123	136
2900	53	65	77	90	102	115	127	140
3000	55	67	80	93	106	119	131	145
>3000	55	67	80	93	106	119	131	145

La tabella fornisce i valori limite del FEP_i in funzione della zona climatica (e relativi gradi giorno GG) e del fattore S/V rapporto tra la superficie che racchiude la costruzione e il volume (climatizzato) della stessa.

L'altra importante innovazione che deriva dal recepimento dell'EPBD è l'avvio della **certificazione in edilizia**.

In Italia il primo comune ad aver avviato l'obbligo della certificazione è stato quello di Bolzano (marchio CasaClima), sull'esempio della classificazione degli elettrodomestici:



La certificazione è rilasciata dall'Ufficio Aria e Rumore dell'agenzia per l'ambiente di Bolzano. Assieme alla certificazione viene rilasciata una targa da esporre con indicata la classe di consumo: A-consumi convenzionali inferiori a 30 kWh/m² anno, B-inferiore a 50 kWh/m² anno ecc.... La classe viene determinata con un metodo di calcolo standard di facile utilizzo.

Per il rilascio del certificato d'abitabilità il fabbisogno energetico annuo degli edifici deve rientrare nelle prime 3 classi (≤ 70 kWh/m²a). Lo scopo della certificazione CasaClima è, tra le altre cose, quello di facilitare l'utente nel decidere l'acquisto o l'affitto di un'abitazione mediante la trasparenza dei costi energetici d'esercizio.

(*) Quantità di energia termica consumata riferita all'unità di superficie utile e all'intervallo temporale di osservazione.

2 Il concetto di casa passiva nei climi freddi e moderati

2.1 Introduzione

L'energia cui ci stiamo qui riferendo è principalmente quella consumata per il riscaldamento invernale.

Si possono distinguere varie classi di prestazione energetica. Adottando come indicatore il consumo energetico annuale al metro quadrato di superficie abitabile riscaldata ($\text{kWh}/\text{m}^2\text{a}$):

- edifici convenzionali che non risultano adeguati alle normative sul risparmio energetico;
- edifici convenzionali che corrispondono a tali normative;
- edifici a basso consumo energetico;
- edifici passivi;
- edifici a consumo energetico zero.

La tabella riportata nell'approfondimento della pagina che segue descrive tre diverse fasce di prestazione energetica in edilizia. Successivamente è data la classificazione energetica proposta dal progetto di standard europeo prEN15217.

I cosiddetti edifici passivi sono caratterizzati da perdite di calore così basse che il calore fornito dagli apporti solari (attraverso finestre e vetrate esposte a sud) e quello prodotto e recuperato da sorgenti interne (persone, apparecchiature, macchinari, illuminazione artificiale) può coprire quasi tutta l'energia necessaria per il riscaldamento invernale; il fabbisogno energetico residuo da coprire è inferiore ai $15 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$.

Questo standard energetico permette di rinunciare a un convenzionale impianto di riscaldamento e di coprire il fabbisogno residuo, per esempio, con una pompa di calore. Torneremo più avanti sull'argomento.

Consumi energetici:

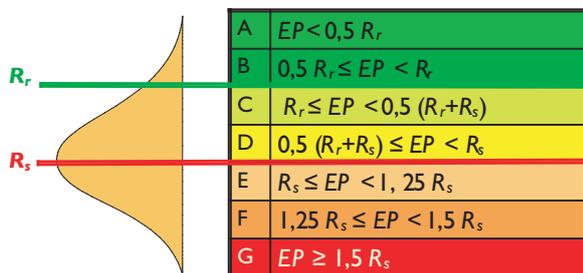
Edificio convenzionale			
Italiano (dati ENEA) 200 m ² di superficie abitabile			
Consumo energetico per riscaldamento		175 kWh/m ² a	68%
Consumo energetico per produzione di acqua calda		25 kWh/m ² a	12%
Consumo energetico per illuminazione e cucina		20 kWh/m ² a	20%
Consumo energetico complessivo		220 kWh/m²a	100%
Edificio Low Energy			
con 185 m ² di superficie abitabile			
Consumo energetico per riscaldamento		59 kWh/m ² a	69%
Consumo energetico per produzione di acqua calda		11 kWh/m ² a	12%
Consumo energetico per illuminazione		16 kWh/m ² a	19%
Consumo energetico complessivo		86 kWh/m²a	100%
Edificio Passivo			
con 185 m ² di superficie abitabile			
Consumo energetico per riscaldamento e ventilazione		15 kWh/m ² a	36%
Consumo energetico per produzione di acqua calda		11 kWh/m ² a	26%
Consumo energetico per illuminazione		16 kWh/m ² a	38%
Consumo energetico complessivo		42 kWh/m²a	100%

Il progetto di norma europea prEN 15217 – “Energy performance of buildings – Methods for expressing energy performance and for energy certification of buildings” propone criteri generali per la classificazione energetica degli edifici (si veda anche Corrado-Serraino in Bibliografia). Tale norma suggerisce l'utilizzo di tre riferimenti, i cui valori sono differenziabili in base al clima ed alla destinazione d'uso:

- R_r è il riferimento della legislazione energetica, corrispondente al valore richiesto dei nuovi edifici secondo la legislazione in vigore nel 2006;
- R_s è il riferimento del parco edilizio, corrispondente al valore che dovrebbe essere raggiunto approssimativamente;
- R_0 è il riferimento a zero energia, corrispondente all'edificio che produce tutta l'energia che utilizza.

La norma propone di collocare il riferimento R_r al confine tra le classi B e C, il riferimento R_s al confine tra le classi D ed E, il riferimento R_0 al valore più alto della classe A.

Ecco lo schema di certificato energetico proposto dalla norma europea, basato su una scala a sette classi, dalla A (edifici migliori) alla G (edifici peggiori).

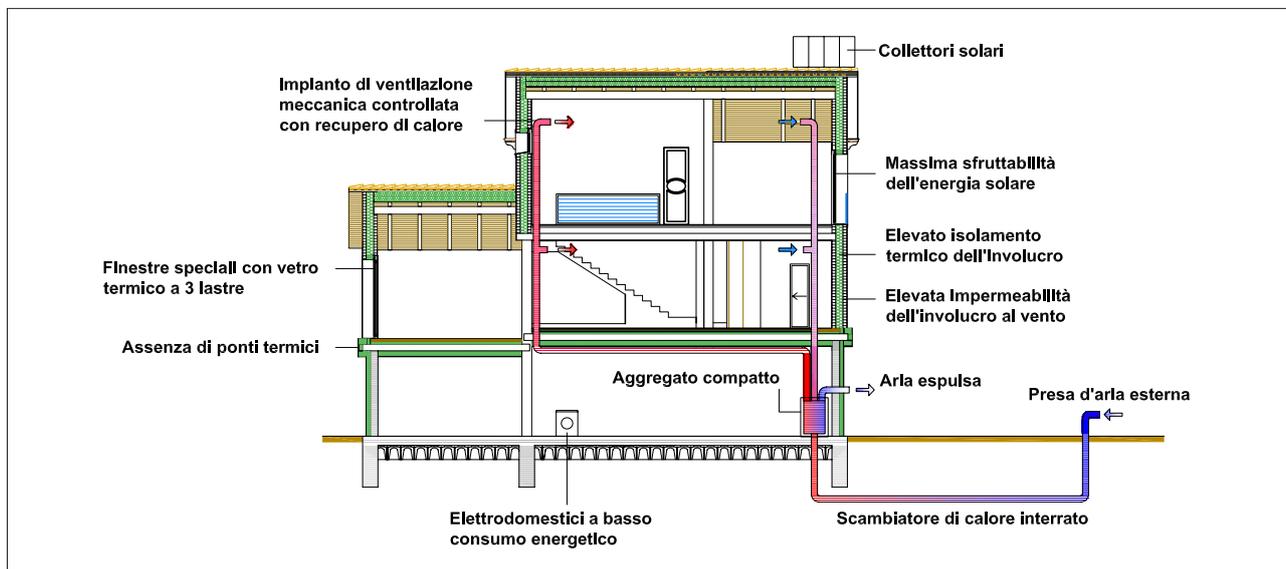


Certificato energetico	Prestazione energetica dell'edificio		Come costruito
	Spazio per fare riferimento allo schema di certificazione usato		Valuta z. standard
	Molto energeticamente efficiente 		
	Non energeticamente efficiente		calcolato
Nome dell'indicatore usato		unità	130
Spazio per inserire informazioni aggiuntive sugli usi energetici dell'edificio			
Informazioni amministrative - indirizzo dell'edificio - area climatizzata - data di validità - nome e firma del certificatore			

2.2 Canoni di progetto di una casa passiva

Il termine passivo sottolinea il concetto che nella “Casa Passiva”:

- è ridotto al minimo l'intervento di impianti “attivi”, cioè azionati da energia (sono assenti del tutto le caldaie tradizionali e split di condizionamento estivo);
- è invece massimo lo sfruttamento dell'insolazione e delle fonti gratuite interne di calore (da lampade a bassissimo consumo, da elettrodomestici ad alta efficienza, dallo stesso corpo umano degli abitanti);
- è massimo il recupero di calore dall'aria esasta in uscita con scambiatori ad elevato rendimento.



Più in dettaglio:

- Progetto integrato edificio/impianti;
- Rapporto ottimale superficie/volume;
- Massimo sfruttamento dei guadagni gratuiti (solari ed apporti interni);
- Ventilazione meccanica con recupero di calore dall'aria esausta in uscita;
- Eccellenza della qualità dell'involucro opaco/trasparente;
- Energia da integrare: su rete di distribuzione in bassa temperatura (35-45 °C), utilizzando generatori di ultima tecnologia;
- Illuminazione ed elettrodomestici ad alta efficienza;

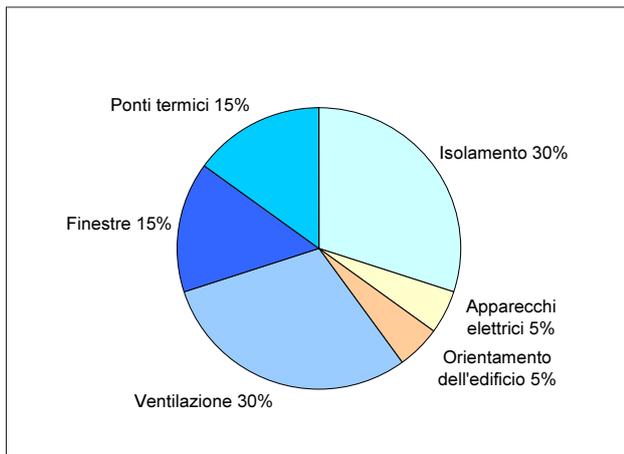
Lo standard di “casa passiva” per l'Europa Centrale e l'Italia Settentrionale può essere così riassunto:

Fabbisogno termico per il riscaldamento:	$\leq 15 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$
Energia primaria (*)	$Q_p < 120 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$
Assenza di ponti termici (Ψ = trasmittanza di ponte termico lineare)	$\Psi \leq 0,01 \text{ W}/(\text{mK})$
Trasmittanza termica della facciata	
a) Elementi opachi	$U < 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
b) Vetrate	$U_w \leq 0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
Recupero di calore (media annuale)	$> 80\%$
Impermeabilità al vento, n° di ricambi d'aria per un gradiente pressorio di 50 Pa tra interno ed esterno:	$0,2 < n_{50} < 0,6/\text{h}$
Rendimento del sistema di recupero del calore	$\eta_{rc} \leq 75\%$
Flusso d'aria	orientato
Afflusso/deflusso d'aria	equilibrato $< (\pm 5) \%$
Ricambi d'aria (prEN13779: categ. Aria =2)	$30-40 \text{ m}^3/\text{h}/\text{persona}$

(*) Quando dal consumo per puro riscaldamento si passa all'**energia primaria Q_p** complessiva (ovvero al complesso degli usi finali) la soglia superiore in kWh/m²anno sale notevolmente: nella presente tabella diamo - a puro titolo di esempio - il valore richiesto per il certificato europeo “Quality Approved Passive House”, ma valori diversi e anche sensibilmente inferiori sono possibili e presenti in letteratura.

2.3 Influenza dei vari fattori dell'involucro sulle performance globali della casa passiva

Il grafico mostra in quale misura i vari parametri in gioco influenzano le performance energetiche di un edificio. Come si vede un ruolo fondamentale è svolto dall'isolamento termico dell'involucro e dall'impermeabilità all'aria.



La qualità della coibentazione dell'involucro e della sua impermeabilità al vento devono dunque essere portate a livelli di eccellenza; ed eccellente deve essere anche la qualità dei serramenti vetrati e la prevenzione dai ponti termici. Quando poi il bilancio tra energia in ingresso alla casa ed energia persa richiede, in qualche misura, un reintegro, a ciò può provvedere una innovativa impiantistica a bassi consumi con rete a bassa temperatura (35-40 °C, contro i 60-70 °C dei radiatori nelle nostre case tradizionali). Ciò rende conveniente l'impiego di caldaie a condensazione (alti rendimenti) o di "pompe di calore" (reversibili, caldo/freddo) che possono vantaggiosamente venir alimentate con aria termicamente pre-trattata (pre-riscaldata in inverno, pre-raffreddata in estate) mediante il preventivo passaggio in tubazioni sotterranee ("scambiatori interrati").

La climatizzazione invernale ed estiva può avvenire anche mediante un impianto di ventilazione controllata (in presenza della già

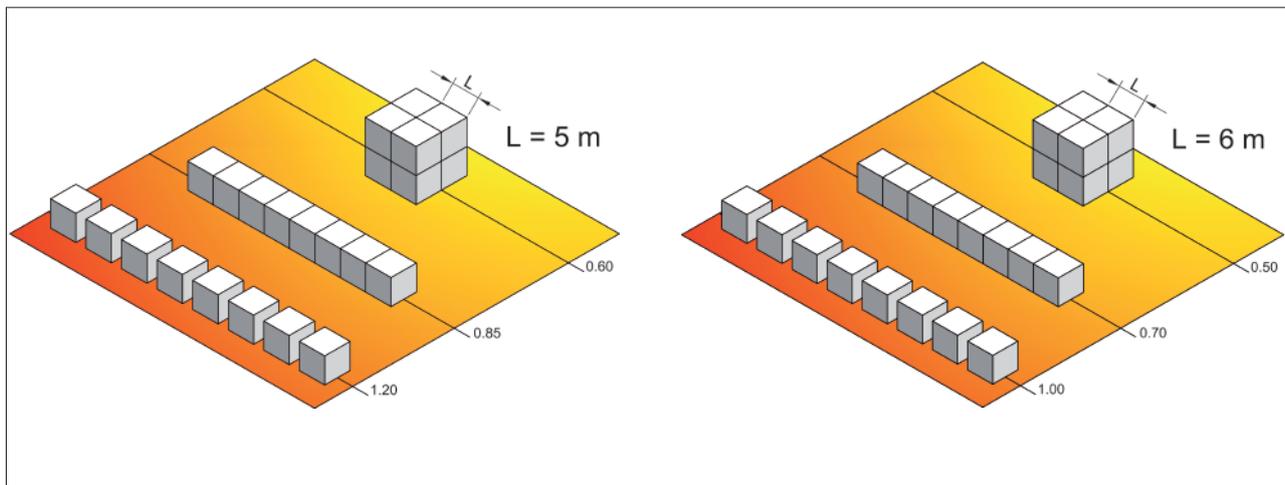
citata impermeabilità dell'involucro), alimentato da una pompa di calore reversibile che si integra con unità ventilatori e con heat exchanger ad alto rendimento nel cosiddetto "aggregato compatto" (se ne parla nel successivo Par. 2.7 e diffusamente nel Cap. 3). Nel caso di impianto di riscaldamento in bassa temperatura diventa anche possibile l'abbinamento ad un impianto ausiliario a pannelli solari per la produzione di acqua calda sanitaria (possibile anche un'integrazione del riscaldamento).

Esaminiamo dapprima, brevemente, i vari parametri del progetto architettonico ed edile.

2.4 La forma

Comprensibilmente la forma dell'edificio influisce in maniera significativa sulle perdite termiche. Lo scambio termico tra interno ed esterno di un edificio avviene infatti attraverso la superficie dell'involucro: quanto più elevata è la superficie (S) che racchiude il volume (V) riscaldato, tanto più elevato è lo scambio termico. Per essere energeticamente efficiente un edificio deve avere: un basso indice S/V , rapporto tra superficie dell'involucro e volume climatizzato.

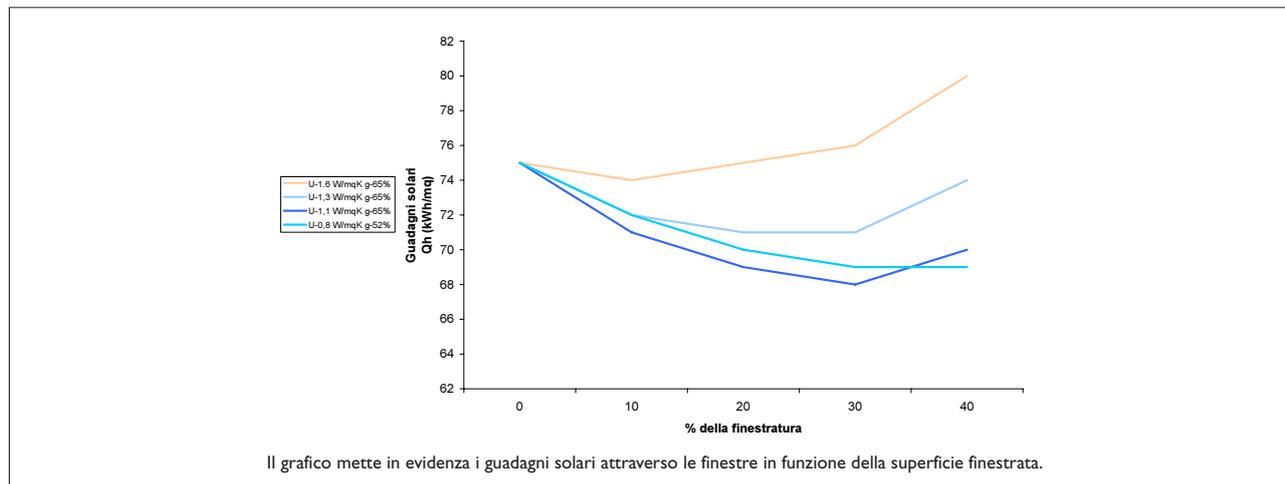
Per avere una forma compatta, non si deve necessariamente rinunciare a sporgenze o rientranze; balconi, terrazzi, verande si possono costruire, purché all'esterno dell'involucro termico. All'aumentare della taglia diminuisce il rapporto di forma (si torna sull'argomento nel capitolo 2); per cogliere la sensibilità del parametro S/V è sufficiente una piccola variazione ad una dimensione caratteristica:



2.5 L'orientamento dell'edificio e i serramenti vetrati.

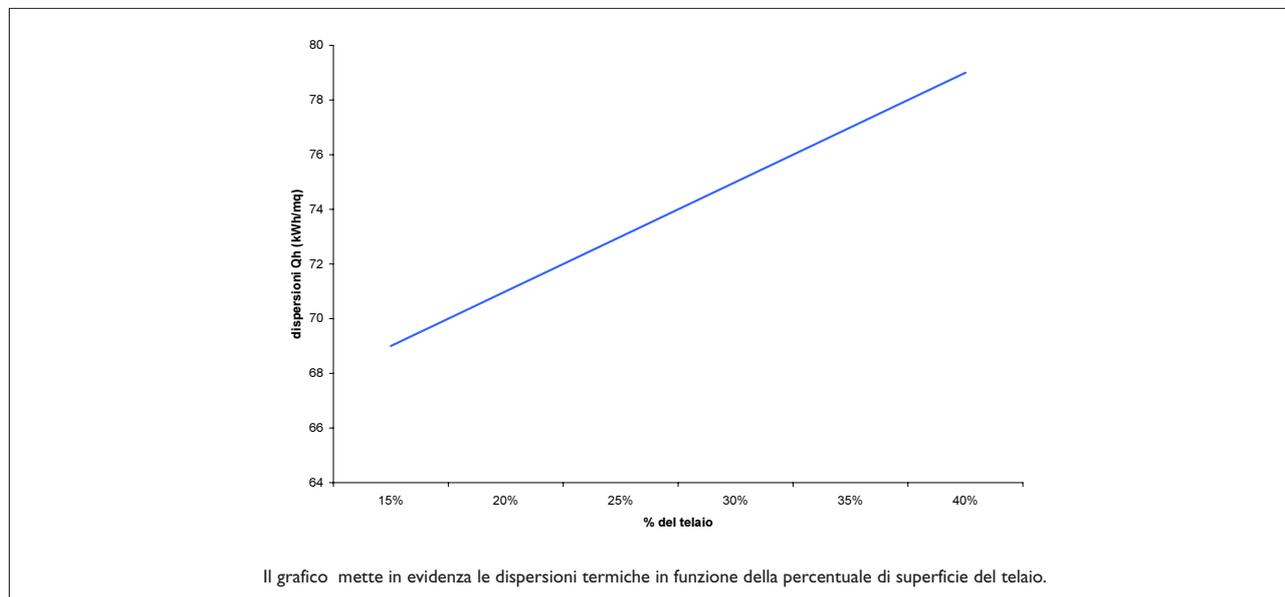
L'orientamento verso sud è il migliore per due motivi: il lato sud riceve il massimo della radiazione in inverno (quando è più richiesta), in estate, quando invece si vogliono evitare surriscaldamenti il sole a sud è alto sull'orizzonte e l'edificio riceve meno radiazione.

La superficie ottimale delle vetrate sul lato sud è dell'ordine del 40% della superficie complessiva della facciata (alle nostre latitudini è sufficiente il 30%). Un aumento della superficie vetrata oltre il 50% della superficie complessiva della facciata sud non fa aumentare in modo significativo i guadagni solari in inverno e quindi influisce solo in misura trascurabile sul fabbisogno termico; per contro in estate si avvertirà un surriscaldamento temporaneo dei locali che riduce sensibilmente il benessere termico. Una riduzione della superficie vetrata al di sotto dell'optimum riduce il pericolo di surriscaldamento in estate, ma riduce anche l'illuminazione naturale e aumenta quindi i consumi energetici dell'illuminazione artificiale (si veda anche Wienke in bibliografia).



Anche le finestre orientate verso ovest richiedono una particolare attenzione. Non migliorano molto il bilancio energetico invernale, e in estate contribuiscono notevolmente al surriscaldamento, anche più di quelle orientate verso sud: devono quindi essere dotate di efficaci sistemi di ombreggiatura.

I telai delle finestre sono i componenti a maggiore dispersione dell'intero involucro. E' importante che la percentuale di telaio sia ridotta al minimo. I normali telai sono inadatti per gli edifici passivi nei quali si utilizzano invece telai specifici ad alte prestazioni termiche.



2.6 L'involucro

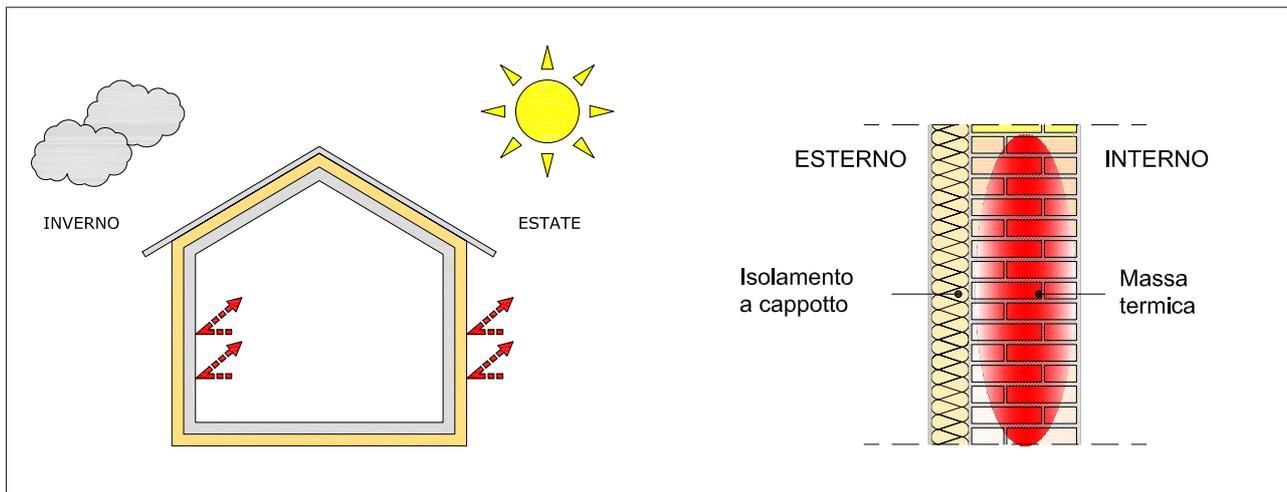
L'involucro di un edificio passivo dell'Europa centrale deve soddisfare la condizione di trasmittanza $U < 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.

Per ottenere questo valore occorre:

- uno strato termoisolante dello spessore dell'ordine di 25 cm sui muri perimetrali;
- uno strato termoisolante nell'ordine di 40 cm sui tetti;
- finestre con caratteristica di trasmittanza termica $U < 0,8$;
- assenza di ponti termici;
- finestre montate all'estradosso della parete, in modo che l'isolamento termico copra almeno una fascia di 5 cm. del telaio;

Il relativo incremento di costo dello spessore della coibenza termica è compensato dai risparmi energetici in fase di esercizio dell'edificio e dai minori costi per l'impianto di riscaldamento. Quindi:

- tutti gli elementi solidi, pilastri e architravi in cemento armato, pareti di tamponamento, ecc. devono trovarsi all'interno dell'involucro termico;
- ai collegamenti tra elementi costruttivi deve essere prestata particolare attenzione;
- finestre e porte esterne devono essere inserite usando speciali accorgimenti costruttivi;
- balconi, terrazze e gronde non devono avere contatto con le strutture che si trovano all'interno dell'involucro termico; non sono "vietati", ma devono essere elementi strutturali a se stanti.



Gli edifici passivi dell'Europa Centrale sono caratterizzati dall'aver spessi strati di isolante che consentono non solo di ridurre il consumo energetico invernale ma anche quello estivo.

Lo strato termoisolante, nel periodo estivo, impedisce il surriscaldamento delle strutture dell'edificio e di conseguenza dell'ambiente interno. Un eventuale surriscaldamento può verificarsi a causa dell'irraggiamento solare che entra attraverso le finestre, problema evitabile utilizzando validi sistemi ombreggianti.

Un isolamento a cappotto è una buona soluzione per ridurre i consumi energetici invernali.

La massa pesante, rivolta verso l'ambiente interno dell'edificio, è in grado di accumulare calore durante la giornata (quando il riscaldamento è acceso) e di cederlo nuovamente all'ambiente interno durante la notte, quando il riscaldamento è attenuato. Un isolamento a cappotto permette, inoltre, una forte riduzione dei ponti termici.

2.7 La ventilazione forzata

In un edificio passivo viene a crearsi conflitto tra buona ventilazione e risparmio energetico: più ventilazione significa meno risparmio energetico. Si pone quindi il problema della definizione del ricambio d'aria ottimale.

Generalmente si ritiene necessario un ricambio d'aria, in volume, compreso tra 0,4 e 0,8/h, ma alcuni autori ritengono sufficiente, per un edificio passivo, un tasso di ricambio dello 0,25 – 0,37/h.

In base ad alcune esperienze fatte, le perdite di calore, in caso di ventilazione regolata con un ricambio d'aria di circa 0,5/h, si aggirano attorno ai 3000 kWh/a e scendono a circa 1800 kWh/a quando il tasso di ricambio viene ridotto a soli 0,3/h. Bisogna però considerare non solo il risparmio energetico, ma anche la qualità abitativa che dipende in gran parte dalla qualità dell'aria.

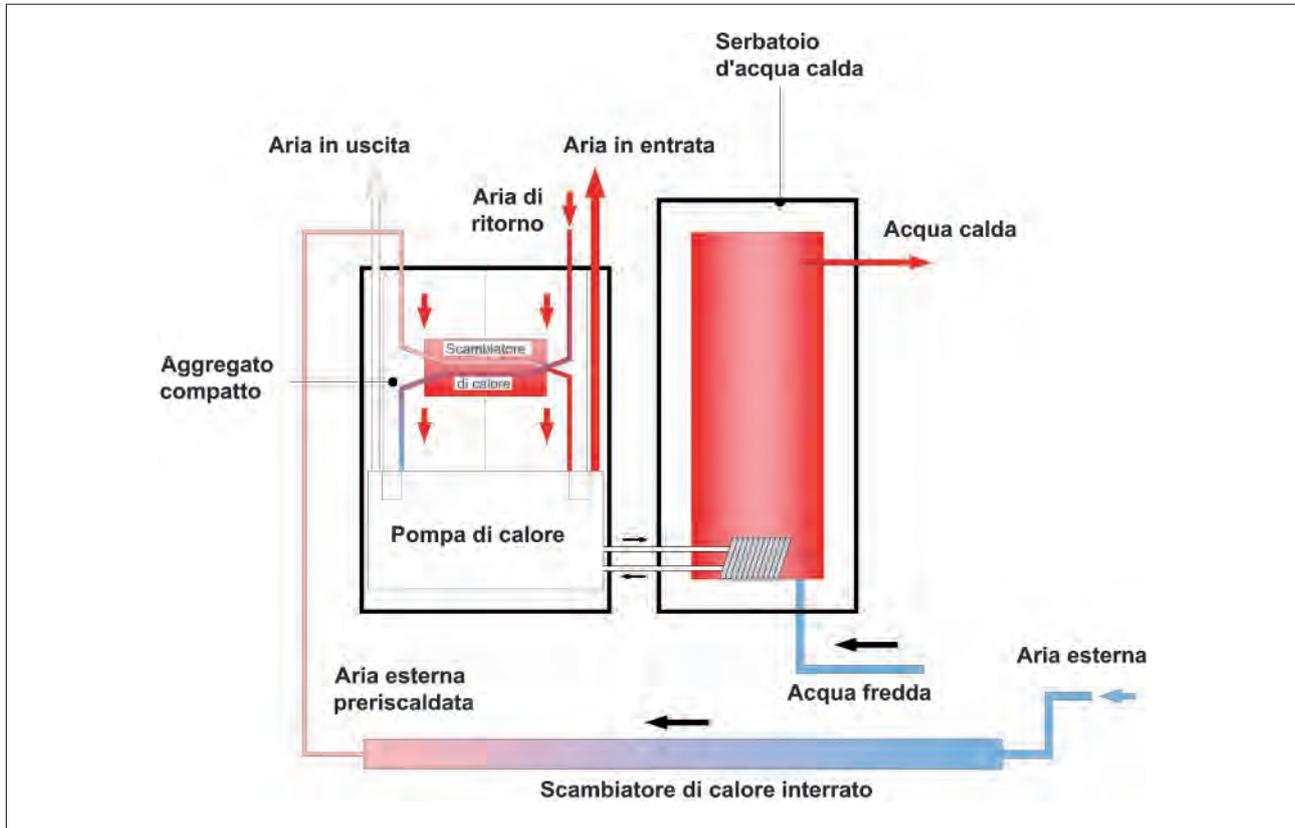
Un'appropriata ventilazione, meccanica o naturale, consente, miscelando l'aria interna all'ambiente e realizzandone un'indispensabile ridistribuzione, di rimuovere o diluire i contaminanti e di ottenerne la qualità desiderata. Negli ambienti residenziali il valore del ricambio d'aria è limitato in basso dalla necessità di smaltire, in condizioni normali, gli odori corporali, gli inquinanti endogeni di origine umana e l'umidità: tuttavia tale valore può risultare inadeguato in situazioni particolari, ad esempio nel caso di rilascio di radon dal terreno, di uso di apparecchi di combustione, in presenza di molti fumatori, ecc...

La funzione di scambiatore di calore, unità ventilatore, serbatoio di accumulo, sono nello schema che segue raggruppati in una struttura unitaria: l'"aggregato compatto", vero cuore della casa a basso consumo energetico. (Si torna sull'argomento nel Capitolo 3).

Il sistema è completato da:

- una pompa di calore reversibile a bassa potenza che prevede al reintegro del fabbisogno energetico; nel caso di pompa aria-aria, aria-acqua, possibilità di pre-riscaldamento (invernale) o pre-raffreddamento (estivo), mediante uno scambiatore interrato;
- un collettore solare ausiliario.

Lo schema funzionale della figura alla pagina successiva è rappresentativo — a grandi linee — dell'impianto termico della casa passiva di Cherasco, ampiamente descritta nei Capitoli 2 e 3.



3 La Casa Passiva nelle regioni mediterranee.

3.1 Introduzione

Il naturale aumento dei consumi di energia nell'Europa mediterranea degli ultimi 10-15 anni dipende essenzialmente dalla diffusione degli impianti tradizionali di raffrescamento estivo dell'aria. In Italia, nel decennio 1990-2000, le unità installate sono più che decuplicate, analogamente in Grecia e in Spagna, triplicate in Portogallo.

Altro parametro di grande influenza sulla richiesta di raffrescamento estivo degli edifici è stato, nelle ultime due decadi, l'impatto dell'urbanizzazione; in particolare l'effetto degli aumenti delle temperature dei centri urbani e il fenomeno delle "isole di calore", con il conseguente picco di carico elettrico e il diminuito rendimento degli stessi. Negli Stati Uniti, in città con popolazione superiore ai centomila abitanti si è valutato un aumento del picco di consumo elettrico del 25 – 35% per ogni grado centigrado di incremento della temperatura urbana estiva pomeridiana; ciò porta ad un aumento della richiesta di elettricità compreso fra il 3 e l'8% solo per compensare l'effetto "isola di calore". L'esperienza di Los Angeles conferma l'esistenza di correlazione tra l'effetto "isola di calore" nei climi caldi e molto caldi, e il drastico aumento di quasi 500 MW per °C di aumento.

Dal 1950 la temperatura di picco della zona di Los Angeles è aumentata in misura tale da comportare una maggiore richiesta energetica, di circa 1,5 GW, per rispondere al solo effetto "isola di calore" (Figura a pagina seguente).

La correlazione è confermata da osservazioni in altri distretti USA: per esempio a Dallas (Texas) un incremento di 417 MW/°C, a Washington 167 MW/°C.

Sulla base di questi osservati incrementi (USA) si è calcolato che i costi dell'elettricità, solo per il fenomeno dell'"isola di calore", possono ammontare a 1 milione di Euro/h, e che per l'intero paese l'aumento del carico elettrico potrebbe andare dallo 0,8 al 5% per ogni aumento di 1°C della temperatura.

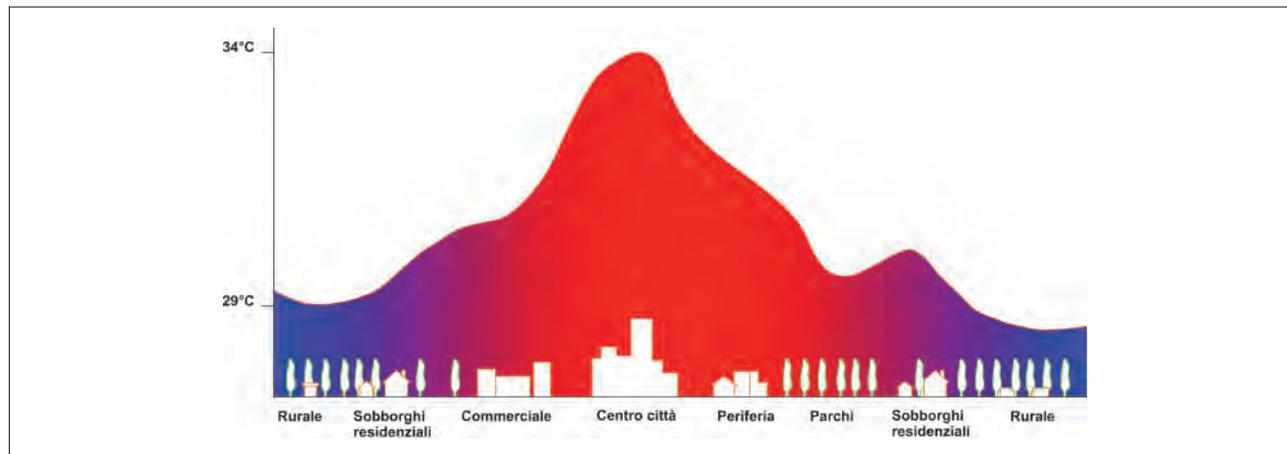
Studi compiuti a Singapore negli anni '90 sul fenomeno delle "isole di calore" urbane, mostrano che tale fenomeno può portare ad un aumento della temperatura urbana di circa 1°C (gradiente urbano proiettato sui prossimi 50 anni) che da solo porterebbe ad un incremento globale dei consumi energetici, prevalentemente per il condizionamento dell'aria, dell'ordine dei 33 GWh/a (si veda anche Santamouris – Asimacopoulos in Bibliografia). Agli inizi degli anni '90, studiosi giapponesi, usando i rilievi del satellite LANDSAT-5, hanno analizzato la distribuzione di temperatura e l'ambiente termico dell'area metropolitana di Tokyo; studi precedenti, sempre relativi all'area

di Tokyo, hanno mostrato che, sempre per effetto del fenomeno dell'isola di calore, il carico energetico per il raffrescamento degli edifici esistenti è aumentato mediamente del 10-20% nell'arco di 10 anni.

Sistematici rilievi (con una rete di stazioni di monitoraggio) sono stati condotti – negli anni '90 – anche nell'area urbana regionale metropolitana di Atene.

Sono state realizzate mappe "iso carico" per il raffrescamento dalle quali si evince – a conferma dell'effetto "isola di calore" – la variazione spaziale di tale carico passando dal centro storico alla periferia della grande regione metropolitana: tale carico ha valori dell'ordine di 10 (o più) kWh/m² mese nel centro storico, si dimezza passando alle aree periferiche, in cui, oltre a densità residenziale molto inferiore, vi è presenza di spazi verdi e assenza di attività industriali.

I ricercatori greci hanno anche valutato la potenza di picco istantanea – nel mese di agosto – assorbita da un edificio di riferimento con un "set point" di 26°C: si passa da 20 – 25 kW di picco nel centro storico di Atene ai 13 – 15 kW nelle zone periferiche di cui si è accennato poc'anzi.



C'è un'altro fattore che aggrava il carico energetico: elevate temperature locali urbane hanno notevole impatto sul rendimento degli impianti tradizionali di condizionamento; il COP (coefficiente di prestazione) è direttamente influenzato dall'umidità relativa e dalla temperatura, ciò è confermato dai rilievi del COP nell'area metropolitana di Atene. Il COP minimo assoluto (75%) è quello registrato nel centro storico e nelle aree costiere (influenzato dall'elevata umidità), mentre nelle aree periferiche sale a oltre 100.

La riduzione dei consumi per il raffrescamento estivo.

È un problema molto importante e di grande impatto sul futuro energetico delle regioni meridionali dell'Europa.

Delineiamo un quadro di possibili soluzioni:

- miglioramento del microclima locale con interventi sull'ambiente urbano (aree verdi, pozzi di raffreddamento, ecc...).
- ristrutturazione degli edifici urbani per l'adattamento alle specifiche condizioni ambientali delle metropoli, al fine di incorporare misure di risparmio energetico che bilancino le sfavorevoli condizioni termocinetiche urbane; indicativamente: opportuno dimensionamento delle finestre, opportuno isolamento dell'involucro edilizio, promozione di impianti di controllo dell'aria e luce, promozione di impianti solari, promozione di impianti di raffrescamento estivo;
- uso di sistemi di condizionamento (a livello di edificio), con curve di COP ottimizzate per l'esercizio con temperatura e umidità tipicamente urbane;
- uso di sistemi centralizzati di produzione, gestione e distribuzione del raffrescamento (reti di raffrescamento, raffrescamento di quartiere);

Va peraltro messo in evidenza che nessuna delle precedenti misure va intesa come iniziativa isolata, ma la stretta correlazione tra i parametri che contribuiscono a definire il rendimento energetico di fabbricati inseriti nel contesto urbano richiede che le varie iniziative siano coordinate in un approccio integrato.

Canoni tradizionali di progettazione nelle regioni mediterranee.

L'edilizia nel passato era differenziata per climi:

Climi caldi e secchi

- Costruzioni con involucro massiccio;
- Poche aperture e di ridotte dimensioni;
- Superfici involucro: colori chiari;
- Fontane, piscine, vegetazione: favoriscono il raffreddamento per evaporazione.

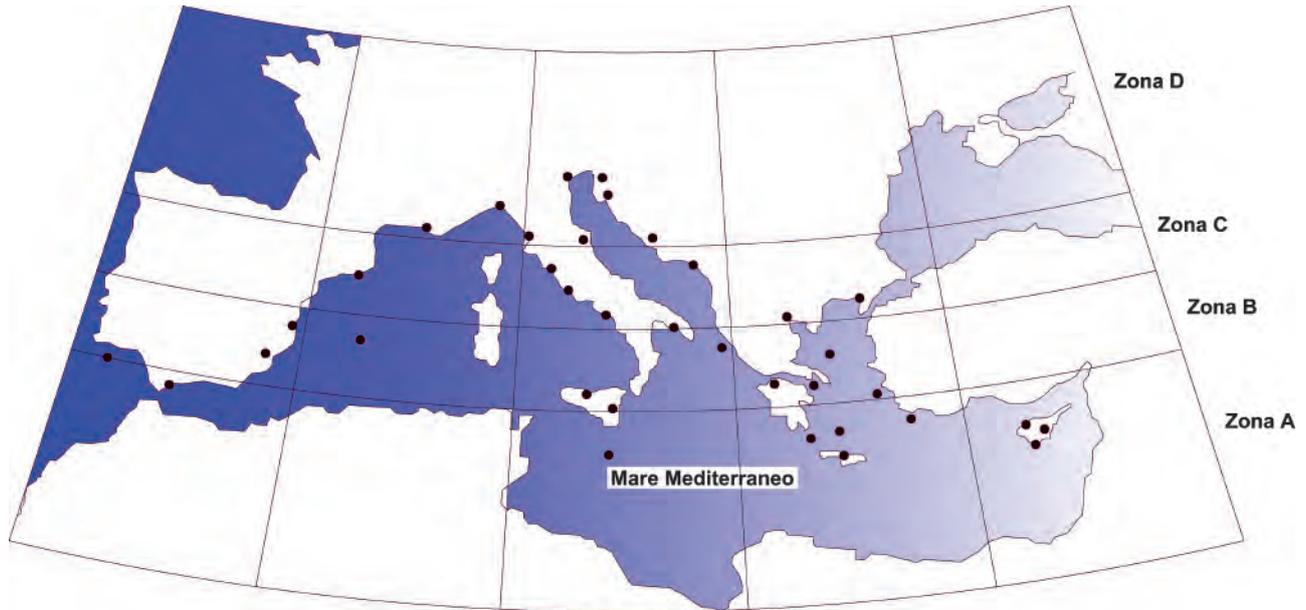
Climi caldi e umidi: serve ventilazione

- Costruzioni leggere;
- Grandi aperture;
- Gronde molto sporgenti.

L'edilizia moderna ha purtroppo uno "stile" uniforme indipendente dalle diverse regioni climatiche e la progettazione avviene a compartimenti stagni:



Zone climatiche mediterranee.



LATITUDINI

Zona A $\varphi < 37^\circ$ N

Zona B $37^\circ < \varphi < 40^\circ$ N

Zona C $40^\circ < \varphi < 43^\circ$ N

Zona D $\varphi > 43^\circ$ N

3.2 Le tecniche di controllo energetico passivo per edifici nei climi caldi.

Peculiarità delle Case Passive in climi caldi è di avere un buon comportamento termocinetico anche nel periodo estivo.

Ciò essenzialmente si traduce in:

una capacità dell'involucro di isolare adeguatamente l'interno dall'esterno durante le ore calde diurne ed in una capacità del sistema di smaltire durante la notte il calore diurno accumulato dalle pareti.

Tutte le realizzazioni sono basate su tre principi:

Principio I : minimizzare (prevenire) i guadagni di calore esterni ed interni.

Interni:

l'energia liberata dalle persone, dagli apparecchi elettrici, dalle fonti luminose ecc., che non fanno parte del riscaldamento hanno spesso un significativo effetto sul clima interno. Mantenere i carichi interni al minimo ha un doppio vantaggio: sul costo energetico e sulla riduzione dei consumi per raffrescare l'aria.

Esterni: radiazione solare

i guadagni solari sono favorevoli nel periodo invernale, ma nel periodo estivo possono provocare surriscaldamento aumentando la richiesta energetica per il raffrescamento dell'edificio. La radiazione solare, durante l'estate, può diventare il più grande carico termico all'interno di una costruzione: di conseguenza è consigliabile adottare forme di protezione particolari sui lati sud e ovest dell'edificio.

Principio II : modulare e sfasare nell'arco della giornata i guadagni di calore.

Principio III : rimuovere il calore

La ventilazione è estremamente utile per la rimozione del calore ma si devono evitare infiltrazioni di aria esterna quando le temperature esterne sono superiori a quelle interne. Utile per raffreddare la massa termica dell'edificio è la ventilazione notturna, con l'aria che prima

di essere messa in circolo negli edifici viene raffreddata in condotti sotterranei, in scantinati, parcheggi sotterranei o giardini adiacenti alla costruzione.

Più in dettaglio, i 3 canoni precedenti:

1) tecniche per proteggere l'edificio dai guadagni di calore (da irraggiamento solare e calore ambientale) agendo su:

- isolamento termico dell'involucro
- forma dell'edificio
- ombreggiamento superfici (controllo solare) e finestratura superficiale esterna
- controllo dei guadagni termici (inerzia termica) e interventi sul paesaggio

2) tecniche per “modulare” i guadagni termici:

adottando strategie di “smorzamento” e di “sfasamento” dei carichi termici nell'arco della giornata, spostandoli verso le ore notturne. Questa strategia può portare notevole attenuazione dei picchi di richiesta di raffrescamento nelle ore più calde (cicli di immagazzinamento termico e successivo scarico). Questo approccio è tanto più promettente quanto più intense sono le escursioni della temperatura esterna giornaliera,

3) tecniche di dissipazione del calore utilizzando mezzi naturali.

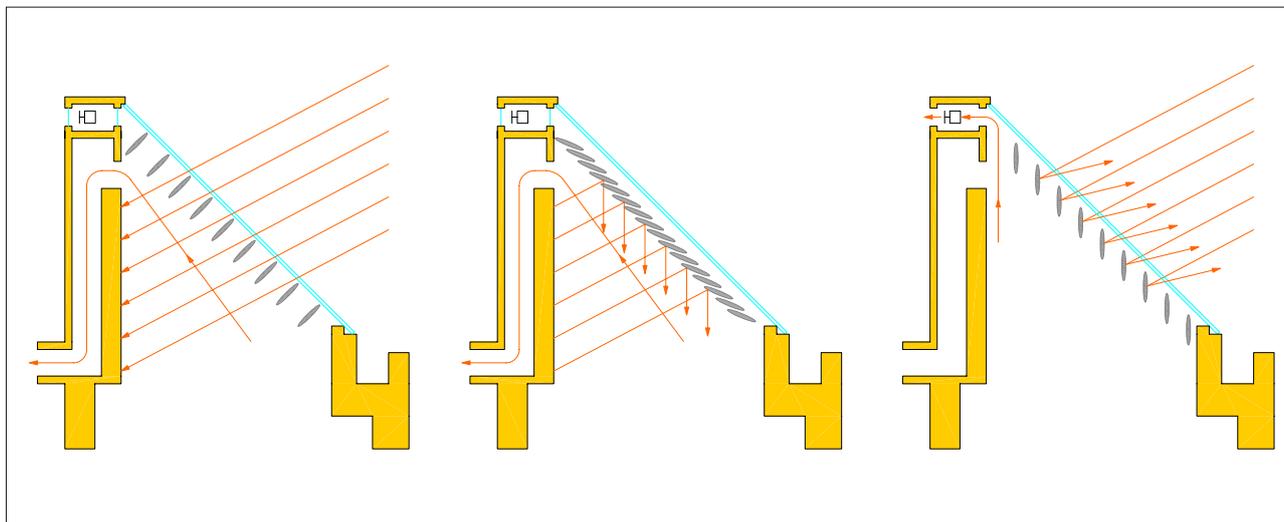
I principali processi sono:

- raffrescamento radiativo, utilizzando come “pozzo termico” il cielo;
- raffrescamento evaporativo, utilizzando come “pozzo” l'aria o l'acqua;
- raffrescamento convettivo, usando come “pozzo” l'aria;
- raffrescamento, usando come “pozzo” il terreno (georaffrescamento).

Nei paragrafi che seguono vengono scelti alcuni dei precedenti punti ed esaminati più da vicino, con esempi.

3.3 Il controllo solare: un esempio

Gli elementi parasole del lucernario dell'aeroporto della contea di Albany, controllati da un calcolatore, regolano l'immissione di luce solare. In un luminoso giorno invernale la luce solare riscalda la parete, dietro alla quale viene incanalata l'aria che così riscaldata viene fatta circolare nell'edificio. Di notte gli elementi parasole, pieni all'interno di materiale isolante, vengono chiusi per intrappolare il calore. In estate riflettono la luce solare diretta, ma consentono il passaggio della luce diffusa. Al di sotto del lucernario si accumula aria calda che viene allontanata per mezzo di aspiratori a ventola.



Un semplice modello matematico per le schermature solari.

La presenza di tapparelle o di schermi esterni abbassati riduce la trasmittanza termica del serramento che può essere calcolata dalla seguente relazione:

$$U_{is} = (1/U_s + \varnothing R)^{-1}$$

Dove:

U_{is} trasmittanza termica del serramento con tapparella abbassata (W/m^2K);

U_s trasmittanza termica del serramento base (W/m^2K);

$\varnothing R$ resistenza termica aggiuntiva (m^2K/W).

In tabella sono riportati alcuni valori di resistenza termica aggiuntiva per alcune tipologie di tapparelle (fonte UNI 103454/93).

Tipo di tapparella	$\varnothing R$ (m^2K/W)		
	Bassa permeabilità all'aria	Media permeabilità all'aria	Alta permeabilità all'aria
Alluminio	0.15	0.12	0.09
Legno e plastica senza isolante	0.22	0.16	0.12
Legno e plastica con isolante	0.26	0.19	0.13
Legno (da 25 a 30 mm)	0.30	0.22	0.14

3.4 Controllo dei carichi interni con tecniche di modulazione dei guadagni termici

Involucri ad elevata massa termica (muratura, calcestruzzo, elevati spessori) funzionano da serbatoi sia per il caldo sia per il freddo e si riscaldano e si raffreddano lentamente; da ciò consegue l'attenuazione dei picchi di temperatura interna e immissione sfasata di calore, cioè ritardata al tardo pomeriggio e alla sera (a temperature esterne più basse); inoltre riducono il flusso termico che raggiunge l'interno, poiché parte del calore, immagazzinato durante il giorno nell'involucro viene re-irradiato all'esterno, che nelle ore serali e notturne è a temperatura inferiore.

Nei climi freddi l'importanza dell'isolamento termico degli edifici è ben nota e codificata in letteratura.

Nei climi caldi il problema invernale della protezione dal freddo è, ovviamente, molto meno sentito e dunque risolto con modesti spessori dell'isolamento termico. Questo stato di cose ha storicamente impedito di valutare nel tempo l'importanza dell'isolamento termico nella protezione estiva degli ambienti interni: esso gioca in realtà un ruolo significativo nel calcolo dei carichi di raffrescamento e, dunque, sulla qualità della risposta estiva dell'edificio.

La tecnica dell'isolamento termico sulla faccia esterna dell'involucro ("cappotto") consente, nella stagione invernale, sia di trattenere all'interno il calore prodotto sia di prevenire le perdite attraverso i ponti termici. Nella stagione estiva consente di controllare l'azione dell'irraggiamento solare sulle superfici dell'involucro. In lavori di adeguamento energetico di edifici esistenti la tecnica 'a cappotto' consente interventi non invasivi.

Per motivi opposti a quelli esposti al punto precedente, la tecnica dell'isolamento termico sulla superficie interna della parete presenta complessivamente vari limiti tecnici e si presta a critiche: in particolare lascia irrisolti il problema della schermatura dei ponti termici e quello del benessere fisiologico igrotermico degli abitanti.

Acquista significato in applicazioni particolari come nel caso di adeguamento energetico di beni storico-architettonici, ove rigidi vincoli impediscono interventi sulla superficie esterna dell'involucro.

Torna ad essere tecnicamente interessante la soluzione dell'isolamento termico in intercapedine che consente di proteggere il materiale isolante dalle azioni meteo esterne. L'intercapedine che alloggia l'isolamento può anche essere ventilata, con il paramento esterno funzionante da protezione per il 'pacchetto' costituito da isolante e paramento interno.

I problemi tipici

Possiamo anzitutto distinguere tra due problemi caratteristici:

- si vuole la valutazione delle potenze scambiate ora per ora nel giorno estivo più sfavorevole, oppure
- si vuole stimare l'energia primaria richiesta per mantenere l'ambiente interno ad una prefissata temperatura.

Il primo problema comporta in generale integrazioni nel tempo; infatti l'andamento temporale dei fenomeni termici estivi è “non stazionario” per la rapida variazione nel tempo delle grandezze in ingresso (p. es. la radiazione solare incidente). Per considerare invece il ruolo dell'involucro opaco dell'edificio possiamo distinguere tra i seguenti due casi limite ideali:

- se la parete presenta una “costante di tempo” $\tau \ll 24$ h il flusso termico da esterno a interno avviene - teoricamente - senza attenuazione e senza ritardo
- se invece la parete ha $\tau \gg 24$ h, l'involucro è in grado di annullare l'effetto delle oscillazioni termiche esterne e - teoricamente - il flusso termico entrante risulta istantaneamente costante.

τ (rapporto tra “capacità termica” C [kJ/K] e “coefficiente di dispersione termica” H [W/K]) $H = \sum_i A_i U_i$ [W/K] $\tau = \frac{C}{H}$ [h]

L'involucro opaco reale ha invece un comportamento intermedio tra i due comportamenti limite precedentemente descritti: il flusso entrante è variabile, ma con ampiezza smorzata rispetto a quella dell'onda incidente, e ritardato (“sfasato”) rispetto all'onda incidente; tale ritardo è tanto maggiore quanto maggiore è la costante di tempo $\tau = C/H$ della parete (dipende della capacità termica C del muro e dall'isolamento termico che influenza il valore di H).

Indicativamente:

parete leggera non isolata: $\tau = 25$ h

parete media isolata: $\tau = 60$ h

parete pesante ben isolata: $\tau = 120$ h

Tornando ai problemi delineati a inizio paragrafo, quando esistono le condizioni per ipotizzare la «quasi stazionarietà» si potrebbe bypassare l'integrazione delle equazioni differenziali e lavorare semplicemente su “valori medi”, quando esistono incertezze sui valori medi si può ulteriormente semplificare fissando dei “valori obiettivo” e procedendo poi a introdurre correzioni (trial and error).

Equazione differenziale della dinamica della temperatura dell'aria interna.

$$mc \frac{dT_a}{dt} = \sum_{j=1}^{j=n} Q_{c,j} + Q_{c,v} + Q_{c,i} + Q_{s,r}$$

In cui

m	=	massa dell'aria interna, kg,
c	=	calore specifico dell'aria interna, Jkg ⁻¹ K ⁻¹
T _a	=	temperatura dell'aria interna, °C,
t	=	tempo, s,
n	=	numero di componenti formanti l'involucro esterno,
Q _{c,j}	=	portata di calore attraverso ciascuna superficie j, W,
Q _{c,v}	=	portata di calore scambiato per ventilazione, W,
Q _{c,i}	=	portata di calore da fonti interne, W,
Q _{s,r}	=	portata di calore da fonte solare, W.

Conduzione termica attraverso l'involucro:

$$\frac{d}{dx} = \left(\lambda \frac{dT}{dx} \right) = \rho c \left(\frac{dT}{dt} \right)$$

in cui:

λ	=	conduttività termica del materiale, W/mK
T	=	temperatura funzione di posizione e tempo
ρ	=	densità del materiale kg/m ³
c	=	calore specifico del materiale, Jkg ⁻¹ K ⁻¹

3.5 Tecniche di abbattimento (dissipazione/trasferimento) del calore in ingresso

Si adottano quando le misure di “prevenzione” e “modulazione” non bastano al controllo del guadagno termico.

Principali tecniche di trasferimento di calore:

- raffrescamento indiretto attraverso il terreno.
- raffrescamento per ventilazione (naturale e forzata);
- raffrescamento evaporativo;
- raffrescamento radiativo;

Alcune tecniche hanno effetto immediato; in altre invece il raffrescamento è immagazzinato durante la notte e rilasciato il giorno successivo.

Esaminiamo tre casi:

Raffrescamento indiretto attraverso il terreno (mediante scambiatore interrato):



Raffrescamento per ventilazione

Tecnica vantaggiosa in climi con grandi escursioni termiche diurne e temperature notturne non superiori a 20°C. Nella ventilazione notturna l'aria fresca notturna abbassa la temperatura interna; può essere immagazzinata in una "massa serbatoio" (muri, solette, plafoni, rockbed o serbatoi d'acqua)

Il giorno dopo:

tali masse "fredde" assorbono il calore in ingresso (a finestre chiuse) e l'ambiente interno è tenuto fresco.

Il progetto architettonico deve adottare tutte le misure per favorire elevati ratei di ventilazione e in particolare sulle "masse serbatoio".

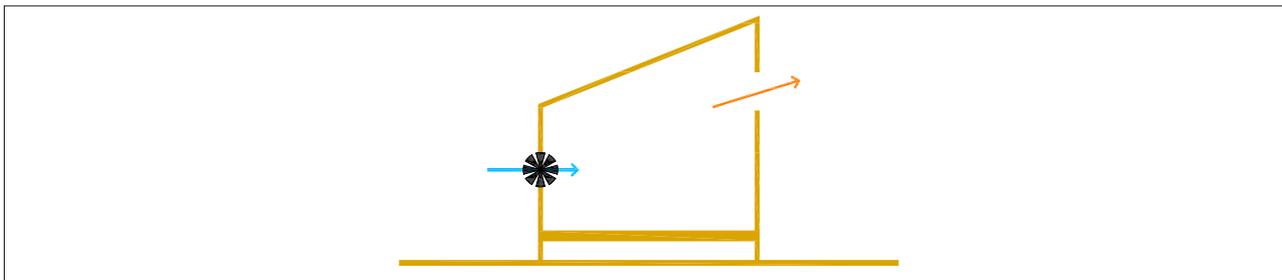
Tipologie di ventilazione:

Naturale: indotta da gradienti di pressione o di temperatura



Aperture poste su fronti sopravvento e sottovento in corrispondenza tra loro favoriscono la circolazione dell'aria. Se l'apertura di entrata è più piccola di quella in uscita si verifica "l'effetto Venturi", che massimizza la velocità dell'aria all'interno dell'edificio.

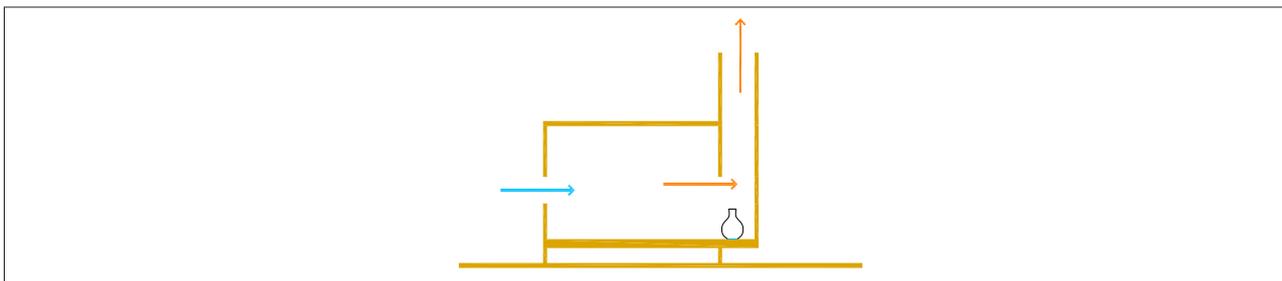
Forzata: gradienti da ventilatore



Raffrescamento Evaporativo:

Le torri del vento, diffuse storicamente soprattutto in Iran, Egitto, e Pakistan, avevano alla base grandi giare di materiale poroso o vasche fornite di fontane per raffreddare l'aria attraverso il processo di evaporazione.

Il flusso d'aria dà effetto di raffreddamento anche a temperature di 34°C (evaporazione della pelle bagnata) tanto maggiore al decrescere dell'U.R.



Il raffrescamento radiativo

Un corpo caldo emette energia termica e la trasferisce in forma di radiazione elettromagnetica ai corpi a temperatura inferiore che lo circondano.

Nell'emisfero nord gli strati atmosferici superiori sono sufficientemente freddi durante il giorno da costituire un buon "pozzo termico".

Tecniche di raffreddamento radiativo diretto:

il tetto è il più efficace radiatore (forme curve, materiali ad elevato immagazzinamento termico): assorbe di giorno e scarica di notte (estate: il tetto a 65 °C può radiare 750 W/m² alla volta celeste).

Tecniche di raffreddamento radiativo indiretto:

Si raffredda un fluido (acqua o aria) per radiazione alla volta celeste. Il freddo viene immagazzinato in una apposita "massa – serbatoio" (es. vasca d'acqua) o nello stesso involucro-edificio.

4 Benessere termoigrometrico

4.1 Introduzione

La maggior parte della propria vita le persone la trascorrono all'interno degli edifici: si comprende dunque come il microclima interno degli ambienti confinati assuma grande importanza sulla salute dell'uomo.

A determinare il benessere della persona subentrano diversi parametri quali, la temperatura, l'umidità, l'abbigliamento, l'attività svolta. Grande importanza assume l'umidità relativa correlata alla temperatura, portando ad una alterazione della sensazione di comfort.

Valori indicativi di benessere microclimatico			
Stagione	Temperatura dell'aria	Umidità relativa	Velocità dell'aria
Inverno	19-22 °C	40-50%	0,05-0,1 m/s
Estate	24-26 °C	50-60%	0,1-0,2 m/s

Il bilancio termico dell'uomo è dato dall'equazione:

$$B = M \pm C \pm R - E$$

dove:

M è il calore di produzione metabolica;

C è la conduzione-convezione;

R l'irraggiamento;

E l'evaporazione.

Conduzione-convezione e irraggiamento possono creare effetti negativi o positivi a seconda della temperatura dell'aria e degli oggetti che ci circondano.

La sola presenza continua dell'uomo in un ambiente confinato può alterare profondamente le caratteristiche fisiche e chimiche dell'aria trasformandola in aria viziata. Per consentire una diluizione di queste impurità all'interno degli ambienti è necessario intervenire con adeguati ricambi d'aria.

Il tasso di ricambio d'aria viene calcolato rapportandolo al volume d'aria contenuto nell'ambiente confinato. L'unità di misura è $[m^3/m^3h]$, ad esempio un tasso di ricambio d'aria pari a $0,5 h^{-1}$ significa che in 1 ora viene ricambiata la metà dell'aria contenuta nell'ambiente confinato.

Numero di ricambi d'aria ottimali per diversi ambienti confinati	
Ambiente	Ricambi/ora
Abitazioni	0.5 – 1
Uffici privati	1 – 2
Stanze di degenza ospedaliera	2 – 3
Aule scolastiche, luoghi di riunione, uffici pubblici	4 – 5
Stabilimenti, ristoranti, discoteche	6 – 8
Locali con produzione di vapori e odori	8 – 10
Sale operatorie	10 – 15

4.2 Gli inquinanti ambientali

Odori di cucina e corporali:	Gli inquinanti nascosti
vapori d'acqua nell'aria o per uso domestico	allergeni, insetti, animali, pollini
fumi di tabacco e di cottura	radon: il radon (gas radioattivo) è presente in natura ed è contenuto nel terreno
	composti organici volatili (VOC), presenti nei prodotti per la pulizia domestica e nei materiali da costruzione
	monossido di carbonio, il CO si crea per effetto dell'errata combustione nei sistemi di riscaldamento

Una persona in condizione di riposo produce circa 55 g/h di vapore (traspirazione più respirazione). Una stanza di 54 m³ (4x5x2,7) alla temperatura di 20 °C e al 50% di umidità relativa, contiene circa 470 g di vapore. Due persone che abitano questa stanza per 4 ore producono 440 grammi di vapore che sommati a quelli esistenti danno 910 g ossia 16,85 g/m³; che alla temperatura di 20°C corrispondono a 14 g/Kg e ad una umidità del 90%.

Il vapore d'acqua comincerà a condensare sui vetri e sulle pareti creando nel tempo muffe, macchie sgradevoli sulle pareti e certamente sensazioni di malessere agli occupanti.

Una persona a riposo produce 22,5 lt/h di anidride carbonica. Un ambiente è considerato salubre quando la concentrazione di anidride carbonica (CO₂) non supera 1,5 lt/m³. Due persone che abitano la stessa stanza per 4 ore producono 176 lt di CO₂ pari a 3 lt/m³ riferito alla nostra stanza. Se poi consideriamo che normalmente in una camera da letto due persone dormono in media 8 ore a notte, la concentrazione di CO₂ può arrivare a valori di 6-7 lt/m³, circa quattro volte il valore ritenuto ideale. Anche in questo caso abbiamo considerato come input solo l'anidride carbonica e non abbiamo tenuto conto degli inquinanti interni, prodotti chimici, lavastoviglie e lavatrici, etc.

Quantità di CO₂ oraria emessa con la respirazione da parte dell'uomo in diverse situazioni

Situazione	l/h CO ₂
Bambino a riposo	10
Adulto che dorme	18
Adulto a riposo	22.5
Adulto che svolge attività sedentaria	30
Adulto che svolge attività fisica pesante	40

4.3 Gli indici di comfort termico

Indici di comfort adattativo.

La vigente norma EN-ISO 7730 è basata su un modello che considera le persone all'interno degli ambienti come soggetti passivi di scambio termico e prescrive temperature ottimali pressoché costanti. Negli ultimi anni molti ricercatori hanno iniziato a mettere in dubbio la validità di questo tipo di impostazione ed hanno introdotto il concetto di "adattamento", che spiega come il contesto e la storia termica di ciascun soggetto possano modificare le aspettative e le preferenze termiche degli occupanti.

Alla base del modello di comfort adattativo c'è la convinzione che il soggetto, consciamente o inconsciamente, svolge un ruolo attivo nella creazione delle condizioni termiche che preferisce e che, per raggiungere più facilmente la soddisfazione nei confronti del microclima, attua un processo di adattamento, definito come processo di graduale diminuzione delle reazioni individuali agli stimoli ambientali.

Si distinguono tre tipi di adattamento:

- adattamento comportamentale, dato dal complesso dei cambiamenti che una persona mette in atto, consciamente o inconsciamente, allo scopo di modificare i parametri che regolano il bilancio termico del corpo. Questo tipo di adattamento può essere ulteriormente suddiviso in personale (p.e. togliere un indumento), tecnologico (p.e. accendere il condizionatore d'aria) e culturale (p.e. fare una siesta al caldo),

- adattamento fisiologico, che consiste nel fatto che l'esposizione prolungata ad un certo tipo di ambiente o di clima riduce lo stress che può essere indotto da quella particolare situazione termica; può essere distinto in adattamento genetico (intergenerazionale) e acclimatazione (si compie gradualmente). È stato però dimostrato che nelle condizioni tipiche degli ambienti moderati questo tipo di adattamento ha un'influenza trascurabile sulla percezione del comfort,
- adattamento psicologico, legato al fatto che le esperienze pregresse e le aspettative modificano la percezione degli stimoli sensoriali e la reazione ad essi.

Capitolo 2. Una “casa passiva” italiana in tecnologia tradizionale: l’esperienza di Cherasco

Progetto: arch. M. G. NOVO

Collaborazione: arch. W. UNTERRAINER progettazione impianti e certificazione

I Cenni sull’origine del fabbricato

Cherasco è oggi un attivo centro con circa 7.000 abitanti, distribuiti in numerose frazioni, poste sugli oltre 82 chilometri quadrati di territorio. Le frazioni più importanti sono Roreto, Bricco, Veglia, Cappellazzo, San Bartolomeo, Meane, San Giovanni.

Gli ultimi 20 anni hanno visto una graduale trasformazione di Cherasco: da centro prevalentemente agricolo a polo industriale, commerciale ed economico di buon livello qualitativo e quantitativo. La tradizionale coltivazione di foraggi e verdure, insieme alla zootecnia intensiva, si sono validamente integrate alle numerose attività industriali e commerciali, ottenendo su tutto il territorio uno sviluppo generalizzato che ha creato un cospicuo numero di posti di lavoro.

Grazie ad una oculata ed intelligente politica di gestione urbanistica da parte dell’Amministrazione comunale, gli insediamenti creati sono di medie e piccole dimensioni, ma tutti estremamente diversificati e con grande specializzazione nelle produzioni.

Mentre nelle frazioni sono sviluppate in modo particolare l’agricoltura e l’industria pesante, nel centro sorgono laboratori artigianali per la lavorazione del legno ed apprezzate botteghe di restauro ed antiquariato.

L'edificio originario



L'edificio originario, costruito per uso rurale, risaliva agli inizi dell'800. Ormai in stato di abbandono presentava un forte degrado sia superficiale che strutturale. Nella foto di destra si possono osservare i successivi ampliamenti; il primo avvenuto nella prima metà dell'800, il secondo verso la metà del 900. I materiali utilizzati erano tipici della zona: legno per le strutture orizzontali e la copertura e mattone pieno per le strutture portanti verticali.

Caratteristiche geologiche:

L'area è caratterizzata da marne argillose, grigio-azzurrognole, molto compatte, presenti a varie quote.

Il materiale di copertura, con potenza variabile da 0.50 ÷ 1.20 m in relazione alla collocazione planimetrica, è rappresentato da argille limose passanti a sottostanti marne argillose con consistenza plastica.

Non è stata rilevata la presenza di una falda acquifera in corrispondenza delle quote d'indagine ma nelle cisterne/pozzi presenti nella proprietà ed in aree limitrofe, nel periodo d'indagine, era presente acqua a - 3.00 ÷ 5.00 metri dal p.c. attuale. L'alimentazione di queste opere di captazione e raccolta è riconducibile sia a pluviali sia a ridotte venute d'acqua in corrispondenza del sistema di fratturazione delle marne.

2 Filosofia di recupero e di progetto: il cammino verso la “Casa Passiva”.

La scelta di realizzare un edificio passivo non è stata immediata ma è nata dopo un iter progettuale attraverso il quale sono state vagliate diverse soluzioni, sotto il profilo architettonico, economico ed ambientale. Grazie alla sensibilità alle problematiche ambientali del progettista (e proprietario dell'immobile), nonché ad alcune necessità tecniche (mancanza di una rete gas), si è deciso di restare fedeli alla tradizione edilizia locale ma al contempo di ridurre i consumi energetici in un'ottica di rispetto ambientale. Il risultato è un progetto che conservando lo stile architettonico tradizionale del luogo riesce comunque ad impiegare l'innovazione tecnologica dell'edilizia dei nostri giorni.

Lo sforzo progettuale si divide in due aspetti distinti e strettamente correlati: la progettazione ARCHITETTONICA e la progettazione TERMICA.

E' stato subito adottato un approccio orientato al contenimento dei consumi energetici e ai criteri tipici della progettazione “passiva”: primo fra tutti la visione unitaria, integrata, tra il progetto edilizio ed il progetto impiantistico e poi, una volta realizzato il corpus principale del progetto, la messa a punto “a stadi” dei dettagli del sistema edile-impiantistico. Cerchiamo ora di spiegare meglio questo concetto che è fondamentale e discriminante nella progettazione di edifici ad elevate performance energetiche e di case passive.

Un edificio passivo rappresenta un concetto di risparmio energetico “spinto”, vicino ai limiti massimi di prestazione (pur conservando facilità di esecuzione). Per rendere meglio l'idea, si può dire che una casa passiva è paragonabile ad un'auto da competizione e come a

tale occorre rapportarsi. Infatti, procedendo nel parallelismo, occorre che il progetto iniziale sia di per sé molto buono, nella fattispecie garantisca sulla carta consumi inferiori a 15 kWh/m² anno. Ciò peraltro potrebbe non bastare: infatti solo il test effettivo sul primo anno, il “giro di prova”, sarà in grado di evidenziare eventuali carenze prestazionali (estive o invernali). Partendo da questi presupposti è quindi necessario che il progetto di partenza preveda alcune soluzioni facilmente implementabili a valle della realizzazione dell’edificio, per consentire quindi la cosiddetta messa a punto “a stadi” cui si accennava pocanzi.

Nel caso dell’abitazione passiva di Cherasco le soluzioni previste per eventuali interventi successivi erano le seguenti:

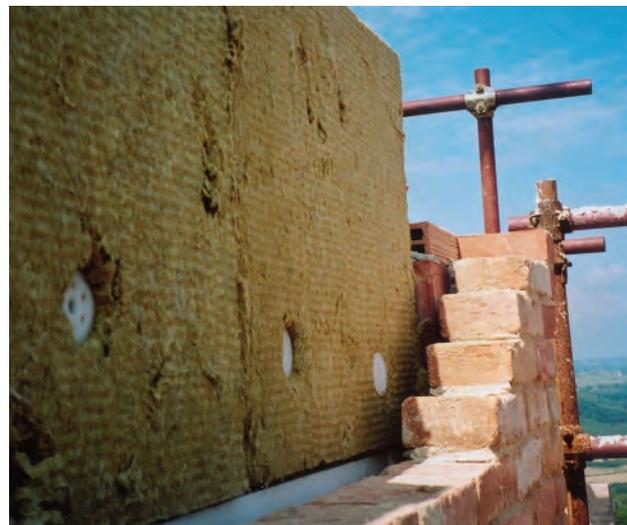
– **Extra isolamento del solaio dei box.** La strategia di isolamento per le case passive nei nostri climi (caldi in estate e freddi in inverno) prevede un elevato isolamento di tetti (30 cm isolante) e pareti (24 cm isolante) e un moderato isolamento dei solai verso terra (10 cm isolante). L’iperisolamento di tetto e pareti consente di proteggere l’abitazione dalle dispersioni di calore invernali e dagli eccessivi guadagni termici estivi. Il moderato isolamento del solaio verso terra causa invece una perdita di efficienza energetica dell’abitazione nel periodo invernale ma consente lo smaltimento del calore durante il periodo estivo, il compromesso fra questi due aspetti è molto importante. Partendo da questo presupposto, la casa passiva di Cherasco, prevedeva la possibilità di un eventuale extra isolamento a placcaggio (fino a un max di 20 cm) del soffitto dei box nel caso in cui il dimensionamento di progetto fosse risultato troppo penalizzante in inverno. Al termine della stagione estiva - nel novembre 2006 - si è optato per l’isolamento del garage, con lo scopo di migliorare ulteriormente il comfort invernale.

– **Extra ombreggiamento del lato Sud/Sud-Ovest dell’edificio.** La casa presenta su questi lati notevoli finestrate; uno dei parametri che si prevedeva di indagare nell’anno di prova era appunto la possibilità di eccessivi guadagni termici nel periodo estivo dovuti all’irraggiamento. Nella fase di progetto si era quindi tenuto conto di questa possibile problematica prevedendo e lasciando lo spazio per la realizzazione di un eventuale pergolato sui lati Sud/Sud-Ovest. Il comportamento estivo della casa si è invece dimostrato eccellente escludendo di conseguenza la necessità di questo intervento.

Nel seguito del capitolo verranno affrontati in modo più dettagliato i concetti sin qui espressi. In particolare, nei paragrafi che seguono, si ripercorrerà il cammino progettuale (edile/impiantistico) a partire dalle valutazioni preliminari tra i vari possibili indirizzi tecnici che committente e progettisti hanno sviluppato fino a pervenire alle scelte esecutive.

Nel paragrafo 2.1 ci si concentra sugli aspetti prevalentemente architettonici, con essenziali riferimenti grafici. Nel paragrafo 2.2 viene sviluppato un inquadramento del progetto termotecnico, anche con simulazioni e confronti numerici di differenti possibili approcci alla climatizzazione della casa. Si descrive infine la soluzione adottata.

Nel paragrafo 2.3 si analizzano due fondamentali parametri di progetto: “la forma” dell’edificio e la “qualità” dell’involucro.

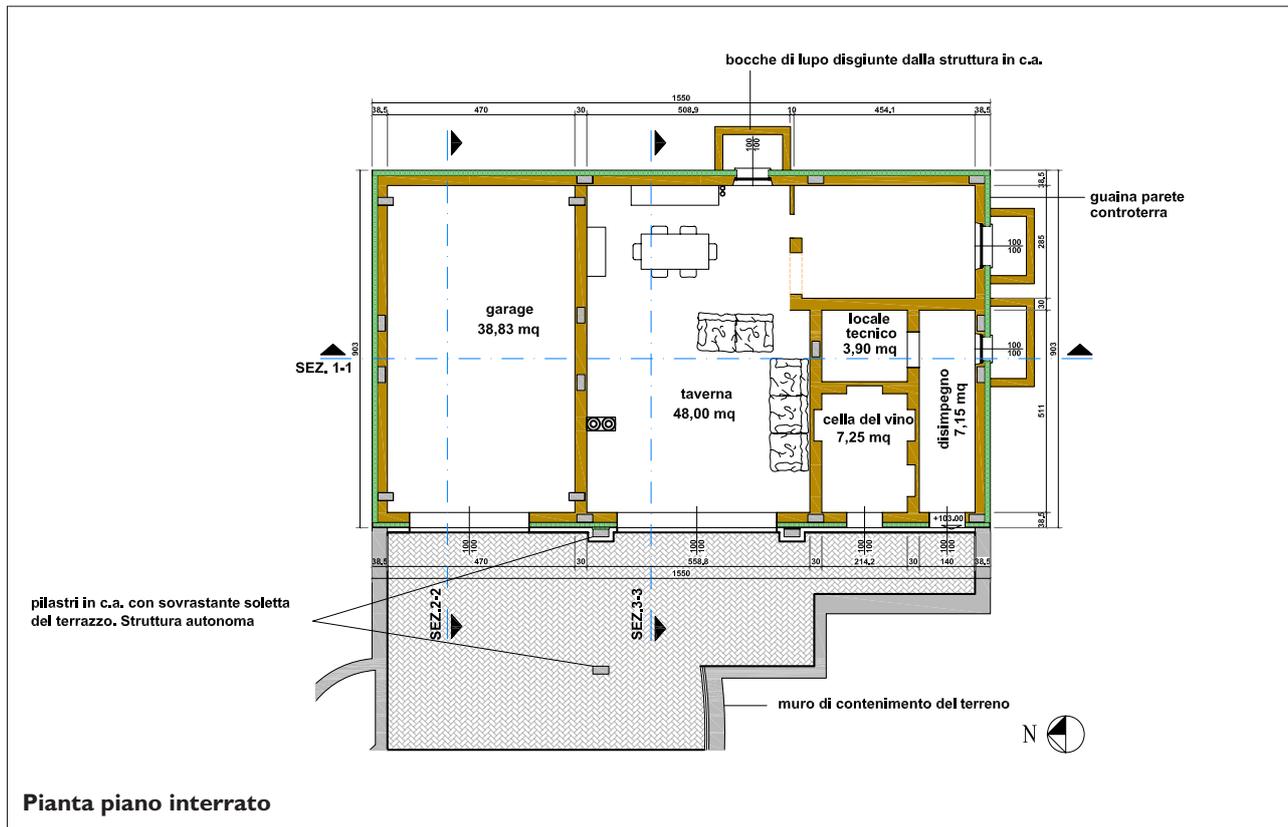


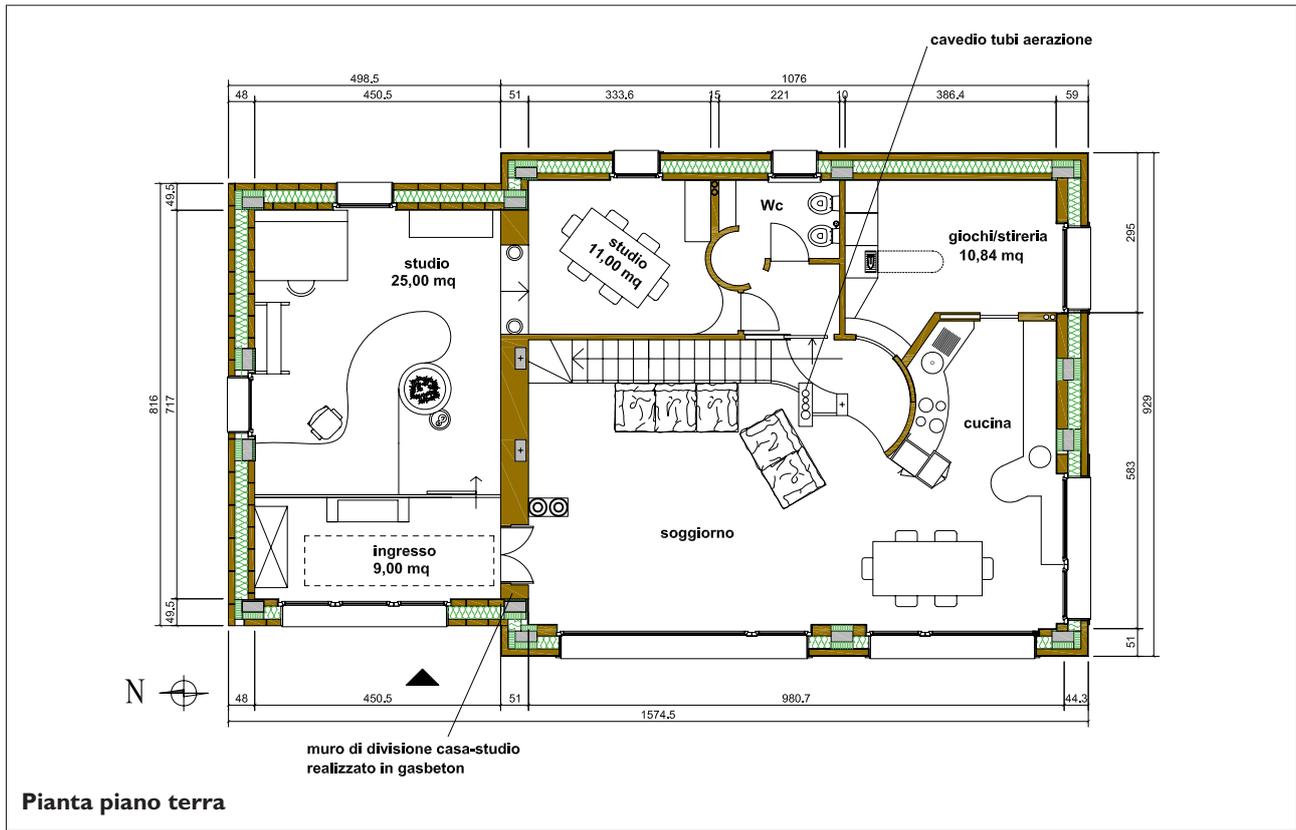
2.1 Il progetto architettonico

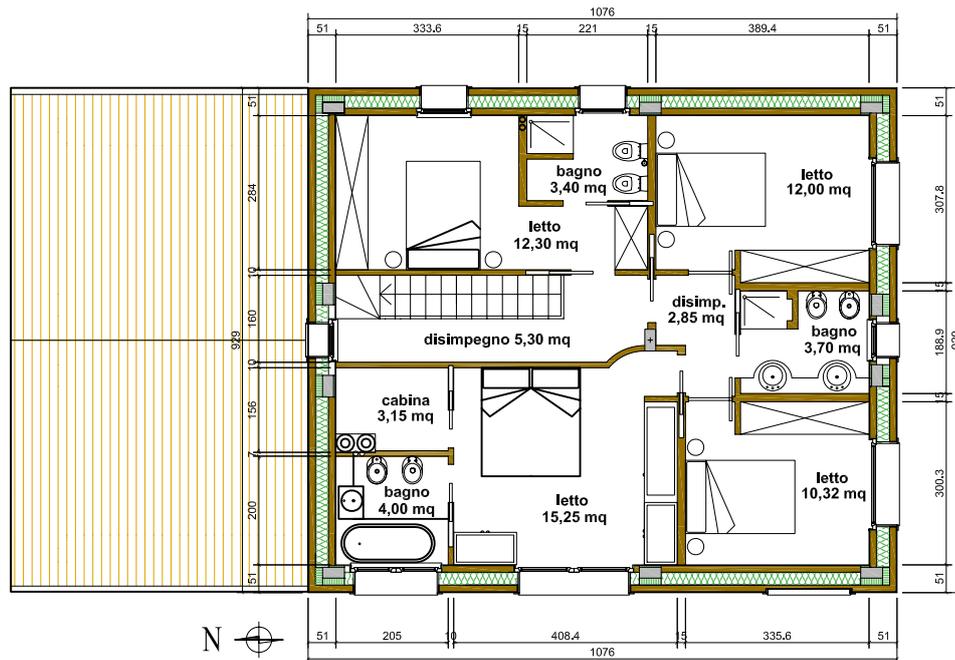
Vista la precarietà statica dell'edificio preesistente si è optato per una ricostruzione integrale, riprendendo nell'orientamento, nelle linee, nella morfologia edilizia i caratteri dell'edificio originario. L'orientamento è stato uno dei vincoli più importanti. Gli ambienti principali e le maggiori superfici finestrate si affacciano verso ovest, in quanto questo è l'orientamento che garantisce la migliore distribuzione degli ambienti interni e offre la migliore vista sull'ambiente circostante (stupenda visione della cornice alpina a centottanta gradi); il lato est si affaccia invece sulla via pubblica e non avrebbe garantito una adeguata privacy. I lati sud e nord non garantivano un'ottimale distribuzione interna.

Il lato nord presenta una sola finestra larga un metro al piano terra e un oblò del diametro di 60 centimetri che illumina la scala interna. Sul lato sud si è cercato di dare più luce con finestre da 1,50 metri al piano primo, e da 3 metri al piano terra. In tutte le superfici vetrate si è cercato di sfruttare l'altezza di 2,60 metri al piano terra e di 2,40 metri al primo piano. Concludendo, un edificio passivo non deve essere necessariamente orientato a sud anche se tale orientamento è in genere il più conveniente.

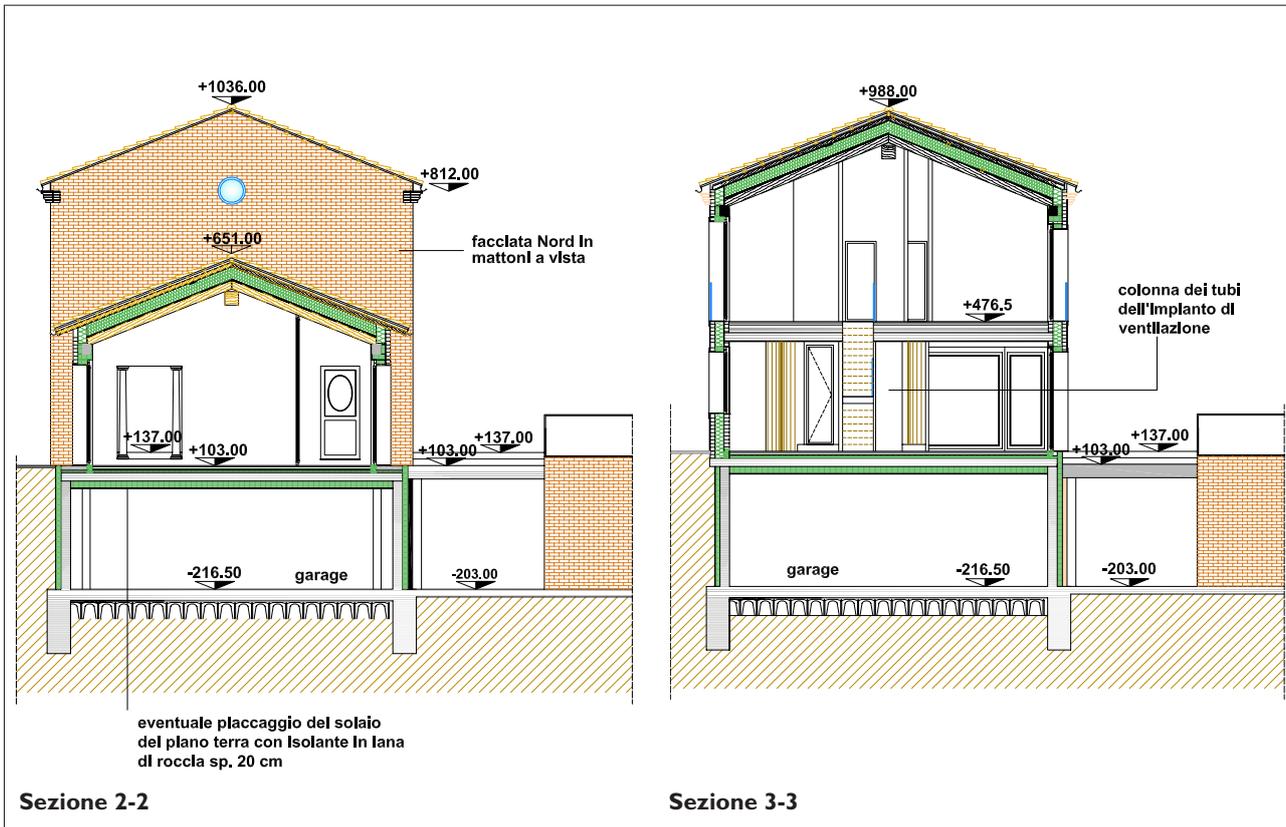
Quanto all'involucro i mattoni faccia vista sono in parte stati recuperati dalla demolizione dell'edificio pre-esistente; quelli mancanti sono stati realizzati appositamente dalla fornace Sant'Anselmo, riproducendo esattamente la forma e i colori di quelli originari.







Pianta primo piano



2.2 Il sistema impiantistico della casa di Cherasco

Il progetto termico: la valutazione di due diversi approcci.

Il cammino che ha portato a decidere la costruzione di un edificio passivo è stato fatto attraverso la preliminare valutazione di aspetti economici e ambientali per diverse soluzioni tecnologiche alternative, sia edili che termiche. Sono state indagate 2 ipotesi alternative:

la 1^a ipotesi ha portato a valutare la casa di Cherasco come edificio di tipo convenzionale adeguato alla L. 10/91; la 2^a ipotesi indagata è stata la casa di Cherasco come edificio passivo.

Sulla base dei risultati ottenuti è emerso:

	Edif. convenzionale	Edif. passivo
Costi per isolamento e finestre	€ 24.600,00	€ 35.800,00
Costi per l'impianto di riscaldamento	€ 30.000,00	€ 20.000,00
TOTALE	€ 54.600,00	€ 55.800,00
Costi d'esercizio annui	€ 3.500,00	€ 320,00

Occorre tenere in considerazione che la soluzione dell'involucro ad alte prestazioni termiche dell'edificio passivo ha permesso l'utilizzo di un'impiantistica più efficiente ed economica rispetto ai tradizionali impianti di riscaldamento; da questo connubio involucro/impianti si sono ottenuti risparmi dovuti all'interazione sinergica dei due fattori. Più precisamente, un involucro in grado di ridurre al minimo le dispersioni di calore consente l'utilizzo di un impianto di riscaldamento con bassa potenza ed alti rendimenti. In questo modo, il progettista, ha fatto sì che la differenza di costo fra l'edificio convenzionale e l'equivalente passivo non abbia registrato sostanziali variazioni. In generale si può affermare che un edificio passivo può comportare un maggiore investimento iniziale, seppur molto contenuto (qualche punto percentuale sul costo finale), che viene però recuperato in brevissimo tempo grazie ai minori costi di esercizio.

La pompa di calore

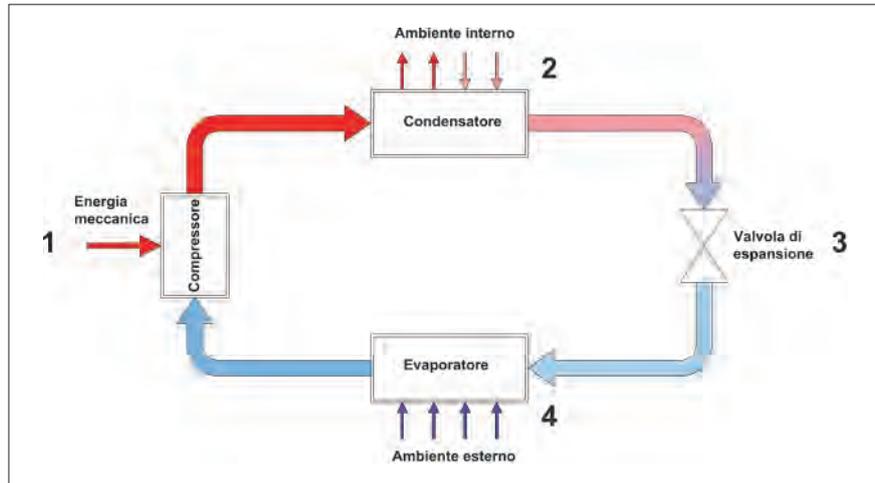
È un sistema termodinamico in grado di trasferire calore da un corpo a temperatura più bassa, sorgente fredda (aria - acqua - terreno) ad un corpo a temperatura più alta, pozzo caldo. Il vantaggio nell'uso della pompa di calore (che estrae calore dall'ambiente esterno, aria o acqua) deriva dalla sua capacità di fornire più energia (termica) di quella impiegata (elettrica) per il suo funzionamento.

Il principio della pompa di calore si fonda su due fenomeni:

i gas aumentano di temperatura quando compressi; i liquidi (gas condensati) possono bollire ed evaporare quando decompressi assorbendo calore dall'ambiente circostante per alimentare il processo di ebollizione.

Con piccole modifiche il processo può essere invertito per raffreddare, in estate, l'aria di ventilazione (si parla di "p.c. reversibile").

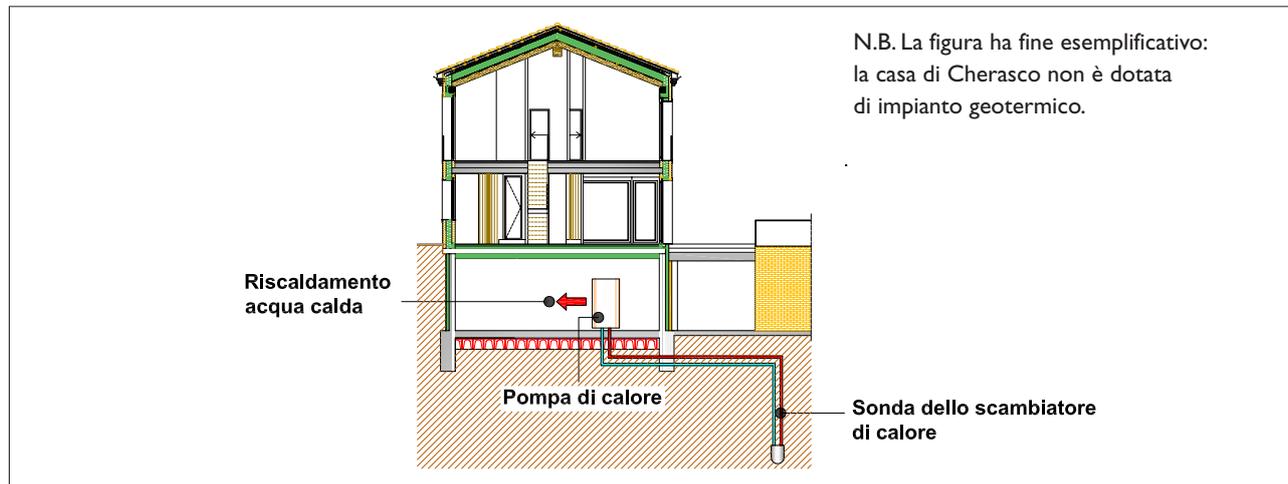
1. Compressore: il gas viene compresso e aumenta di temperatura;
2. Condensatore: il gas condensa nella serpentina emettendo calore (anche calore latente), per uso domestico;
3. Valvola di espansione: caduta di pressione e quindi di temperatura al di sotto del valore dell'ambiente esterno;
4. Evaporatore: il liquido passa nella serpentina dell'evaporatore in contatto con l'aria esterna (o con altro mezzo esterno, suolo o corso d'acqua, ecc.); il liquido evapora nuovamente (vedi Carotti – Rimoldi in Bibliografia);



La pompa di calore geotermica

Il terreno è in grado di fornire energia termica, da considerare rinnovabile a tutti gli effetti. Infatti sia le precipitazioni sia le reazioni naturali che hanno luogo nel sottosuolo, sia il calore che fluisce dal centro della terra verso la superficie, mantengono il sottosuolo a temperatura praticamente costante durante tutto l'anno (a parte i primi metri di terreno che subiscono l'influenza stagionale), complice anche l'enorme inerzia termica.

Le temperature del sottosuolo, sino a 100-200 m di profondità si aggirano attorno ai 10-15 gradi (il gradiente termico superficiale da noi è di ca. $3^{\circ}\text{C}/100\text{m}$). La tecnica di estrazione del calore consiste nel praticare un foro verticale nel terreno per circa 80-120 m e nell'inserirvi sonde a forma di circuiti chiusi a "U" percorsi da una soluzione di acqua miscelata con antigelo (sonda geotermica). Grazie al fatto che il terreno è a temperatura costante durante tutto l'anno, la pompa di calore mantiene sempre un'elevata efficienza di lavoro e di conseguenza in questi casi non è necessario integrare con sorgenti termiche d'appoggio.



La tecnologia della condensazione (una possibile alternativa):

tecnica che, oltre a sfruttare il calore generato dalla combustione, permette di recuperare quella quantità che è contenuta nei fumi di scarico mediante il loro raffreddamento, il vapore acqueo contenuto nei fumi "condensa" cedendo il calore trattenuto. Questo processo innalza notevolmente il rendimento dell'apparecchio consentendo un risparmio fino al 15% dell'energia termica rispetto a caldaie convenzionali a gas. Le caldaie a condensazione possono essere installate in qualsiasi impianto di riscaldamento: particolarmente vantaggiosi sono i sistemi a bassa temperatura (pannelli a pavimento); con impianti a radiatori è possibile comunque ottenere ottimi risultati.

Come funziona una caldaia a condensazione?

I fumi caldi in uscita sono "ripresi" – come detto – dalla caldaia e fatti condensare. Distinguiamo due diverse forme di rendimento:

- il rendimento calorifico superiore (in entrata alla caldaia)
- il rendimento calorifico inferiore (in uscita dalla caldaia)

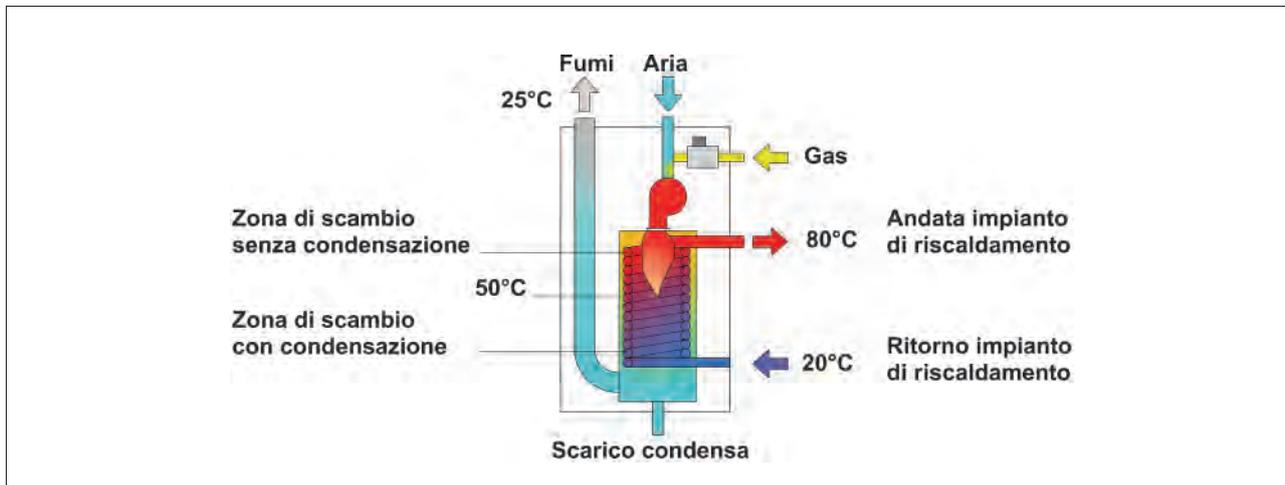
Una caldaia tradizionale disperde la differenza di rendimento sotto forma di fumi esterni. In questi casi il suo rendimento stagionale si approssima al rendimento calorifico inferiore. La **condensazione**, invece, recupera una parte del rendimento calorifico superiore sotto forma di vapore acqueo. Questo recupero rappresenta un "valore aggiunto" al rendimento stagionale.

Nel caso invece di impianti condominiali centralizzati (spesso funzionanti a gasolio) la sostituzione diventa più difficile, ciò nonostante qualcosa si può comunque fare; per esempio applicando valvole termostatiche ai radiatori al fine di mantenere il livello desiderato di temperatura in ogni stanza, oppure installare contatori individuali in modo che ognuno paghi quanto consuma: il risparmio in media è del 20% per caldaie a quattro stelle. In Italia ogni anno si cambiano 4.2 milioni di caldaie: basterebbe sostituirle con centrali termiche ad alta efficienza per ridurre fino al 15% le dispersioni di energia e le emissioni di CO₂.

Purtroppo oggi il mercato Italiano di questi moderni impianti di condensazione è soltanto il 3-4%. Altre possibilità vengono dal settore delle energie rinnovabili, per esempio dal riscaldamento a legna o a pellet (da segatura compressa) con le stufe ad alto rendimento.

Concludendo, una riflessione di sintesi: un aiuto a trovare ordine in una materia piuttosto articolata può venire dal rifarsi ai principi fisici informativi, che hanno qui il pregio di avere valore multiscala: sorta di 'road map' per il risparmio energetico in un grande processo industriale, o in una casetta unifamiliare, o in un appartamento di città; proviamo a richiamarli:

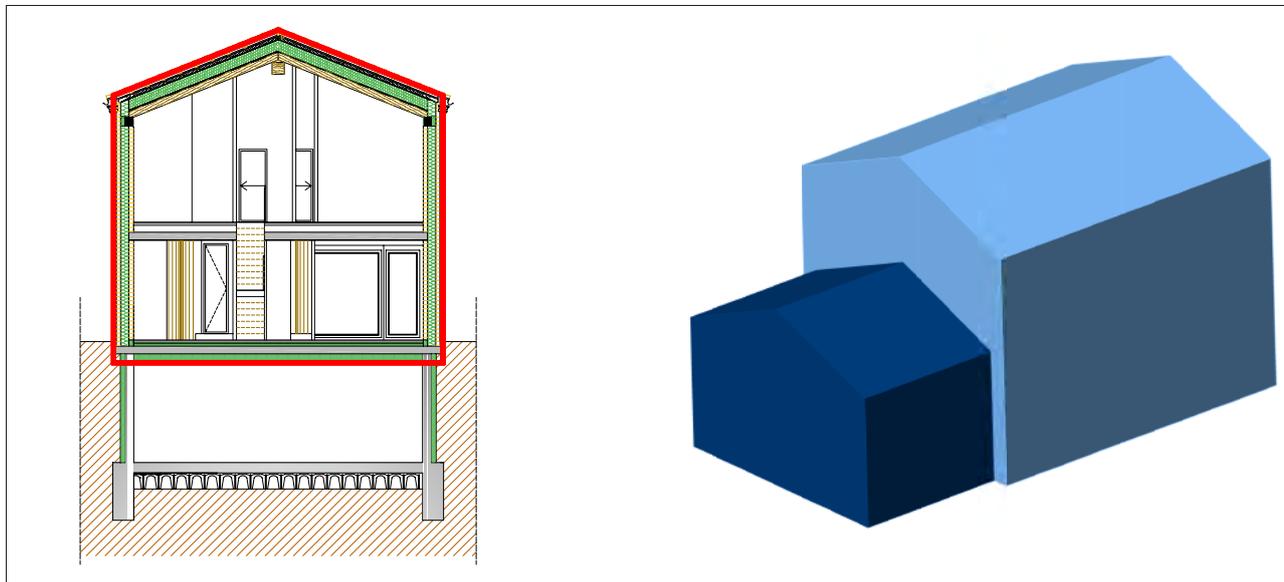
- (i) puntare a sempre maggiori rendimenti dei sistemi di trasformazione dell'energia per climatizzazione (invernale/estiva); minori perdite nella caldaia, maggiori rendimenti nell'impianto di clima estivo etc;
- (ii) ridurre le perdite negli usi finali (qualità isolante e impermeabilizzante dell'involucro opaco e trasparente; nonché schermature intelligenti, forma e orientamento del complesso edile);
- (iii) estendere l'uso di macchine che (contro natura) trasferiscono -'pompano'- calore da una temperatura a una temperatura più elevata a spese, per esempio, di energia elettrica, ma in modo che l'utile sia maggiore della spesa (la scienza ha già dato tutto in materia da circa 150 anni);
- (iv) utilizzare fonti e processi gratuiti (solare, ventilazione naturale notturna);
- (v) valorizzare il riutilizzo di calore prodotto nei sistemi di trasformazione di cui sopra (quindi: estensione d'uso di caldaie a condensazione con nuova impostazione dell'impianto; uso di scambiatori di calore).



2.3 Due cardini del progetto integrato: la forma dell'edificio e la qualità dell'involucro.

2.3.1 La forma. Il rapporto S/V.

Lo scambio energetico tra l'ambiente esterno e quello interno avviene attraverso la superficie (S) dell'involucro che racchiude il volume (V) riscaldato: più estesa è la superficie (S) maggiori sono le dispersioni termiche. Per ridurre la superficie disperdente (S) bisogna intervenire sulla "compattezza" dell'edificio e il parametro che la caratterizza è il rapporto S/V. Per gli edifici passivi realizzati nel nord-est Europa si usa indicare un limite di $S/V < 0,6$.



Il rapporto S/V

Il rapporto S/V, “coefficiente di forma”, è una variabile cruciale ai fini della riduzione delle perdite energetiche per trasmissione Q_T . È quindi possibile ridurre le dispersioni unitarie e di conseguenza quelle totali, cercando una forma dell’edificio che minimizzi il rapporto S/V.

A titolo d’esempio, indicativamente:

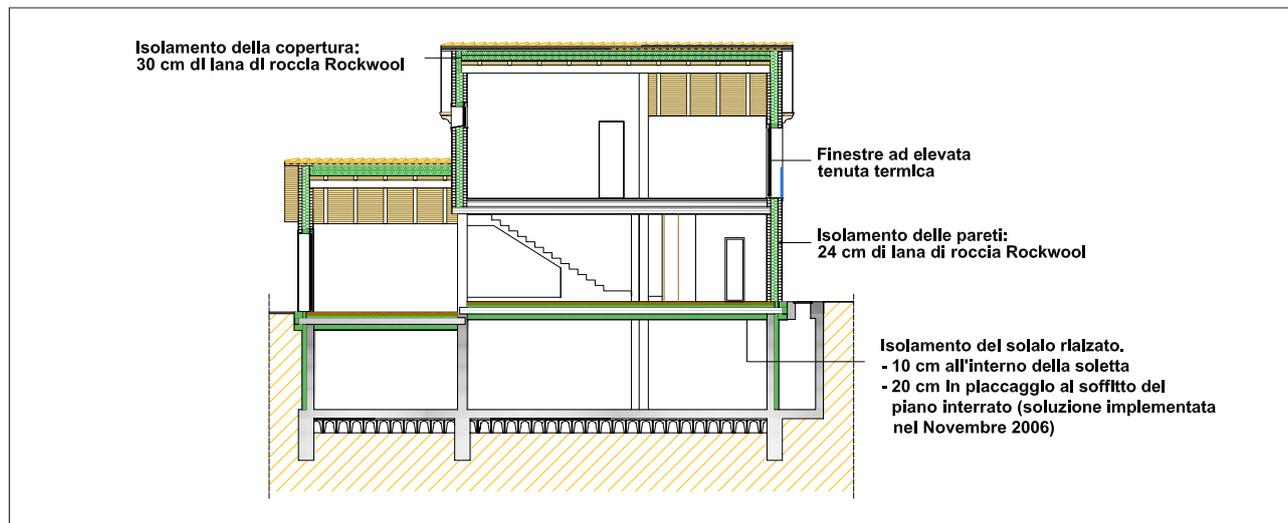
Tipologia edilizia	S/V [m^{-1}]
Villetta	~ 0.80
Villetta a schiera	~ 0.65
Edificio in linea	~ 0.50
Edificio a torre	~ 0.30

Inoltre le dispersioni a parità di forma sono inversamente proporzionali al volume. Edifici di grande volumetria tenderanno a trattenere il calore con maggiore facilità rispetto ad edifici di minore volume che si raffredderanno più facilmente. Questo vantaggio a favore degli edifici di grande taglia per i mesi invernali diventerà in genere uno svantaggio nei mesi estivi durante i quali sarà difficile eliminare il calore metabolico dell’edificio; per un edificio di piccolo volume varrà l’opposto.

2.3.2 L'involucro

(I) Generalità

Nell'edificio di Cherasco, per esigenze di conservazione dei caratteri tipologici tradizionali della zona, si è deciso di privilegiare un isolamento in intercapedine al fine di consentire la realizzazione di una muratura esterna con mattoni faccia a vista nella zona studio e intonacati nella zona giorno. La tipologia costruttiva utilizzata per la realizzazione dei muri esterni è quella tipica dei "muri a cortina"; nella fattispecie il muro esterno è collegato alla struttura interna portante, realizzata in pilastri in cemento armato, attraverso graffe di acciaio. Questa scelta progettuale consente di realizzare uno strato isolante continuo (concetto simile alla situazione di un cappotto esterno) che permette di eliminare totalmente i ponti termici.



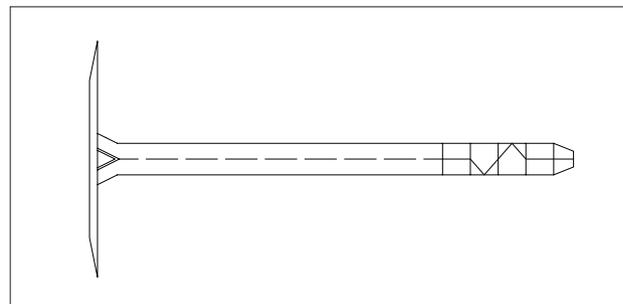
Casa di Cherasco: schema dell'involucro edilizio (isolamento termico)

Conduttività termica di elementi opachi dell'edificio passivo di Cherasco.

Elemento costruttivo	Conduttività termica ($W/m^2 K$)
Parete esterna verso l'ambiente	0,135
Tetto	0,172
Primo solaio	0,123 ^(*)



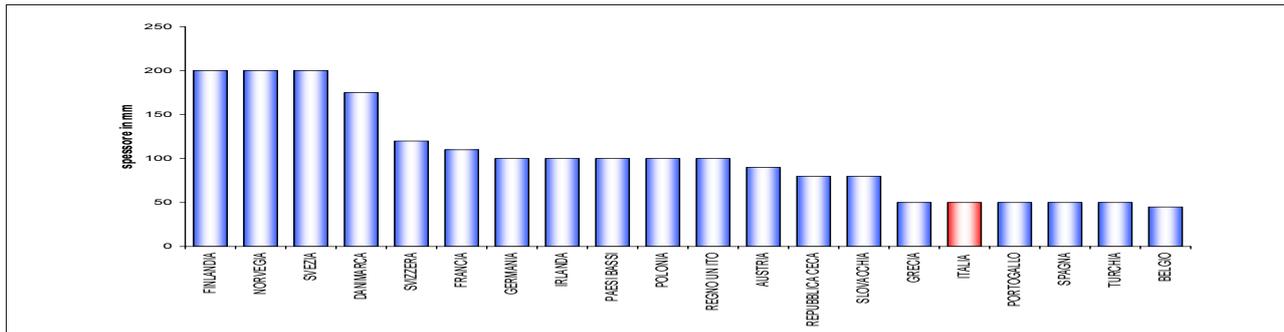
Posizionamento dello strato di isolante costituito da pannello Rockwool da 24 cm mediante fissaggio meccanico puntuale a mezzo di appositi tasselli.



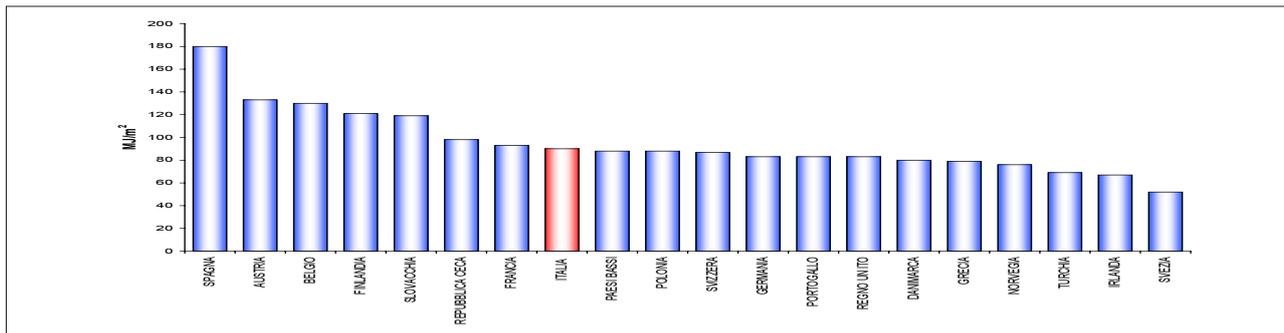
^(*) il valore riportato 0,123 $W/m^2 K$ si riferisce al valore di progetto (spessore totale di isolante 30 cm), implementato nel novembre 2006. Cfr. paragrafo 2, capitolo 2, sulla "filosofia di progetto".

L'inadeguatezza degli attuali sistemi di isolamento termico in edilizia

Spessore medio dell'isolante delle pareti:



Perdite di energia attraverso le pareti:



Modello termocinetico e valori di progetto per parete multistrato.

Consideriamo regime stazionario e scambio termico unidirezionale. Il flusso termico è:

$$Q = U \cdot S \cdot (T_i - T_e) \quad \text{dove } S: \text{superficie della parete}$$

U: trasmittanza termica superficiale della parete; rappresenta il flusso di calore che attraversa 1 m² di parete per ogni grado di differenza tra le due facce.

Unità di misura: W/m² °K oppure Kcal/m² h °K.

Nel caso i componenti della parete siano solidi omogenei ed isotropi, U ha la forma:

$$U = \frac{1}{R_{tot}} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \sum_k \frac{s_k}{\lambda_k} + \frac{1}{\alpha_\theta}}$$

la resistenza termica R è l'inverso della trasmittanza

Pavimenti su vespaio

$$H_g = U \cdot A$$

con:

A: area del pavimento [m²];

$$U = \frac{1}{\frac{1}{U_p} + \frac{1}{U_x}}$$

U_p: trasmittanza termica del pavimento sopra lo spazio aerato;
 U_x: trasmittanza termica equivalente tra spazio aerato e ambiente esterno espressa come:

$$U_x = U_g + 2 \cdot p \cdot \frac{U_w}{B} + 1450 \cdot \varepsilon \cdot v \cdot \frac{f_w}{B}$$

con:

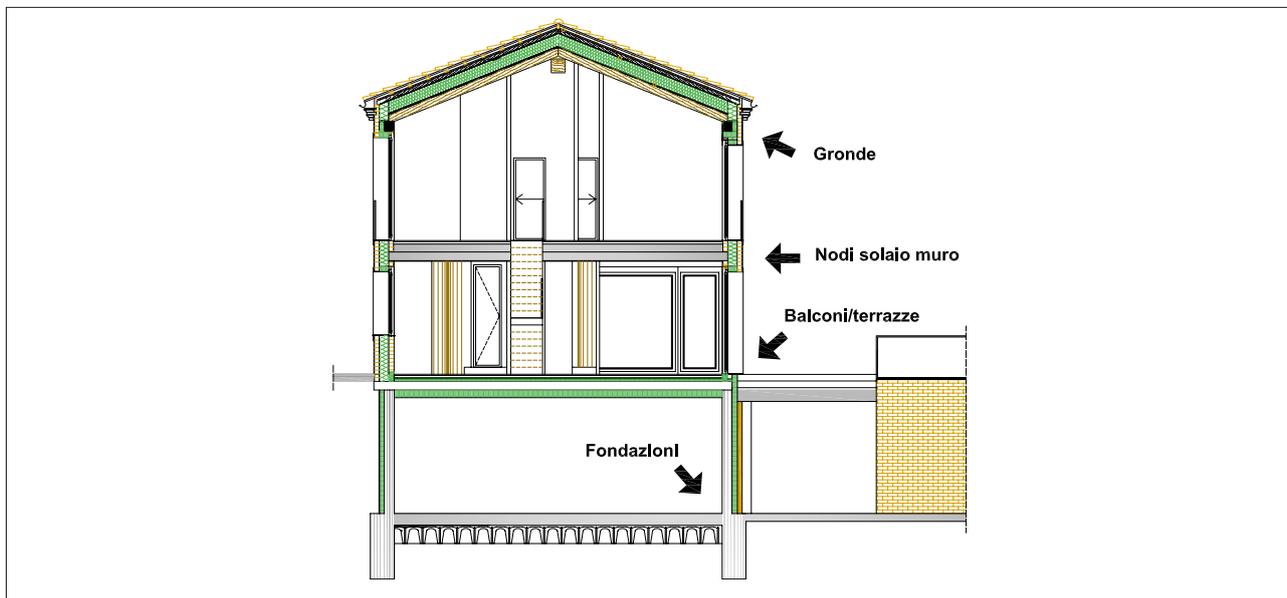
- U_g: trasmittanza termica del terreno [W/m²K];
- z: altezza del pavimento sul livello del terreno esterno [m];
- U_w: trasmittanza termica delle pareti dello spazio aerato [W/m²K];
- B': dimensione caratteristica del pavimento
- ε: area delle aperture di ventilazione per unità di perimetro dello spazio aerato [m];
- v: velocità media del vento;
- f_w: coefficiente di protezione dal vento.

Il valore U_g è dato da:

$$U_g = \frac{2 \cdot l}{p \cdot B' + d_T} \cdot \ln \cdot \left(\frac{p \cdot B'}{d_T} + 1 \right)$$

(II) Assenza di ponti termici

I ponti termici nelle costruzioni edilizie producono una modifica del flusso termico e una modifica della temperatura superficiale rispetto a strutture che ne sono prive; possono anche dare origine a basse temperature superficiali con rischio di condensazione superficiale o crescita di muffe. L'effetto della ripetizione dei ponti termici in una parete uniforme (p. es. giunti che penetrano in uno strato isolante o giunti di malta tra blocchi di muratura) dovrebbero essere inclusi nel calcolo della trasmittanza termica.



Il Dlgs 192/05 sui “ponti termici”

Ponti termici.

Tutti i valori delle tabelle sono riferiti alla condizione di ponte termico corretto:

Allegato A Comma	Titolo	Definizione
20	Ponte termico	È la discontinuità di isolamento termico che si può verificare in corrispondenza agli innesti di elementi strutturali (solai e pareti verticali o pareti verticali tra loro).
21	Ponte termico corretto	È quando la trasmittanza termica della parete fittizia (il tratto di parete esterna in corrispondenza del ponte termico) non supera per più del 15% la trasmittanza termica della parete corrente.

Nel caso il ponte termico non sia corretto la trasmittanza media della struttura deve essere minore dei valori in tabella.

Gli standard di riferimento:

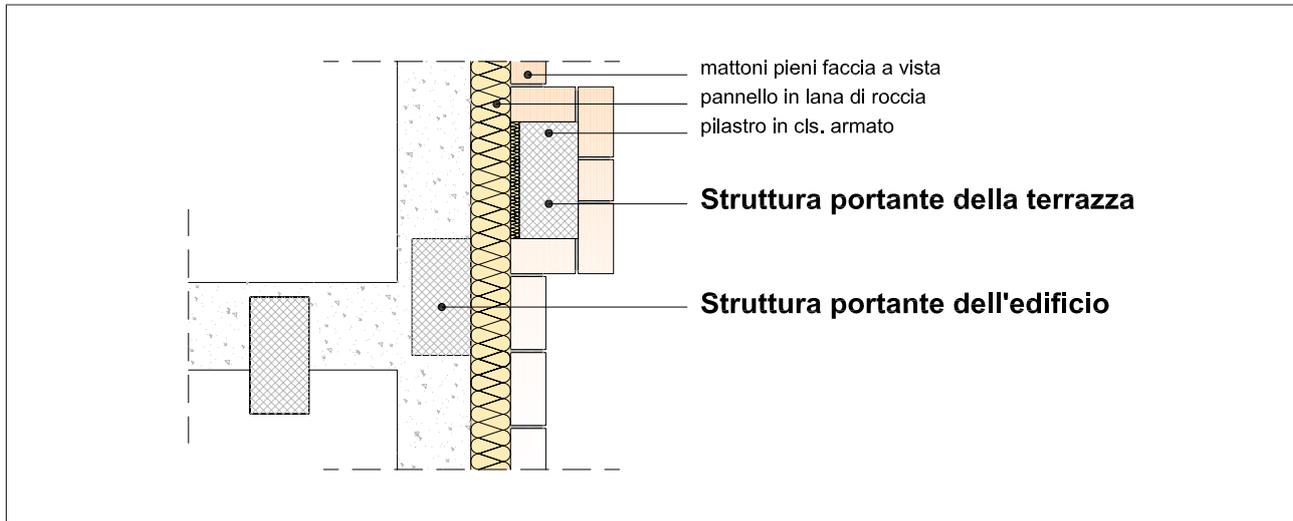
UNI EN ISO 14683	Ponti termici in edilizia – Coefficiente di trasmissione termica lineica – Metodi semplificativi e valori di riferimento
UNI EN ISO 10211-1	Ponti termici in edilizia – Flussi termici e temperature superficiali – Metodi generali di calcolo
UNI EN ISO 10211-2	Ponti termici in edilizia – Calcolo dei flussi termici e delle temperature superficiali – Ponti termici lineari

Balconi, terrazze e gronde non devono avere contatto con le strutture che si trovano all'interno dell'involucro termico: devono essere elementi strutturali a sé stanti, autoportanti.

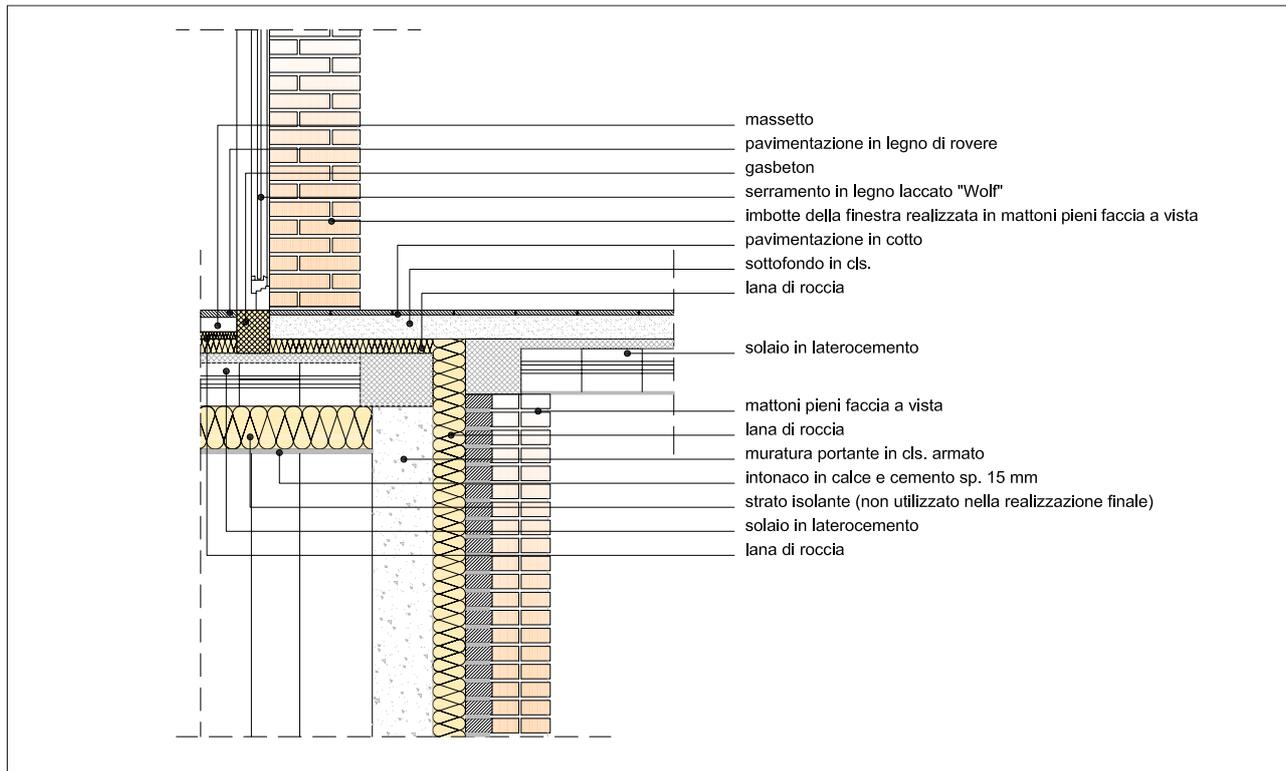
Nell'edificio di Cherasco il problema della terrazza è stato risolto creando due strutture indipendenti:

- una struttura portante per l'edificio.
- una struttura portante indipendente, in cls armato, per la terrazza;

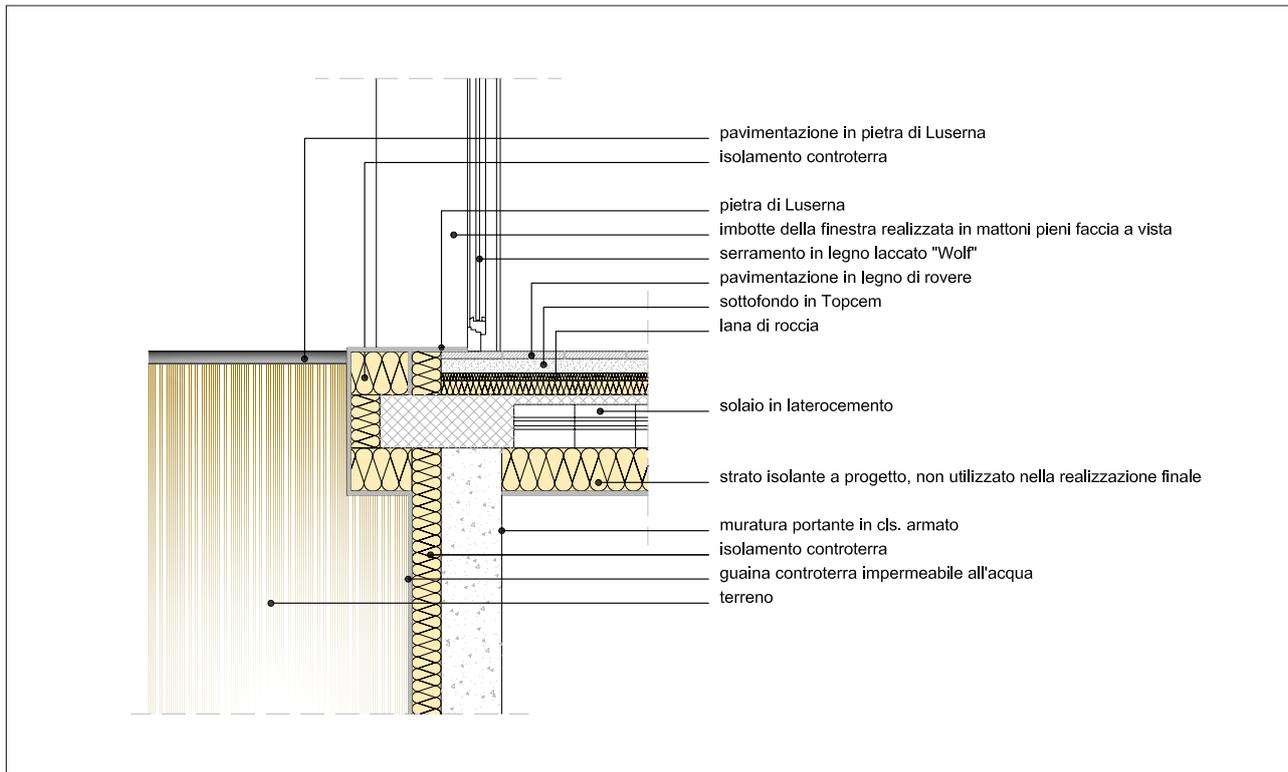
Le due strutture sono mantenute separate da un pannello in lana di roccia che ha funzione sia di isolare termicamente e acusticamente il piano seminterrato sia di permettere movimenti indipendenti alle due strutture (giunto di dilatazione).



Dettagli costruttivi della soluzione di continuità tra terrazzo e telaio principale in cemento armato:



Dettagli costruttivi della soluzione di continuità tra terrazzo e telaio principale in cemento armato:



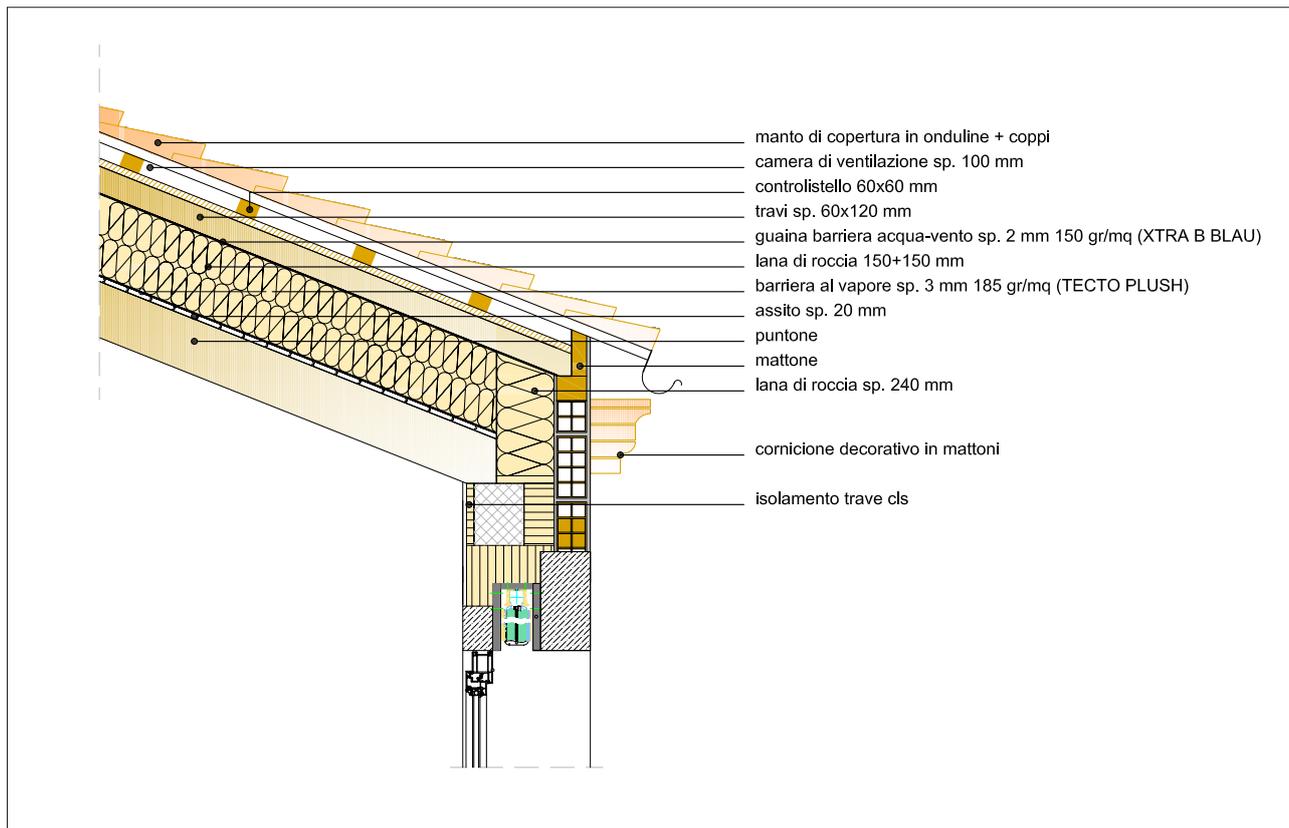
(III) L'isolamento della copertura.



Isolamento della copertura: posa della barriera al vapore sul primo assito e doppio strato di pannelli isolanti in lana di roccia sp. 15 + 15 cm

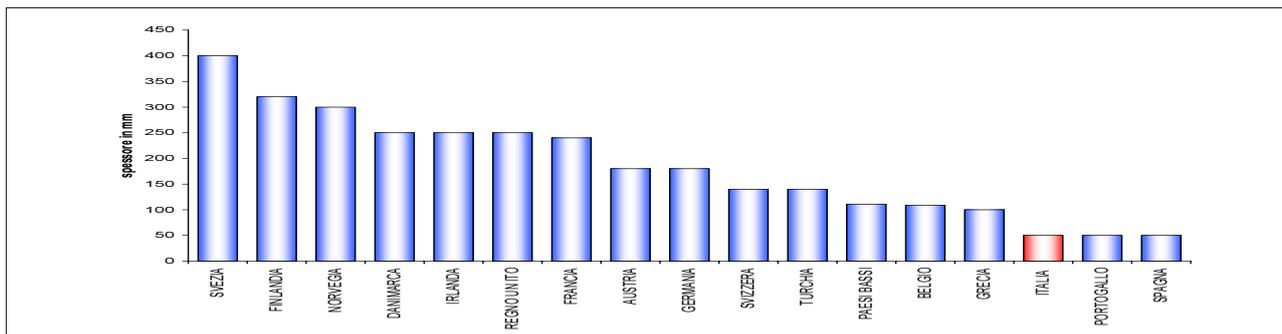


Dettaglio della stesura del secondo strato di pannelli isolanti in lana di roccia 15 cm e della barriera acqua-vento.

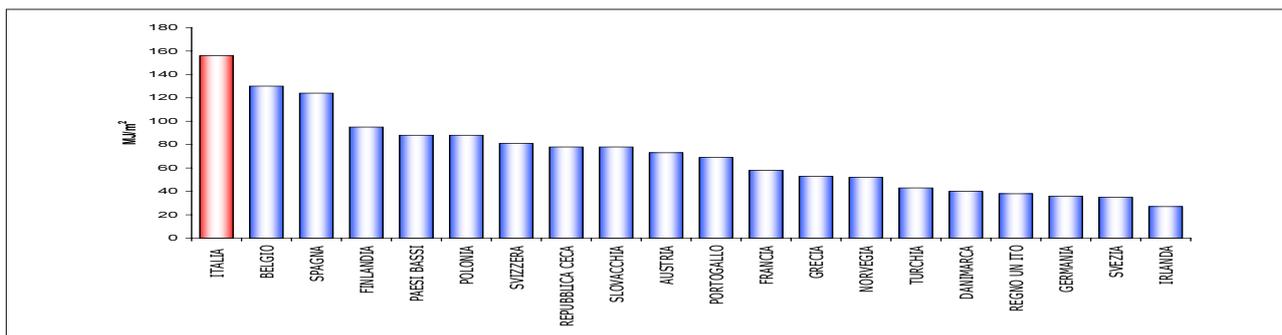


L'inadeguatezza degli attuali sistemi di isolamento termico in edilizia

Spessore medio dell'isolante nelle coperture:



Perdite di energia attraverso le coperture:



(IV) I serramenti finestra

I serramenti finestra devono svolgere molteplici funzioni: devono fare entrare la luce negli ambienti, impedire al calore interno di migrare all'esterno, proteggere l'ambiente interno dagli agenti atmosferici e possedere elevate caratteristiche fonoisolanti.

Le normali finestre utilizzate in un edificio convenzionale causano perdite energetiche pari a circa il 20% del totale. In un edificio passivo si devono pertanto utilizzare finestre con elevate prestazioni termiche, tipicamente a triplo vetro con doppia intercapedine termoisolante.

Le perdite di energia di una finestra sono determinate dagli elementi che la compongono: telaio e vetri. Il telaio è l'elemento più debole. Negli edifici passivi si utilizzano telai speciali termoisolanti multicamera.

Se da una parte l'alta trasmittanza termica (paragonata alla trasmittanza termica dell'involucro opaco) fa delle finestre nelle ore notturne i componenti più disperdenti dell'involucro, dall'altra le finestre permettono il passaggio della luce solare nelle ore diurne e quindi consentono un grande guadagno termico gratuito. In sintesi si può dire che una buona finestra deve bilanciare i guadagni solari durante le ore diurne con le perdite termiche durante le ore notturne.

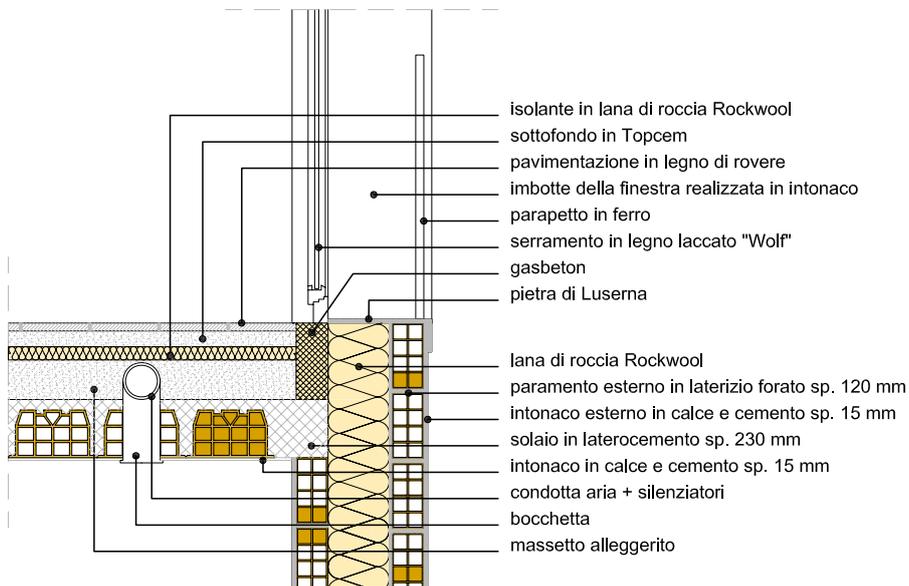
Caratteristiche termocinetiche delle finestre dell'edificio di Cherasco

Finestra	Vetro (W/m^2K)	Vetro + telaio (W/m^2K)	Valore g (%)
	0.74	1.2	52

- Non sono stati utilizzati falsi telai
- Prima della posa è stato incollato un nastro isolante sul serramento e posato direttamente sull'intonaco.
- Dopo la posa è stata collocata una schiuma espansiva isolante e sopra questa il silicone.
- Successivamente è stato eseguito l'intonaco con un angolo di circa 45° dal muro interno verso il serramento.
- Sono stati utilizzati vetri tripli basso emissivi con doppia camera e gas argon all'interno.

Le alte prestazioni termiche delle finestre speciali potrebbero essere compromesse da un montaggio inadeguato. Finestre e porte esterne devono essere inserite nell'involucro usando speciali accorgimenti costruttivi; il montaggio ideale consisterebbe nel posizionare l'infisso direttamente nel piano dell'isolamento.

A Cherasco il problema è stato risolto appoggiando il serramento direttamente su gasbeton.



Casa di Cherasco: dettaglio serramenti e vetri



Dettaglio serramento e sistema di ombreggiamento esterno a veneziana.



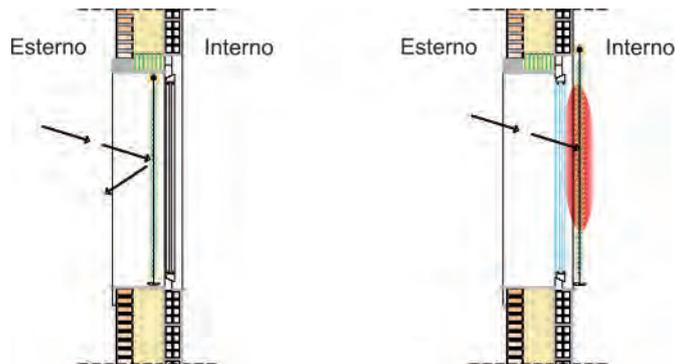
Dettaglio triplo vetro basso emissivo con doppia camera e gas argon.

(V) Gli ombreggiamenti

Gli elementi ombreggianti devono svolgere una funzione molto delicata: devono essere in grado di fare passare l'irraggiamento solare durante il periodo invernale e rifletterlo durante il periodo estivo per evitare il surriscaldamento interno degli ambienti; inoltre, per tutto l'anno devono permettere una adeguata illuminazione naturale.

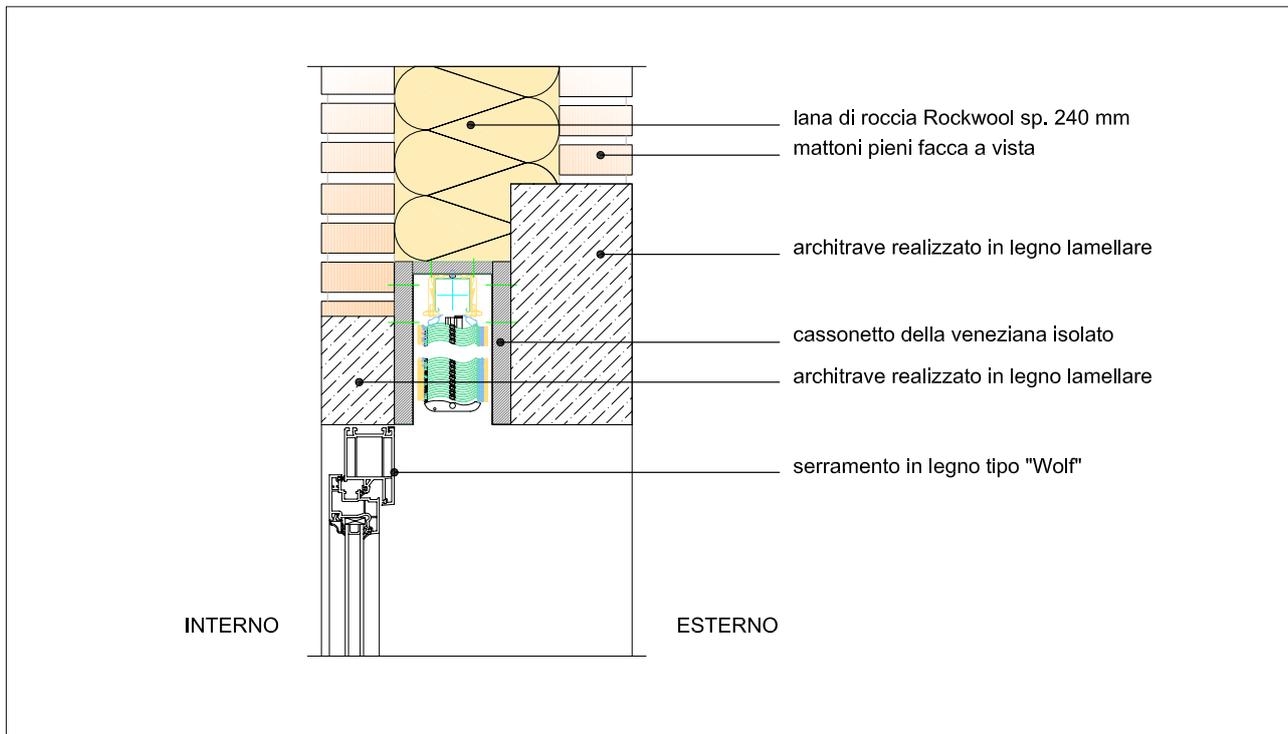
Alcune caratteristiche ideali di un elemento ombreggiante:

- collocazione esterna: è la posizione migliore, consente di raggiungere la massima efficienza. Se fosse posizionato all'interno l'effetto schermante sarebbe nullo, perchè la luce che lo investe, a valle del vetro, si è già trasformata in calore;
- adattabilità dell'elemento all'angolo di incidenza solare;
- durabilità nel tempo e resistenza alle intemperie.



Casa di Cherasco: dettaglio serramenti e vetri

Per l'impermeabilità all'aria dell'involucro rivestono particolare importanza gli eventuali cassonetti d'alloggiamento delle tapparelle che dovranno essere ben isolati ed ermetici.



Casa di Cherasco: dettaglio serramenti e vetri



Dettaglio della veneziana: posizione alette semichiusate



Dettaglio della veneziana: posizione alette chiuse

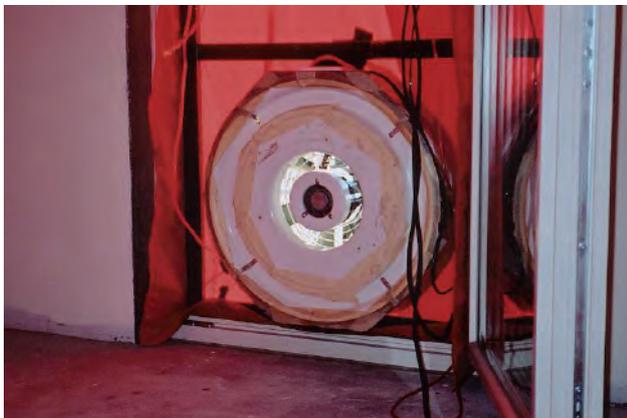
Tipi di vetrate – geometria e caratteristiche termiche

VETRATA			TIPI DI GAS NELL'INTERCAPEDINE (CONCENTRAZIONE DEL GAS $\geq 90\%$) U-value [W/m^2K]			
TIPO	VETRO	EMISSIVITÀ NORMALE	DIMENSIONI [mm]	ARIA	ARGON	KRYPTON
Doppie vetrate	Vetri senza trattamento superficiale	0.89	4-06-2004	3.3	3.0	2.8
			4-09-2004	3.0	2.8	2.6
			4-12-2004	2.9	2.7	2.6
			4-15-4	2.7	2.6	2.6
			4-20-4	2.7	2.6	2.6
	Una lastra con trattamento superficiale	≤ 0.4	4-06-2004	2.9	2.6	2.2
			4-09-2004	2.6	2.3	2.0
			4-12-2004	2.4	2.1	2.0
			4-15-4	2.2	2.0	2.0
			4-20-4	2.2	2.0	2.0
	Una lastra con trattamento superficiale	≤ 0.2	4-06-2004	2.7	2.3	1.9
			4-09-2004	2.3	2.0	1.6
			4-12-2004	1.9	1.7	1.5
			4-15-4	1.8	1.6	1.6
			4-20-4	1.8	1.7	1.6
	Una lastra con trattamento superficiale	≤ 0.1	4-06-2004	2.6	2.2	1.7
			4-09-2004	2.1	1.7	1.3
			4-12-2004	1.8	1.5	1.3
			4-15-4	1.6	1.4	1.3
			4-20-4	1.6	1.4	1.3
Una lastra con trattamento superficiale	≤ 0.05	4-06-2004	2.5	2.1	1.5	
		4-09-2004	2.0	1.6	1.3	
		4-12-2004	1.7	1.3	1.1	
		4-15-4	1.5	1.2	1.1	
		4-20-4	1.5	1.2	1.2	

VETRATA			TIPI DI GAS NELL'INTERCAPEDINE (CONCENTRAZIONE DEL GAS ≥ 90%) U-value [W/m²K]			
TIPO	VETRO	EMISSIVITÀ NORMALE	DIMENSIONI [mm]	ARIA	ARGON	KRYPTON
Triple vetrate	Vetri senza trattamento superficiale	0.89	4-6-4-6-4	2.3	2.1	1.8
			4-9-4-9-4	2.0	1.9	1.7
			4-12-4-12-4	1.9	1.8	1.6
	Due lastre con trattamento superficiale	≤ 0.4	4-6-4-6-4	2.0	1.7	1.4
			4-9-4-9-4	1.7	1.5	1.2
			4-12-4-12-4	1.5	1.3	1.1
	Due lastre con trattamento superficiale	≤ 0.2	4-6-4-6-4	1.8	1.5	1.1
			4-9-4-9-4	1.4	1.2	0.9
			4-12-4-12-4	1.2	1.0	0.8
	Due lastre con trattamento superficiale	≤ 0.1	4-6-4-6-4	1.7	1.3	1.0
			4-9-4-9-4	1.3	1.0	0.8
			4-12-4-12-4	1.1	0.9	0.6
Due lastre con trattamento superficiale	≤ 0.05	4-6-4-6-4	1.6	1.3	0.9	
		4-9-4-9-4	1.2	0.9	0.7	
		4-12-4-12-4	1.0	0.8	0.5	

(VI) L'impermeabilità all'aria dell'involucro

Una componente fondamentale per la riuscita di un edificio passivo è l'assenza di infiltrazioni d'aria nell'involucro: basta qualche infiltrazione o giunti non correttamente eseguiti o piccole lacerazione alla barriera vapore per causare perdite che possono raggiungere anche i 1000 kWh/anno. L'impermeabilizzazione dell'involucro può essere ottenuta attraverso l'utilizzo di teli in polietilene posizionati sul lato interno dell'involucro con particolare attenzione alla loro sovrapposizione. Controlli accurati devono essere posti nei collegamenti tra muratura perimetrale e serramenti, e in generale in tutti quegli elementi che attraversano l'involucro (eventuali tubazioni, scale di derivazione ecc.).

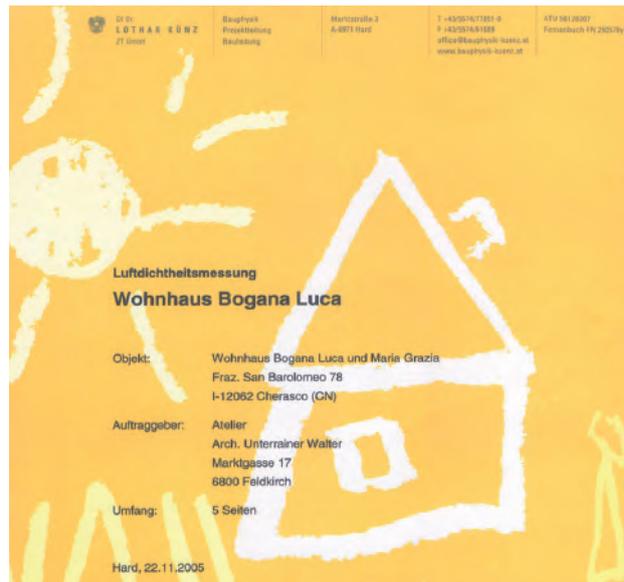


Il “Blower door test” consente di valutare l'impermeabilità dell'involucro di un edificio. Il test viene eseguito utilizzando un ventilatore che espelle all'esterno l'aria interna dell'edificio sino ad arrivare ad una pressione differenziale di 50 Pa tra interno ed esterno dell'edificio. Successivamente con apposite apparecchiature si misura il volume d'aria che affluisce all'interno dell'edificio attraverso l'involucro. Il numero di ricambi orari in tali condizioni di gradiente pressorio è appunto indicato con il simbolo n_{50} ; per lo standard di casa passiva è richiesto $n_{50} \leq 0,6 \text{ h}^{-1}$.

Casa di Cherasco: prova di tenuta serramenti e certificazione



Monitoraggio tenuta serramenti durante il Blower door test.



La casa di Cherasco ha ottenuto la certificazione secondo il Passivhaus standard

Misurazione della tenuta all'aria di edifici (Minneapolis Blower Door)

Principio di misurazione

Come accennato per la misurazione della permeabilità all'aria di un'abitazione o di un edificio, viene installato ermeticamente un ventilatore nell'apertura di una porta esterna o di una finestra. Con il ventilatore in funzione, porte esterne e finestre chiuse, viene prodotta una differenza di pressione (depressione e sovra-pressione) rispetto all'atmosfera esterna.

Il valore della differenza di pressione (da 10 a 60 Pascal circa) può essere impostato mediante il numero di giri del ventilatore. Il flusso d'aria generato dalla differenza di pressione impostata viene definito come portata volumetrica della permeabilità all'aria. La portata volumetrica valutata in presenza di una differenza tra la sovra-pressione e la depressione pari a 50 Pascal fornisce il valore caratteristico della permeabilità all'aria.

A cosa corrispondono 50 Pascal?

Il Pascal è un'unità di pressione. Viene ottenuto 1 Pascal quando su una superficie di 1 m² agisce una forza di 1 N. Quindi 50 Pascal corrispondono a 50 N. 50 Pascal misura la pressione dinamica al centro di una parete soggetta all'azione perpendicolare del vento ad una velocità di 9 m/s.

Permeabilità all'aria n_{50} in base al volume

Dividendo la portata volumetrica della permeabilità all'aria V_{50} per il volume interno V_L dell'edificio in esame (abitazione), si ottiene la permeabilità all'aria n_{50} in base al volume. La permeabilità all'aria in base al volume permette la determinazione della tenuta di un edificio o di un'abitazione.

Istruzioni per la determinazione della tenuta all'aria n_{50} in base al volume

- $n_{50} < 0,6$ l/h **Ottima tenuta all'aria dell'involucro dell'edificio:**
L'edificio o l'abitazione soddisfa i requisiti di tenuta all'aria imposti dalla normativa sulle case passive.
- $n_{50} < 1,0$ l/h **Tenuta all'aria molto elevata dell'involucro dell'edificio:**
L'edificio o l'abitazione rispetta le prescrizioni della Direttiva DIN V 4108-7 per l'impiego di impianti di aerazioni meccanici. Questo valore di tenuta deve essere ottenuto, con ventilazione attraverso la finestra, anche per gli edifici a basso consumo energetico e gli edifici esposti al vento. In caso di ventilazione attraverso la finestra, è necessario assicurare una sufficiente aerazione dell'ambiente.
- $1,0$ l/h $< n_{50} < 2,0$ l/h **Tenuta all'aria medio - alta dell'involucro dell'edificio**
L'edificio o l'abitazione rispetta le prescrizioni della Direttiva DIN V 4108-7 per l'aerazione naturale, ad esempio attraverso le finestre. In caso di impiego di impianti di aerazione meccanici, secondo questa direttiva non deve essere superata una permeabilità all'aria n_{50} in base al volume di 1,0 all'ora.
- $2,0$ l/h $< n_{50} < 4,0$ l/h **Tenuta all'aria medio - bassa dell'involucro dell'edificio**
Le perdite di entità medio - elevate citate nel verbale di collaudo devono essere sigillate. Secondo la Direttiva DIN V 4108-7 per l'aerazione naturale, ad esempio attraverso le finestre, non deve essere superata una tenuta all'aria n_{50} in base al volume di 3,0 all'ora.
- $4,0$ l/h $< n_{50}$ **Tenuta all'aria insufficiente dell'involucro dell'edificio:**
Si consiglia un'urgente risigillatura completa dell'edificio.

Protocollo di misurazione Blower Door, Base di calcolo ISO 9972, Minneapolis Blower Door Modello 3.

3 La risposta estiva della casa di Cherasco: analisi degli sfasamenti dell'onda termica.

Riprendiamo concetti introdotti al paragrafo 3.2 del capitolo 1, per applicarli ora alla casa di Cherasco. Ci proponiamo di valutare il comportamento estivo dell'edificio in regime non stazionario^(*).

Obiettivo della progettazione estiva è la determinazione della tipologia dell'involucro dell'edificio che consenta di mantenere all'interno, in assenza di impianto di climatizzazione, certe volute condizioni di temperatura. Il problema è risolto dallo standard nazionale UNI 10375 del 1993^(**).

Sono stati calcolati i coefficienti di attenuazione e sfasamento della pareti perimetrali della casa di Cherasco. Gli algoritmi utilizzati sono quelli forniti in appendice A della norma UNI 10375. Le pareti presentano un coefficiente di attenuazione di 0.2232 e uno sfasamento di 12h 35'.

Consideriamo per esempio la risposta della parete Nord (pagina successiva): il picco dell'onda termica pomeridiana si verifica alle ore 15 con 29 °C e quindi inizia ad interessare l'interno dell'edificio alle ore 3 e 30 del mattino (da tabella e grafico si nota che la massima temperatura superficiale sul lato interno della parete si verifica tra le ore 3 e le ore 4).

Un metodo semplificato consente di valutare anche il rischio di surriscaldamento estivo. La procedura si basa sul confronto del parametro A_{eq}/V dell'ambiente (rapporto tra l'area soleggiata equivalente e il volume interno) con un valore massimo ammissibile $A_{eq,max}/V$. Se tale verifica risulta positiva significa che le caratteristiche costruttive sono tali da rispettare certi vincoli, definiti dal parametro A_{eq}/V , e che quindi la temperatura interna dei locali si mantiene entro limiti accettabili per il comfort estivo.

Sfasamento e attenuazione sono due parametri fondamentali della dinamica estiva e che possono essere sfruttati nel raffrescamento. Dal punto di vista costruttivo estrema importanza rivestono le superfici finestrate, la loro dimensione ed esposizione, la collocazione dei dispositivi di ombreggiamento, la ventilazione ecc...

^(*) Si veda l'approfondimento al capitolo 1

^(**) La norma UNI 10375 definisce temperatura di riferimento per il calcolo del benessere ambientale la media tra la temperatura dell'aria interna e la temperatura media superficiale interna.

È quindi possibile intervenire sulla stratigrafia della parete per “programmare” l’entrata all’interno dell’edificio dell’onda termica più calda all’ora desiderata.

Nella tabella vengono riportati i coefficienti di attenuazione e sfasamento per pareti verticali, fonte: UNI 10375.

U [W/m ² K]	m [kg/m ²]											
	150		200		250		300		350		400	
	f _a	φ	f _a	φ	f _a	φ	f _a	φ	f _a	φ	f _a	φ
< 0.4	0.45	6	0.35	8	0.25	10	0.15	12	0.10	14	0.07	16
0.4 – 0.6	0.48	6	0.40	8	0.30	9	0.20	10	0.15	12	0.12	14
0.6 – 0.8	0.54	6	0.46	8	0.35	9	0.27	10	0.20	12	0.14	14
> 0.8	0.60	6	0.50	8	0.43	8	0.27	10	0.20	12	0.14	14

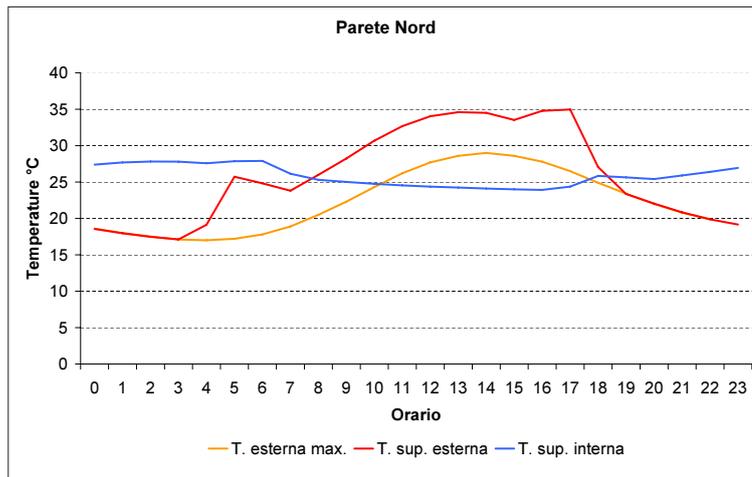
U è la trasmittanza termica della parete; m è la massa fisica areica della parete.

Altri standard per lo studio della dinamica estiva sono:

UNI EN ISO 13791	Prestazione termica degli edifici – Calcolo della temperatura interna estiva di un locale in assenza di climatizzazione – Criteri generali e procedure di validazione
UNI EN ISO 13792	Prestazione termica degli edifici – Calcolo della temperatura interna estiva di un locale in assenza di climatizzazione – Metodi semplificati

Parete Nord

Orario	T. esterna max	Irraggiamento	T. sup. esterna	T. sup. interna
0	18,6	0	18,56	27,39
1	18	0	17,96	27,69
2	17,5	0	17,48	27,82
3	17,1	0	17,12	27,8
4	17	0	19,13	27,58
5	17,2	48	25,73	27,86
6	17,8	191	24,82	27,9
7	18,9	157	23,81	26,14
8	20,5	110	25,99	25,31
9	22,3	124	28,24	25,02
10	24,3	134	30,68	24,75
11	26,2	143	32,68	24,54
12	27,7	145	34,04	24,37
13	28,6	143	34,6	24,24
14	29	134	34,51	24,11
15	28,6	124	33,53	24
16	27,8	110	34,78	23,92
17	26,5	157	34,97	24,37
18	24,9	191	27,05	25,84
19	23,4	48	23,36	25,64
20	22	0	22,04	25,41
21	20,8	0	20,84	25,9
22	19,9	0	19,88	26,4
23	19,2	0	19,16	26,94

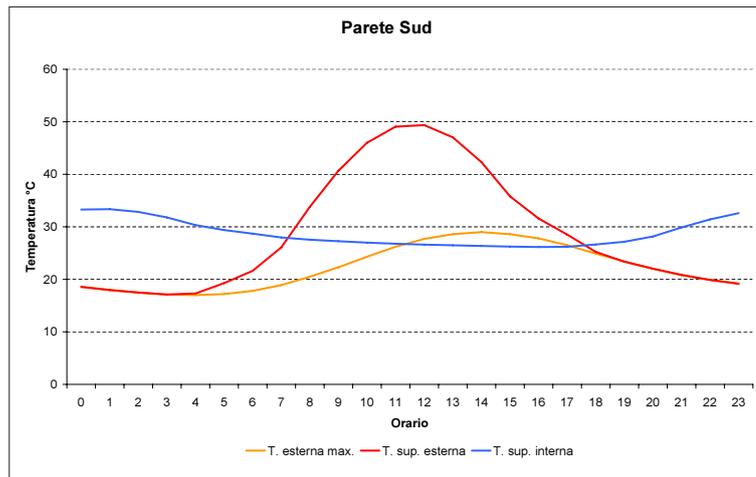


Massa frontale 253,6 kg/m²
 coeff. Attenuazione 0,2232
 Sfasamento 12h 35'
 Colore sup. esterna Medio

Nelle pagine successive sono stati calcolati i coefficienti di sfasamento e attenuazione per le pareti esposte sui lati sud, est ed ovest.

Parete Sud

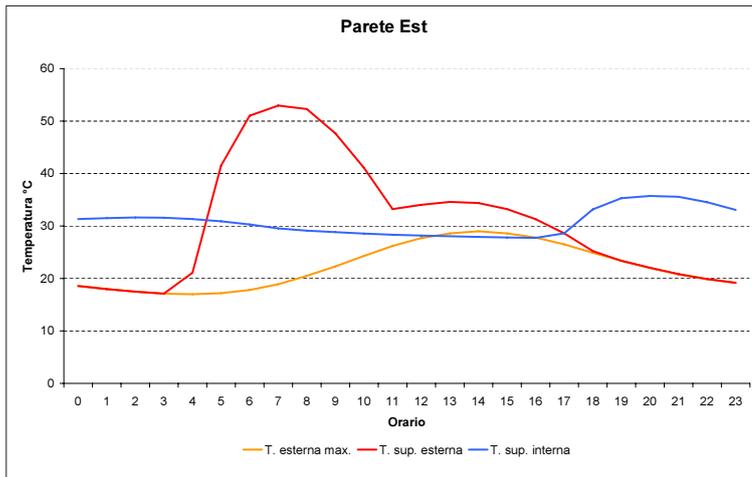
Orario	T. esterna max	Irraggiamento	T. sup. esterna	T. sup. interna
0	18,6	0	18,56	33,29
1	18	0	17,96	33,36
2	17,5	0	17,48	32,84
3	17,1	0	17,12	31,79
4	17	0	17,31	30,33
5	17,2	7	19,28	29,39
6	17,8	46	21,62	28,7
7	18,9	85	26,08	27,97
8	20,5	161	33,81	27,55
9	22,3	300	40,68	27,26
10	24,3	414	46,01	26,99
11	26,2	488	49,08	26,78
12	27,7	514	49,37	26,61
13	28,6	488	47,04	26,48
14	29	414	42,33	26,35
15	28,6	300	35,8	26,24
16	27,8	161	31,58	26,16
17	26,5	85	28,52	26,2
18	24,9	46	25,23	26,64
19	23,4	7	23,36	27,16
20	22	0	22,04	28,16
21	20,8	0	20,84	29,88
22	19,9	0	19,88	31,42
23	19,2	0	19,16	32,61



Massa frontale $253,6 \text{ kg/m}^2$
 coeff. Attenuazione $0,2232$
 Sfasamento $12\text{h } 35'$
 Colore sup. esterna Medio

Parete Est

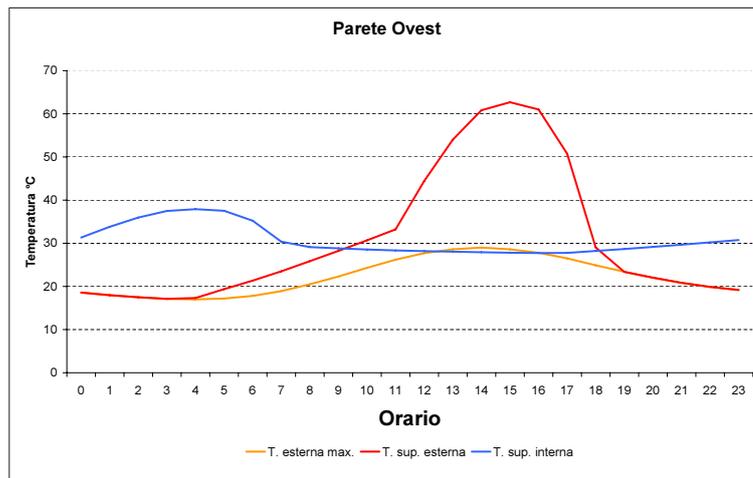
Orario	T. esterna max	Irraggiamento	T. sup. esterna	T. sup. interna
0	18,6	0	18,56	31,32
1	18	0	17,96	31,5
2	17,5	0	17,48	31,63
3	17,1	0	17,12	31,58
4	17	0	21,09	31,32
5	17,2	92	41,51	30,9
6	17,8	546	51,04	30,29
7	18,9	747	52,96	29,54
8	20,5	766	52,3	29,12
9	22,3	716	47,66	28,83
10	24,3	571	41,08	28,56
11	26,2	377	33,22	28,34
12	27,7	157	34,04	28,18
13	28,6	143	34,6	28,05
14	29	134	34,38	27,92
15	28,6	121	33,22	27,81
16	27,8	103	31,31	27,73
17	26,5	79	28,61	28,61
18	24,9	48	25,23	33,17
19	23,4	7	23,36	35,3
20	22	0	22,04	35,73
21	20,8	0	20,84	35,58
22	19,9	0	19,88	34,54
23	19,2	0	19,16	33,07



Massa frontale 253,6 kg/m²
 coeff. Attenuazione 0,2232
 Sfasamento 12h 35'
 Colore sup. esterna Medio

Parete Ovest

Orario	T. esterna max	Irraggiamento	T. sup. esterna	T. sup. interna
0	18,6	0	18,56	31,32
1	18	0	17,96	33,82
2	17,5	0	17,48	35,96
3	17,1	0	17,12	37,48
4	17	0	17,31	37,9
5	17,2	7	19,37	37,52
6	17,8	48	21,35	35,23
7	18,9	79	23,5	30,38
8	20,5	103	25,86	29,12
9	22,3	121	28,24	28,83
10	24,3	134	30,68	28,56
11	26,2	143	33,22	28,34
12	27,7	157	44,44	28,18
13	28,6	377	54,02	28,05
14	29	571	60,82	27,92
15	28,6	716	62,68	27,81
16	27,8	766	61	27,73
17	26,5	747	50,75	27,77
18	24,9	546	29,01	28,23
19	23,4	92	23,36	28,67
20	22	0	22,04	29,15
21	20,8	0	20,84	29,68
22	19,9	0	19,88	30,21
23	19,2	0	19,16	30,75



Massa frontale **253,6 kg/m²**
 coeff. Attenuazione **0,2232**
 Sfasamento **12h 35'**
 Colore sup. esterna **Medio**

Il software TRNSYS

TRNSYS è un programma modulare di simulazione per sistemi in regime variabile, da cui il nome, acronimo di “TRAnNsient SYstem Sy-mulation”.

Sviluppato fin dal 1975 dal Solar Energy Laboratory dell'Università del Wisconsin – Madison, si compone di sette programmi di utility e di un certo numero di componenti (subroutine), denominate TYPE, ciascuna delle quali consente la simulazione di un determinato apparecchio o macchina presente nell'edificio-impianto:

la modellizzazione dell'edificio è basata sul concetto di funzione di trasferimento, che lega una sollecitazione $H(\tau)$, applicata ad un sistema $O(\tau)$, secondo la relazione:

$$O(\tau) = D * H(\tau)$$

essendo “*” una particolare convoluzione.

Il programma viene fornito con una libreria standard di componenti (TYPE), comprendente gli apparecchi di più comune utilizzo nel settore impiantistico, naturalmente è possibile creare nuove componenti scrivendone il relativo codice in linguaggio FORTRAN, oppure inserire le componenti aggiuntive eventualmente disponibili.

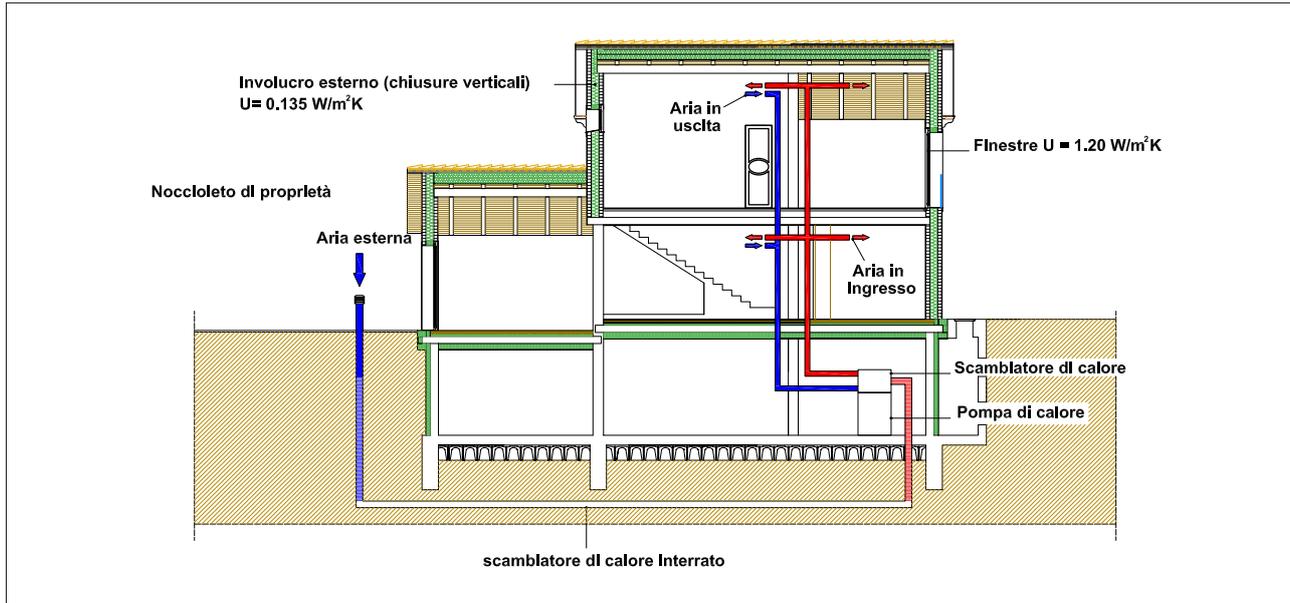
Capitolo 3. Alcuni aspetti specifici della progettazione e realizzazione della casa passiva di Cherasco.

I Gli impianti

I.1 La ventilazione e il riscaldamento

In un edificio convenzionale il ricambio d'aria avviene attraverso una periodica apertura delle finestre: ciò comporta grosse perdite di calore che un edificio passivo non può permettersi. In un edificio passivo il ricambio d'aria avviene tramite un sistema di ventilazione meccanica controllata che provvede il necessario ricambio anche in assenza di persone. L'apparato di ventilazione è costituito da un doppio sistema di canalizzazioni: una in entrata, che prende l'aria dall'ambiente esterno, la filtra per togliere eventuali impurità, la convoglia in apposite apparecchiature che provvedono al suo trattamento alla temperatura voluta e infine la immettono nell'ambiente interno; un secondo sistema prende l'aria viziata interna e la espelle dall'edificio. Prima di essere espulsa, l'aria viziata, ancora calda, passa attraverso uno scambiatore ad elevato rendimento, ne recupera gran parte del calore e lo cede all'aria in entrata. Nel caso si utilizzi una pompa di calore aria-aria, il sistema di ventilazione è integrato direttamente con essa; quindi oltre a garantire i necessari ricambi d'aria utilizza l'aria come fluido termovettore per provvedere sia al riscaldamento invernale che al raffrescamento estivo degli ambienti.

La Casa di Cherasco:



L'aria presa dall'esterno ad una temperatura inferiore a zero °C può portare alla formazione di ghiaccio o condensa all'interno del recuperatore di calore e al filtro; una soluzione per evitare tale inconveniente consiste nel realizzare una condotta di aspirazione più lunga utilizzando un singolo tubo interrato. Lo scopo di questo allungamento dello scambiatore è di garantire la temperatura minima dell'aria d'immissione t_{Aimm} unicamente attraverso il guadagno termico $\Delta_{\text{scam,geo}}$ della condotta di aspirazione dello scambiatore geotermico. La

presa d'aria deve essere posizionata in modo da evitare l'aspirazione di odori e sostanze nocive; l'ingresso deve inoltre essere protetto da una griglia per evitare l'ingresso di corpi estranei. Le tubazioni vanno posate con una pendenza indicativamente compresa fra l'1.5% e il 5% verso il punto di entrata nell'edificio dove va previsto uno scarico per l'eventuale acqua di condensa che si forma nelle tubazioni. I flussi d'aria in entrata e in uscita devono avere percorsi lineari; l'immissione deve avvenire nei cosiddetti locali "nobili" dell'edificio (soggiorno, camera da letto, studio ecc...), il flusso deve passare attraverso i locali intermedi (corridoi) per giungere nelle zone che notoriamente presentano un particolare inquinamento ambientale (cucina, bagno ecc...). Questo sistema di distribuzione evita che gli odori della cucina e del bagno si diffondano in tutto l'edificio. Per esigenze igieniche e di pulizia, il sistema di condotte d'aria deve essere il più breve possibile, presentare poche tortuosità, deve essere ispezionabile e in materiale facilmente lavabile.

Il recupero del calore deve avere rendimento (secondo EN 308): $\eta_t > 70\%$

Il rendimento di temperatura può essere stimato nel modo seguente:

$$\eta_t = 0.5 \times [(t_{A\text{ asp}} - t_{A\text{ esp}}) + (t_{A\text{ imm}} - t_{A\text{ E}})] / (t_{A\text{ asp}} - t_{A\text{ E}}) \text{ in cui:}$$

$t_{A\text{ asp}}$ è la temperatura dell'aria viziata aspirata dai locali;

$t_{A\text{ S}}$ la temperatura dell'aria di espulsione;

$t_{A\text{ imm}}$ la temperatura dell'aria d'immissione;

$t_{A\text{ E}}$ la temperatura sul punto di raccordo dell'aria esterna.

Le bocchette di estrazione sono igroregolabili, cioè variano la portata di ricambio d'aria in funzione dell'umidità presente nei locali in cui sono installate. Questa tecnica elimina i rischi di condensa e muffa e quindi assicura la migliore conservazione delle pareti e degli arredi della casa, nonché l'igiene ed il comfort degli occupanti.

Le bocchette di estrazione suddividono inoltre la portata totale d'aria di rinnovo in quantità proporzionale al fabbisogno di ogni locale. La portata d'aria non è quindi distribuita in modo omogeneo tra le stanze principali, ma suddivisa in funzione del numero di occupanti della stanza e del tipo di attività.

La casa di Cherasco: fasi realizzative dell'impianto di ventilazione controllata.



Cavedi (piano terra) con condotte dell'aria proveniente dalla pompa di calore posta al piano interrato.



Condotte posate sulla soletta del primo piano (nella foto si distinguono i silenziatori).

1.2 L'“aggregato compatto” aria-aria.

Nell'edificio di Cherasco la ventilazione meccanica controllata è gestita da un aggregato compatto tipo “Aerosmart L”.

Un aggregato compatto è un'apparecchiatura che contiene una mini-pompa di calore, un recuperatore di calore, un serbatoio per l'acqua e i ventilatori necessari alla circolazione dell'aria.

Come già detto, in base alla sorgente fredda e al pozzo caldo utilizzato, le pompe di calore possono essere: aria - acqua, terra - acqua, acqua - acqua, aria - aria, acqua - aria.

L'aria ha il vantaggio di essere disponibile ovunque e di non necessitare di autorizzazioni per il prelievo, contrariamente all'esecuzione di uno scambiatore nel terreno, di un pozzo di presa d'acqua di falda o di una presa d'acqua di lago (entrambi i casi necessitano di autorizzazione da parte dell'Autorità competente, che viene di norma concessa, a meno che non si verifichi un conflitto per zone di protezione delle acque, di riserve o captazioni idriche).

Ricordiamo (cap. 1 e 2) che le prestazioni di una pompa di calore variano sensibilmente in funzione delle temperature di sorgente fredda e pozzo caldo. In particolare, più queste temperature sono vicine migliori sono le prestazioni, sia in termini di potenza fornita che in termini di COP (rapporto tra energia termica fornita ed energia elettrica assorbita); per questo motivo è consigliabile adottare sistemi di distribuzione del calore funzionanti a temperatura più bassa possibile.

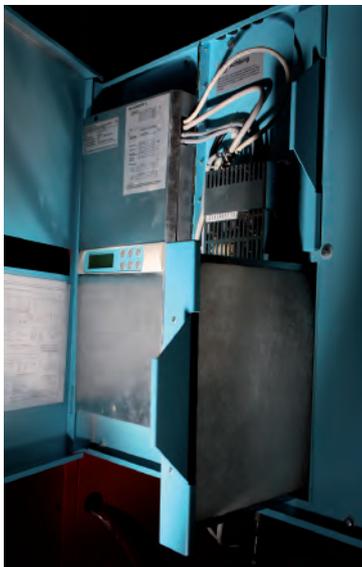
Nel caso di Cherasco la pompa aria-aria lavora sull'aria viziata estratta dai locali, che può cedere importanti quantità di calore, permettendo alla pompa di lavorare con ottime prestazioni durante tutto l'anno. In queste unità sono integrabili scambiatori di recupero diretto del calore, sistemi per la regolazione del ricambio automatico dell'aria in caso di afflusso di persone, nonché dispositivi di trattamento dell'umidità.

Si adottano spesso serpentine annegate nel pavimento o corpi riscaldanti previsti per funzionare a temperature massime di 45-50°C. Comunque, nelle abitazioni moderne e indipendentemente dall'uso di pompe di calore, la tendenza è di abbassare la temperatura del circuito di distribuzione in modo da aumentare il comfort termico delle persone.

La mini-pompa di calore è in grado di coprire, attraverso l'aerazione, il 32% (Cfr. tabella di pag 114) circa del fabbisogno massimo del carico di riscaldamento. Calcoli differenziati a zone hanno evidenziato che il restante fabbisogno di riscaldamento ammonta a valori

compresi tra 150 e 250 W nelle stanze situate al primo piano, mentre nello studiolo al piano terra a ca. 750 W. Questi carichi possono essere eventualmente soddisfatti con apparecchi di riscaldamento a resistenza elettrica, anche se fino ad ora non è stato necessario. Un utilizzo controllato di questi sistemi, per esempio tre volte al giorno per mezz'ora, attraverso un tasto di avvio e un timer di spegnimento, porterebbe ad un consumo elettrico di ca. 250-350 kWh/a per bagno.

Un modulo della piattaforma software Trnsys (si veda Cap. 2) permette di simulare il comportamento della pompa di calore, tramite il collegamento ad una tabella di prestazioni fornita dal costruttore della macchina; si riesce così a prevedere esattamente il comportamento del sistema che sarà installato.



Aerosmart. L

Portata d'aria	205m ³ /h
Portata d'aria minima	180m ³ /h
Potenza per riscaldamento	1700 W
Potenza resa	475 W
Potenza resa tc 50°C	620 W

Gas R 134°	
Bollitore	150 lt
Peso	220 kg
Corrente	230 V/50 Hz

1.2.1 Caratteristiche di “Aerosmart L”

L'aggregato compatto Aerosmart L è stato studiato appositamente per ville singole e a schiera ed è costituito da un modulo di ventilazione a recupero di calore, da una pompa di calore per il riscaldamento dell'acqua e dell'aria, e da un serbatoio per l'acqua.

Ventilatori

I dispositivi di aerazione sono provvisti di ventilatori a corrente continua e portata costante.

Recupero del calore

Per il recupero di calore dall'aria esausta viene utilizzato uno scambiatore di calore a piastre a controcorrente incrociata. Le lamelle dello scambiatore sono in alluminio con uno spessore di 0,1 mm. Anche l'involucro è in alluminio.

Pompa di calore

La pompa di calore ha la funzione di riscaldare l'acqua e l'aria di alimentazione. Il riscaldamento dell'acqua ha la precedenza; il condensatore ad aria viene messo in funzione in caso di necessità mediante una valvola elettromagnetica. Anche il gas di riscaldamento viene introdotto nel sistema di riscaldamento dell'aria mediante il condensatore ad acqua, rendendo così possibile il massimo sfruttamento del raffreddamento del gas di riscaldamento. Refrigerante utilizzato R134a.

Serbatoio dell'acqua

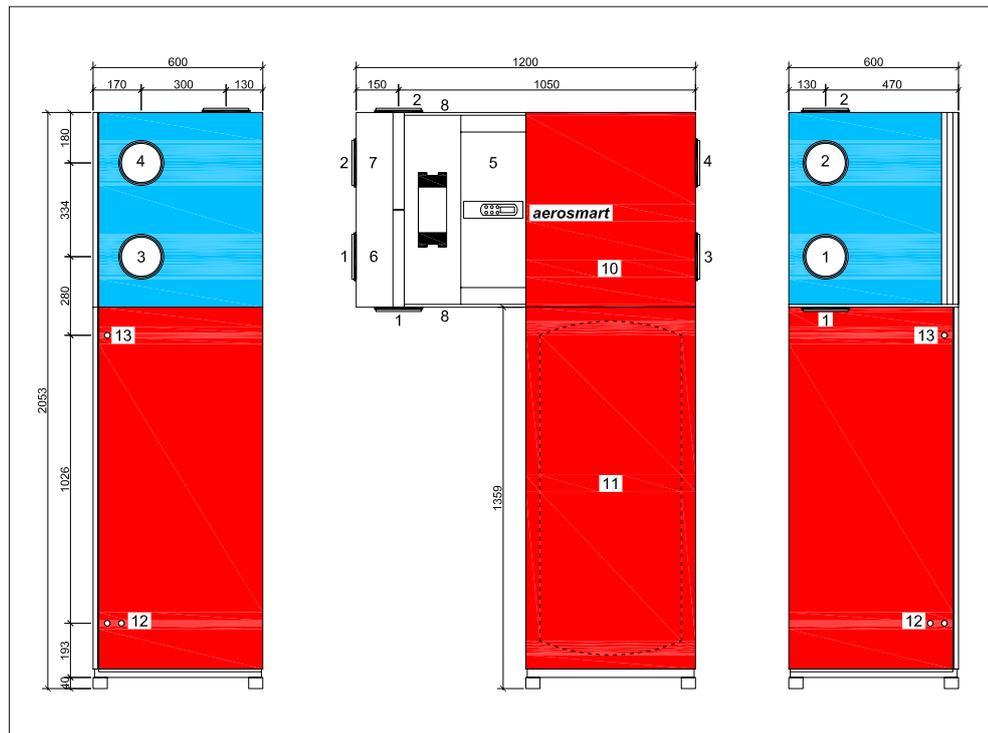
Il serbatoio dell'acqua è un contenitore in acciaio con doppia smaltatura, della capacità di 200 litri. Un ottimo isolamento consente di ridurre al minimo le perdite di calore. La trasmissione di calore dalla pompa avviene mediante un condensatore di sicurezza a doppia parete. Inoltre è installato un anodo test rapido. Opzionalmente è possibile l'installazione di un termoforo elettrico da 2 kW, che può essere montato anche successivamente.

Vasca di raccolta della condensa

La condensa che si viene a formare nello scambiatore e nella pompa di calore viene raccolta in una vasca apposita e scaricata mediante un tubo flessibile.

Filtro

Immediatamente dopo la presa dell'aria nel tratto di scarico esterno sono alloggiati i filtri per la polvere di classe G4.



- 1 Aria esterna DN 160
- 2 Aria di scarico DN 160
- 3 Aria di smaltimento DN 160
- 4 Aria di alimentazione DN 160
- 5 Unità di comando
- 6 Filtro aria esterna
- 7 Filtro aria di scarico
- 8 Passaggio cavi elettrici
- 9 Scarico condensa
- 10 Modulo pompa di calore
- 11 Serbatoio acqua sanitaria
- 12 Passaggio acqua calda / fredda
- 13 Passaggio scarico condensa

Controllo e gestione

Il controllo e la gestione del monoblocco avviene mediante il microprocessore installato direttamente sull'apparecchiatura. Un termostato è collegato per la regolazione della temperatura ambiente nominale e per la misurazione della temperatura effettiva.

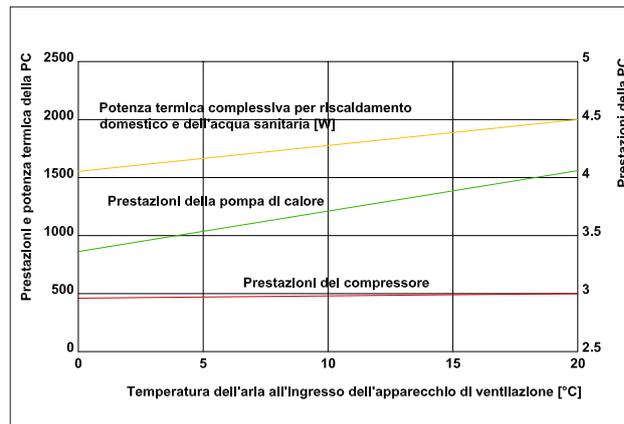
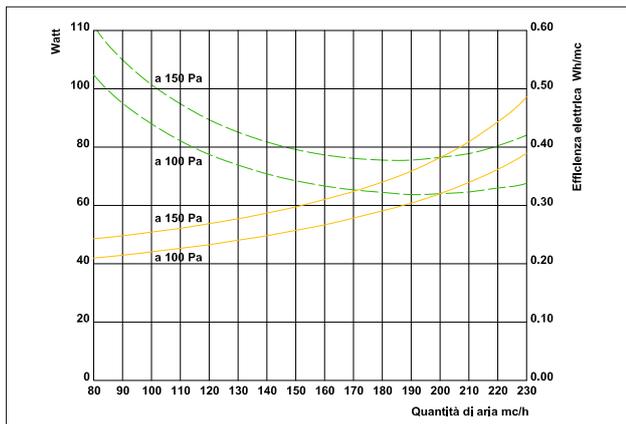
Caratteristiche tecniche di aerazione

Il diagramma a sinistra mostra la potenza assorbita e l'efficienza elettrica (linea tratteggiata) dei ventilatori, incluse le perdite nel processo di trasformazione in funzione della perdita di pressione esterna.

Caratteristiche della pompa di calore

Il diagramma a destra mostra la potenza termica, l'assorbimento di corrente e il valore della potenza della pompa di calore in funzione dell'aria esterna in ingresso (da uno scambiatore di calore interrato). Per l'aria di scarico sono valide le seguenti condizioni:

21 °C / 40% umidità relativa.



Silenziatore

Sul lato alimentazione aria (e scarico aria) dell'apparecchio è consigliabile installare i seguenti silenziatori:

Silenziatore primario (linea principale): Westersilent DN 160, lunghezza 1000 mm

Silenziatore a tubo (a linea singola): Quadrosilent DN 100, lunghezza 500 mm

Questo hardware è valido per perdite di pressione esterne di 100 Pa. In caso di perdite di pressione più elevate, la scelta del silenziatore deve essere commisurata.

Potenza termica complessiva e rapporto di potenza attiva

Il diagramma mostra la potenza termica complessiva, che comprende la potenza di recupero di calore, che diminuisce con l'aumentare della temperatura dell'aria esterna e la potenza della pompa di calore che aumenta di pari passo con la temperatura esterna. Mostra inoltre il rapporto di potenza attiva totale, risultante dalla potenza termica totale in rapporto alla corrente complessiva utilizzata per la pompa di calore, l'azionamento ausiliario e i ventilatori.

Collegamento acqua calda/fredda

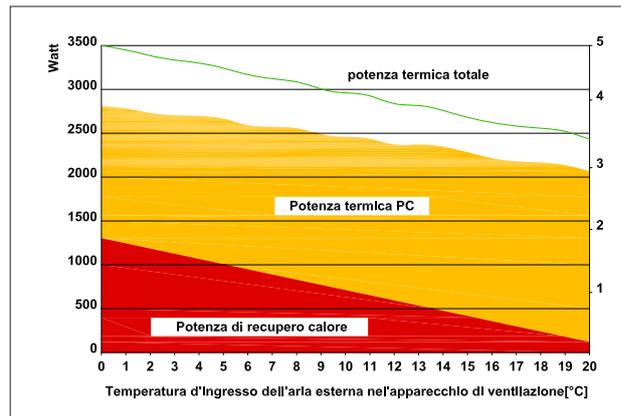
Per il collegamento di acqua calda e fredda sono disponibili due tubi flessibili armati con filetto esterno $\frac{3}{4}$ " nella parte inferiore del modulo della caldaia.

Collegamento condensa

Per il collegamento della condensa al sistema di scarico è previsto sul fondo del modulo della pompa di calore uno scarico mediante tubo flessibile con filetto esterno.

Collegamenti elettrici

I cavi di collegamento devono essere fatti passare attraverso l'apertura prevista per lo scopo, presente sul coperchio di revisione interno dell'apparecchio.

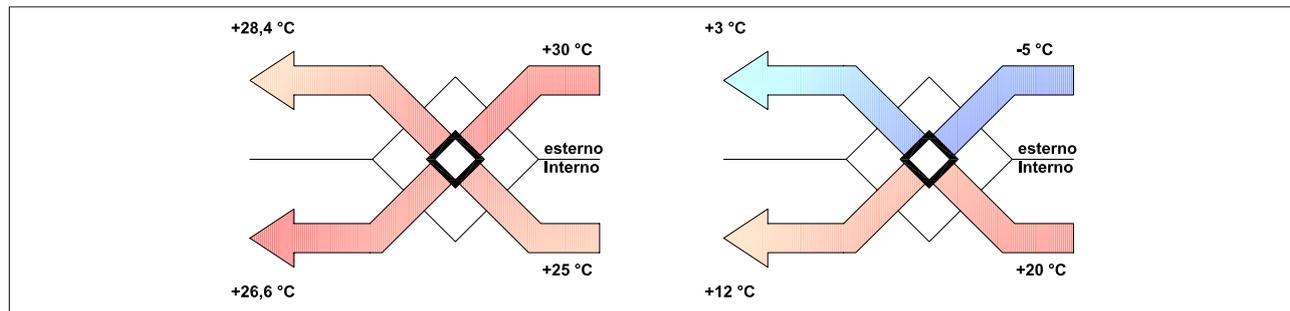


Caratteristiche tecniche di aerazione:

Alimentazione	230VAC / 50 Hz
Fusibile d'ingresso consigliato (cavo di rete 1)	16 A
Fusibile d'ingresso consigliato (cavo di rete 2)	12 A
Portata nominale aria	205 m ³ /h
Portata minima aria	180 m ³ /h
Portata massima aria a 100 Pa esternamente	230 m ³ /h
Livello medio di efficacia dello scambiatore di calore del modulo di aerazione	85–93%
Potenza massima assorbita dai ventilatori (totale)	100 W
Rapporto di potenza attiva dell'intero impianto (a AUL = +3 °C)	4,7
Potenza massima assorbita della pompa di calore (a tc = 50 °C)	550 W
Condizioni operative nominali a AUL +5 °C; ABL 21 °C; umidità relativa 40%	
Potenza assorbita dalla pompa	475 W
Potenza termica della pompa di calore	1695 W
Potenza massima assorbita dell'elemento radiante elettrico opzionale	2000 W
Livello di potenza sonora a portata nominale dell'aria e 100 Pa esternamente:	
Involucro	45 dB(A)
Grado di recupero del calore	
Conformemente a VDI 2071 a portata volumetrica nominale	85%

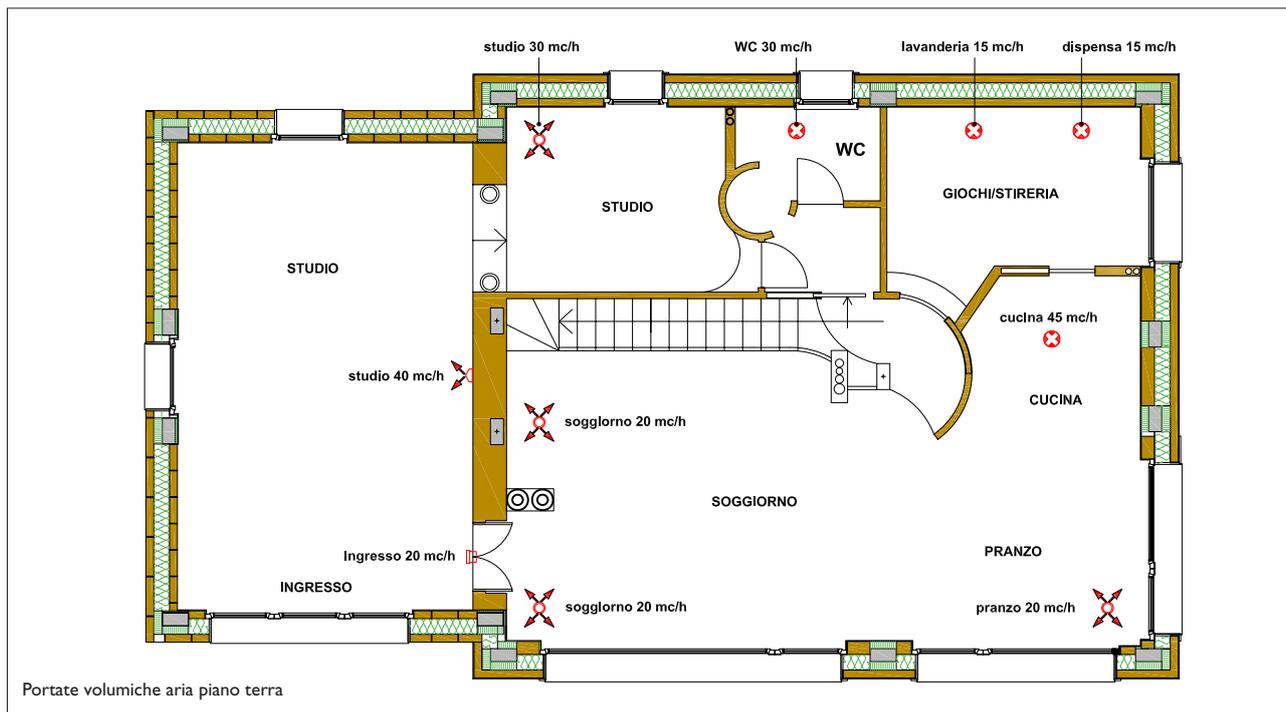
Indicativamente: caratteristiche tecniche di un generico scambiatore di calore.

3 velocità	massima	media	minima
Potenza assorbita W	120	85	65
Portata d'aria immessa m ³ /h	210	180	150
Portata d'aria espulsa m ³ /h	230	190	155
Efficienza di scambio della temperatura %	60	65	70
Pressione statica mm H ₂ O	6.5	4.8	2.0
Efficacia di scambio entalpico:			
Riscaldamento %	55	60	65
Raffreddamento %	45	50	55
Rumorosità dB (A)	44	39	35
Regolazione con telecomando			
Tensione di alimentazione: 230 V – 50 Hz			
Peso kg: 27.5			



1.2.2 Dimensionamento a zone dell'aerazione

Il volume di ricambio d'aria generato in tutto l'edificio è di $0,34 \text{ h}^{-1}$.



Calcolo delle portate volumiche dell'aria

Le portate di aria d'immissione e aspirazione vengono dapprima calcolate in modo separato per mezzo delle tabelle seguenti:

Portate minime dell'aria d'aspirazione (aria viziata)	più di 2 1/2 locali	fino a 2 1/2 locali compresi
aerazione base cucina/angolo cottura	40 m ³ /h	30 m ³ /h
bagno/doccia	40 m ³ /h	30 m ³ /h
WC	20 m ³ /h	20 m ³ /h
ripostiglio, guardaroba	ca. 10 m ³ /h	ca. 5 m ³ /h

Portate d'aria d'immissione minime:	
camere da letto e uffici	30 m ³ /h
soggiorno, in zona di sovra-pressione	nessuna immissione separata
soggiorno, al di fuori di zone di sovra-pressione	30 m ³ /h

Il valore totale più elevato è quello rilevante per il dimensionamento.

Il valore totale più basso, p.es. aspirazione, va aumentato in modo da ottenere lo stesso valore che si ha sul lato immissione. Se il valore calcolato sul lato "aspirazione dell'aria viziata" risulta essere il più piccolo, bisogna innanzitutto aumentare la portata dell'aspirazione dalla zona cucina e solo in un secondo tempo aumentare le portate di aspirazione negli altri locali.

Esempio:

Portata d'aria d'aspirazione minima secondo tabella: 100 m³/h (cucina 40 m³/h + bagno 40 m³/h + WC 20 m³/h = 100 m³/h)

Portata d'aria d'immissione minima secondo tabella: 120 m³/h (4 locali a 30 m³/h ognuno = 120 m³/h)

L'effettiva portata d'aspirazione scelta viene aumentata a 120 m³/h

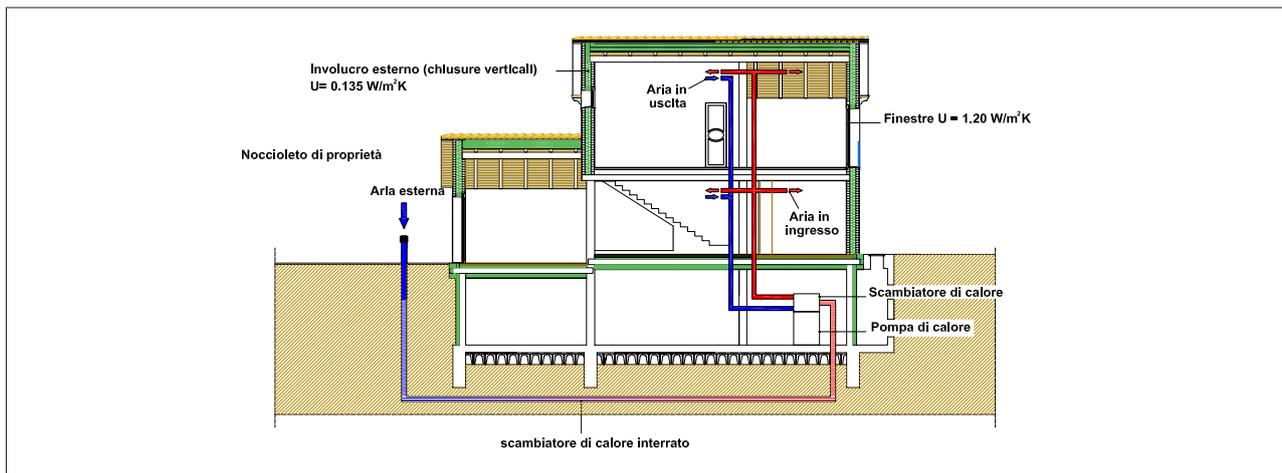
(cucina aumento a 60 m³/h + bagno 40 m³/h + WC 20 m³/h = 120 m³/h)

La portata d'aria d'immissione rimane invariata, determinata mediante la tabella.

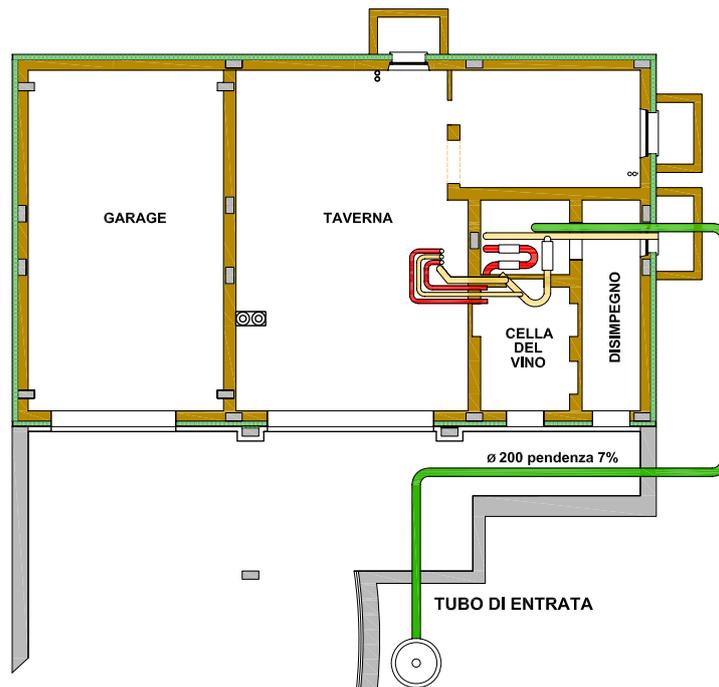
1.2.3 Lo scambiatore di calore interrato

L'aria presenta variazioni di temperatura notevoli durante l'inverno, per cui è proprio quando fa freddo che la pompa di calore rende di meno. Sovente, si preferisce aggiungere una sorgente d'appoggio, tipicamente una resistenza elettrica di bassa potenza, che alimenta la pompa di calore durante i giorni più freddi. La pompa di calore, quindi, non è da dimensionare per la massima richiesta di potenza termica, ma per potenza leggermente inferiore; ciò rende l'installazione anche più interessante dal punto di vista economico. Le poche ore di funzionamento della resistenza modificano in maniera minima il bilancio energetico annuale. Anche il funzionamento della pompa di calore ne trae giovamento, poiché funzionerà in modo ottimale per un numero maggiore di giorni.

Lo scambiatore di calore interrato consente di pre-trattare l'aria in ingresso alla pompa di calore reversibile, pre-riscaldandola in inverno o pre-raffreddandola in estate (figura).



Percorso dello scambiatore interrato:



Pianta piano terra

Lo scambiatore interrato può essere usato direttamente per il raffrescamento di un edificio (schema in figura): in tal caso in Santamouris (vedi bibliografia) viene riportato un modello semplificato di calcolo del carico estivo, che qui riassumiamo; può essere facilmente implementato su foglio elettronico.

Il carico istantaneo di raffrescamento per un impianto con scambiatore interrato può essere espresso nel modo seguente:

$$Q_c = [k (t_0 + T_i) + Q_T - Q_{BP}] \quad (1)$$

In cui:

Q_{BP} è il flusso dello scambiatore e k è il “coefficiente di scambio termico” dell’edificio:

$$k = \Sigma (U_i A_i) + m_a C n / 3600$$

con:

N : numero di componenti esterne dell’involucro dell’edificio;

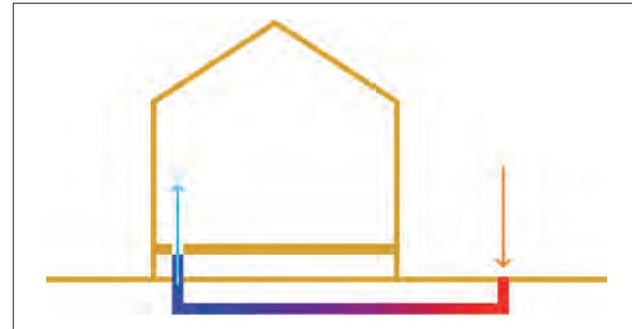
U_i : trasmittanza termica i-mo componente [W/m^2C];

A_i : superficie i-mo componente [m^2];

m_a : portata d’aria di ventilazione [kg/s];

C : calore specifico dell’aria [kJ/kgK];

n : numero di ricambi d’aria orari.



Inoltre:

$$T_{pb} = T_i - (Q_c - Q_{PB})/k \quad (2)$$

è la temperatura di equilibrio dell’edificio

Pertanto il carico di raffrescamento è:

$$Q_c = [k (T_0 - T_{pb})] \quad (3)$$

Il carico giornaliero (o mensile) di raffrescamento Q_{cbp} può essere ottenuto per integrazione della (3):

$$Q_{cbp} = 3600 k CDD(T_{pb})$$

$$CDD(T_{pb}): \text{gradi ora di raffrescamento} \quad (4)$$

$$CDD(T_{pb}) = \Sigma (T_0 - T_{pb}) S_i \quad (5)$$

$$\begin{aligned} S_j &= 1 & T_0 > T_{pb} \\ S_j &= 0 & T_0 < T_{pb} \end{aligned}$$

Per il calcolo del flusso Q_{bp} si può usare la seguente espressione:

$$Q_{bp} = mc \text{ DDBP}/t$$

in cui m e c sono rispettivamente portate d'aria e calore specifico aria; t è la durata in ore di funzionamento giornaliero e DDBP sono i gradi ore:

$$\text{DDBP} = \sum (T_0 - T_{bpx}) S_j$$

T_{bpx} : temperatura dell'aria in uscita dallo scambiatore interrato

$$S_j = 1 \text{ se } T_0 > T_{bpx} \text{ e } T_i > T_{bpx}$$

$$S_j = 0 \text{ se } T_0 < T_{bpx}$$

$$S_j = 0 \text{ se } T_0 > T_{bpx} \text{ e } T_i < T_{bpx}$$

I gradi ora per lo scambiatore interrato sono calcolati sull'intero arco temporale della giornata.

Questo semplice modello ha mostrato buon accordo con i risultati di simulazioni TRNSYS: da 1 a 8% di differenza su carichi di raffrescamento su base annuale; da 0 a 15% per carichi su base mensile.

Moduli software di TRNSYS (si veda il paragrafo 3.2.1 del Cap. 2) consentono di simulare le seguenti tipologie di scambiatori di calore a terreno:

- tubo interrato, disposizione orizzontale, senza accumulo di calore;
- sonde lineari a disposizione orizzontale con accumulo di calore;
- sonde verticali, del tipo a tubi concentrici;
- sonde verticali del tipo tubi a U.

Alcune regole pratiche per il dimensionamento di uno "scambiatore interrato".

- lunghezza non inferiore ai 10 m;
- diametro tubo tra 20 e 30 cm;
- profondità interro tra 1,5 e 3 m;
- velocità aria nel tubo tra 4 e 8 m/s.

1.3 Casa di Cherasco: il bilancio energetico invernale.

Per la determinazione del fabbisogno per il riscaldamento della casa di Cherasco e per il carico massimo di riscaldamento è stato utilizzato il programma di calcolo 'PHPP 2003' sviluppato dall'Istituto per la casa passiva, il Passivhaus-Institut di Darmstadt (Germania). Si basa sulla norma europea EN 832 e tiene conto in modo molto realistico dei guadagni energetici dell'edificio (passivi solari, interni). Rispetto a tradizionali metodi di calcolo come la ÖNORM M7500, il carico di riscaldamento calcolato è in genere nettamente inferiore al valore reale; ciò è da attribuire all'omissione di maggiorazioni forfaitarie per ponti termici e perdite per aerazione necessarie per edifici tradizionali, ma non per case passive e per case a bassissimo consumo energetico dove le perdite sono definite in modo chiaro e sono ben delimitate. Per questo motivo è bene evidenziare che il calcolo si basa su una 'impermeabilità' dell'edificio di $n_{L50} = 0,6/1,0$ e su una costruzione priva di ponti termici.

Il fabbisogno energetico complessivo annuo espresso in kWh viene diviso per la superficie dei locali riscaldati ottenendo il fabbisogno energetico specifico [kWh/m²(anno)] (chilowattora al metro quadro e anno) che permette il confronto con i valori limite stabiliti dalle normative.

	Carico massimo di riscaldamento		Fabbisogno energetico	
	Pmax [kW]	Pmax [W/m ²]	Qmax [kWh/a]	Qmax [kWh/m ² a]
Tutto l'edificio con una temperatura ambiente di 20° C	3,9	21,3	2822	15,5
Tutto l'edificio con una temperatura ambiente di 23° C	4,5	24,5	4993	27,4
Potenza coperta dalla mini-pompa di calore nell'apparecchio di aerazione (Aerosmart L) nell'ipotesi più svantaggiosa e una potenza media per l'acqua calda di 300 W	1,25	6,9 - 32% del Pmax totale		

Quadro riassuntivo del fabbisogno energetico:

Guadagni:	
Riduzione per scambio di calore col terreno	7,2%
Riduzione per recupero calore	12,8%
Guadagni solari sfruttabili	30,9%
Guadagni interni sfruttabili	9,5%
Riscaldamento	15%
Perdite:	
Trasmissione termica	51,1%
Aerazione	24,5%

Il software PHPP (Passivhaus Projektierung Paket) di Darmstadt (Germania), ideato e sviluppato dal gruppo di tecnici guidati dal Prof. Wolfgang Feist, è attualmente lo strumento principale del processo che ha come fine la progettazione di un edificio passivo. Lo stesso, opportunamente stampato ed impaginato, è il documento fondamentale per attestare il raggiungimento dello standard energetico minimo e per ottenere la conseguente certificazione ufficiale.

Il PHPP è strutturato come una serie di fogli di calcolo reciprocamente collegati che permettono di inquadrare ogni singolo aspetto dell'edificio preso in esame: dai fogli preliminari, si passa gradualmente ad esaminare il rendimento energetico dell'edificio, la bontà delle scelte costruttive ipotizzate e dei componenti impiegati.

La "spina dorsale" del programma è costituita, come già detto, dalla norma europea ISO EN 832 che ha unificato a livello continentale la procedura di calcolo del fabbisogno energetico utile (termico) dell'edificio.

Il PHPP resta, a confronto di altri software che tengono in considerazione i fenomeni dinamici connessi alle variazioni climatiche istantanee, uno strumento di calcolo semplificato. Esso è basato infatti su approssimazioni del comportamento reale dinamico dell'edificio; approssimazioni (verificate attraverso l'impiego proprio dei software ad analisi dinamica) che permettono di utilizzare valori medi climatici su lunghi periodi (mensili ed annuali) e di considerare gli scambi energetici come (quasi) stazionari.

Microsoft Excel - PHPP 2004

File Modifica Visualizza Inserisci Formato Strumenti Dati Finestra ? Adobe PDF

Q23 =SE(\$O\$6>0;O23/\$O\$6;0)

Passivhaus-Projektierung

ENERGIEKENNWERT HEIZWÄRME

Klima: **Bologna**
 Objekt: **EPH Novo Optim 1 Bologna**
 Standort:

Innentemperatur: **20,0** °C
 Gebäudetyp/Nutzung:
 Energiebezugsfläche $A_{E,EP}$: **182,2** m²
 Standard-Personenbelegung: **4,0** Pers pro m² Energiebezugsfläche

Bauteile	Temperaturzone	Fläche m ²	U-Wert W/(m ² K)	Temp.-faktor, f_t	G_t kWh/a	kWh/a
Außenwand Außenluft	A	246,7	0,147	1,00	59,7	= 2159
Außenwand Erdreich	B			0,50		=
Dach/Decken Außenluft	D	150,4	0,172	1,00	59,7	= 1540
Bodenplatte	B	137,4	0,123	0,50	59,7	= 505
	A			1,00		=
	A			1,00		=
	X			1,00		=
Fenster	A	71,6	1,445	1,00	59,7	= 6172
Außentür	A			1,00		=
Wbrücken außen (Länge/m)	A			1,00		=
Wbrücken Perimeter (Länge/m)	P			0,50		=
Wbrücken Boden (Länge/m)	B			0,50		=
Summe aller Hüllflächen		606,1				

Transmissionswärmeverluste Q_T

Summe: **10377** kWh/a **57,0** kWh/(m²a)

Menü: Kurzanleitung / Nachweis / Klimadaten / U-Werte / U-Liste / Flächen / Erdreich / Fenertyp / Fenster / Verschattung / Lüftung / Heizwärme / Monatsv / Heizlast

Pronto NUM

Microsoft Excel - PHPP2004

Digitare una domanda...

G6B =SE(O6>0,086/O6,"")

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
58																		
59																		
60																		
61																		
62																		
63																		
64																		
65																		
66																		
67																		
68																		
69																		
70																		
71																		
72																		
73																		
74																		
75																		
76																		
77																		
78																		
79																		
80																		
81																		
82																		
83																		
84																		
85																		
86																		
87																		
88																		
89																		
90																		
91																		
92																		
93																		
94																		
95																		
96																		
97																		

Freie Wärme Q_f $Q_s + Q_l =$ kWh/a kWh/(m²a)

Verhältnis Freie Wärme zu Verlusten $Q_f / Q_v =$ kWh/a kWh/(m²a)

Nutzungsgrad Wärmegewinne η_g $[1 - (Q_f / Q_v)^{\beta}] / [1 - (Q_f / Q_v)^{\beta}] =$ kWh/a kWh/(m²a)

Wärmegewinne Q_G $\eta_g \cdot Q_f =$ kWh/a kWh/(m²a)

Heizwärmebedarf Q_H $Q_v - Q_G =$ kWh/a kWh/(m²a)

Grenzwert kWh/(m²a) Anforderung erfüllt? (ja/nein)

Pronto NUM

start Posta in arrivo - Milano Microsoft Excel - PHPP2004 Testo da cercare

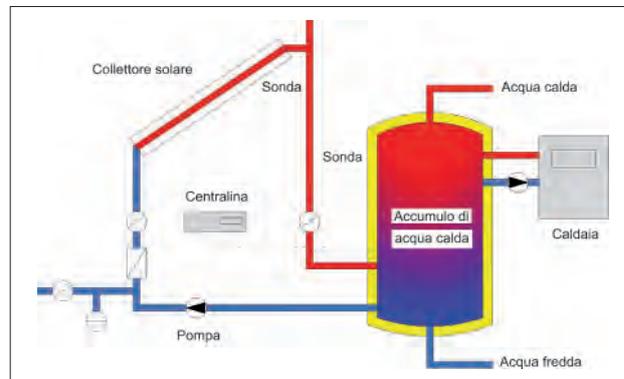
1.4 La produzione di acqua calda. Interventi successivi sul sistema edificio impianto.

Alla produzione di acqua calda nell'edificio di Cherasco provvede la pompa di calore; l'edificio è però predisposto per l'eventuale installazione di un impianto solare termico (scalabilità del progetto termico). L'integrazione della pompa di calore (par. 1.2) è in realtà molto interessante. In questi casi la pompa di calore può estrarre calore dal circuito dei collettori solari, garantendo anche un migliore funzionamento dell'impianto solare. Questa soluzione è particolarmente interessante se applicata alla produzione di acqua calda sanitaria.

L'impianto solare termico è un sistema in grado di trasformare l'energia irradiata dal sole in energia termica. La progettazione di questi impianti, che comunque prevede sempre l'integrazione con sistemi tradizionali, consiste nell'individuare la superficie captante ottimale.

Il calcolo risulta abbastanza complesso in quanto molte sono le variabili da considerare:

- radiazione solare incidente sul piano dove si prevede di installare i collettori solari;
- temperatura esterna media giornaliera;
- temperatura media del fluido termovettore;
- efficienza di captazione dei collettori in funzione delle condizioni operative.



Dimensionamento di massima di un impianto solare (si veda Dall’O’ G. in bibliografia).

Per un dimensionamento di massima dell'impianto può essere utilizzata la tabella seguente:

		Rapporto tra superficie captante e fabbisogno giornaliero di acqua calda (m ² / m ³)								
		5	7.5	10	12.5	15	17.5	20	22.5	25
Milano	Integrazione annua (%)	25	37	50	58	63	65	67	69	71
	Integrazione Aprile – Ottobre (%)	38	57	75	87	93	95	96	97	98
	Coefficiente utilizzo impianto (%)	100	100	99	93	84	74	67	62	57
Roma	Integrazione annua (%)	34	52	66	74	79	83	85	88	90
	Integrazione Aprile – Ottobre (%)	45	70	90	97	100	100	100	100	100
	Coefficiente utilizzo impianto (%)	100	100	96	86	77	69	62	57	52
Palermo	Integrazione annua (%)	40	60	75	83	88	92	95	96	97
	Integrazione Aprile – Ottobre (%)	51	76	95	99	100	100	100	100	100
	Coefficiente utilizzo impianto (%)	100	100	95	83	74	66	59	54	49

La tabella è stata elaborata con i seguenti parametri:

- Tipologia collettore solare: piano in rame selettivo ad alta efficienza
- Orientamento collettori Sud 15°
- Inclinazione collettori 25 - 30°
- Temperatura acqua di alimentazione 12° C
- Temperatura acqua alle utenze 40° C
- Perdite termiche circuito solare 5%

Scelta la località e individuato il rapporto tra superficie captante e volume giornaliero d'acqua calda richiesta dall'utenza, si leggono direttamente i seguenti valori:

- percentuale di integrazione del carico termico annuo (energia termica richiesta/energia fornita dall'impianto);
- percentuale di integrazione del carico termico nel periodo aprile-ottobre compresi;
- coefficiente di utilizzo dell'impianto.

L'impianto risulta tanto più economico quanto più il valore del coefficiente di utilizzo dell'impianto si avvicina al 100%.

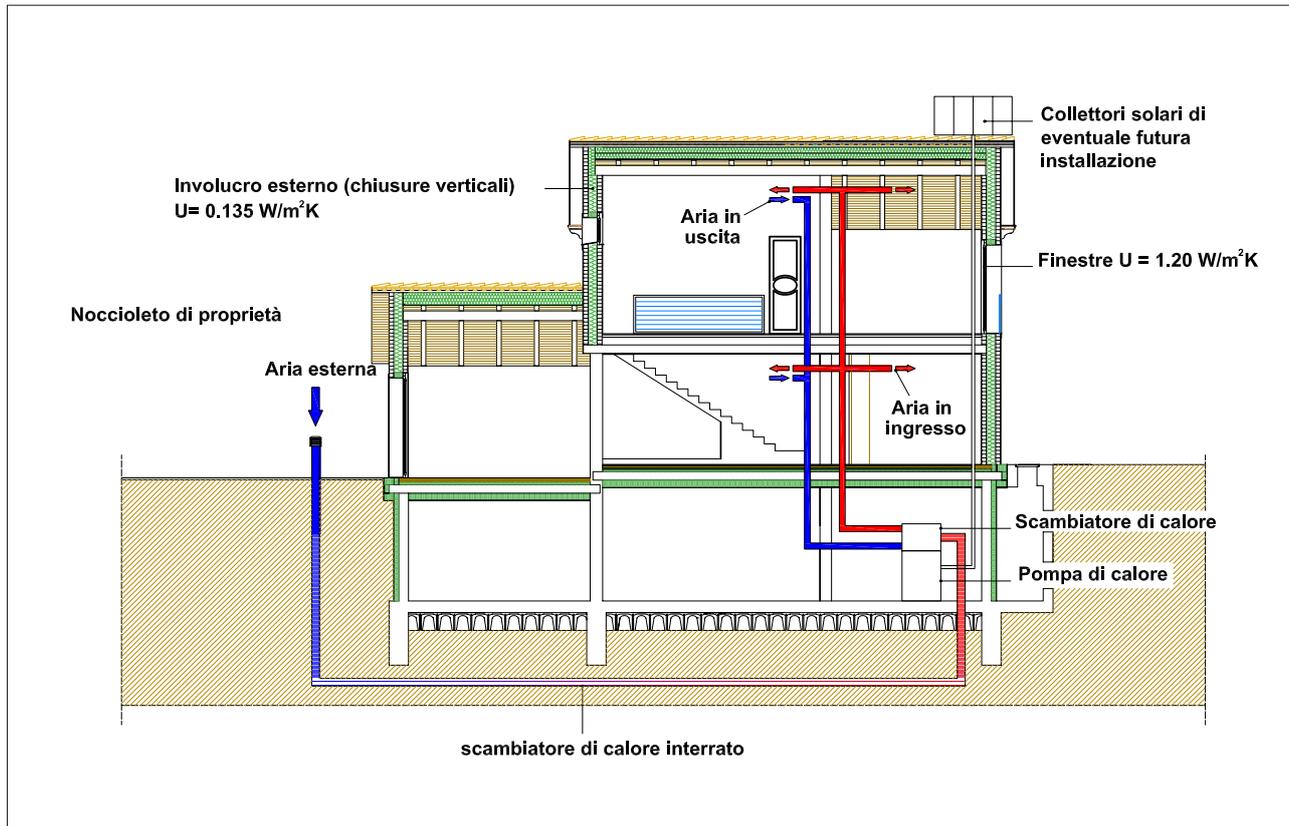
ESEMPIO:

Dimensionare la superficie captante ottimale per un impianto solare collocato a Milano con un fabbisogno giornaliero di 2000 litri. Dalla tabella si può osservare come da un rapporto tra superficie captante e fabbisogno d'acqua di $12,5 \text{ m}^2/\text{m}^3$ si ottiene una copertura nel periodo estivo elevata (87%) e si mantiene un valore del coefficiente di utilizzo altrettanto elevato (93%).

La superficie captante dell'impianto sarà:

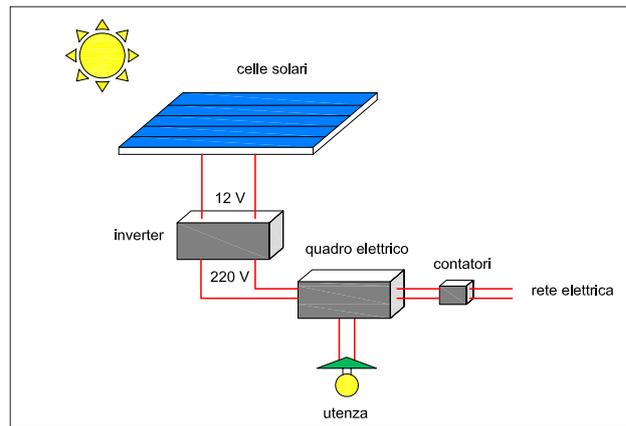
$$12.5 \text{ (m}^2/\text{m}^3) \times 2 \text{ (m}^3) = 25 \text{ m}^2$$

L'impianto così dimensionato è in grado di coprire il 58% del fabbisogno energetico annuo.



1.5 Ipotesi di produzione di energia elettrica con il fotovoltaico

Un sistema fotovoltaico è in grado di trasformare, direttamente ed istantaneamente, l'energia solare in energia elettrica senza l'uso di combustibili. Esso sfrutta il cosiddetto effetto fotovoltaico, cioè la capacità che hanno alcuni materiali semiconduttori, opportunamente trattati, di generare elettricità se esposti alla radiazione luminosa. Un sistema fotovoltaico è essenzialmente costituito da un "generatore", da un "sistema di condizionamento e controllo della potenza" e da un eventuale "accumulatore" di energia, dalla batteria e naturalmente dalla struttura di sostegno. Gli impianti fotovoltaici hanno ancora costi troppo elevati e ammortizzabili in tempi relativamente lunghi. L'Italia ha varato programmi nazionali per incentivare l'utilizzo dei pannelli fotovoltaici che prevedono contributi finanziari ai proprietari rendendo l'investimento più conveniente.



Esistono 3 forme di finanziamento:

- in conto capitale, in cui l'ente pubblico stanziava un capitale a fondo perduto al privato;
- in conto interessi, in cui l'ente pubblico stanziava un capitale a tassi agevolati al privato;
- in conto energia che permette al privato di vendere alla rete elettrica locale energia elettrica prodotta da sistemi fotovoltaici.

2 Il cantiere di Cherasco: il libro di cantiere.

DATA	DESCRIZIONE	LAVORAZIONI
Agosto '04		
	demolizione casa	recupero e pulizia mattoni vecchi
Febbraio '05		
lun. 14/02/2005	inizio lavori	scavo e getto di pulizia
gio. 17/02/2005	posa ferro	casseratura e posa ferro
ven. 18/02/2005	getto fondazioni	getto con autopompe
da lun. 21/02/2005	armatura muri	piano interrato
lun. 28/02/2005	getto muri e pilastri	piano interrato
Marzo '05		
mer. 02/03/2005	disarmo muri e pilastri	
sab. 05/03/2005	casseratura solaio	casseratura solaio piano terreno e terrazzo
mar. 08/03/2005	posa blocchi	posa dei blocchi (due solai)
mer. 09/03/2005	armatura solaio	
gio. 10/03/2005	getto primo solaio	piano terreno
sab. 12/03/2005	tracciamento pilastri	piano primo
da lun. 14/03/2005 a mer. 16/03/2005	armatura pilastri + getto	
mer. 16/03/2005	disarmo pilastri	
gio. 17/03/2005	armatura solaio	piano primo
ven. 18/03/2005	posa ferro	
lun. 21/03/2005	getto solaio	piano primo

DATA	DESCRIZIONE	LAVORAZIONI
Maggio '05		
lun. 09/05/2005	muri perimetrali	piano terreno
lun. 16/05/2005	muri perimetrali	piano primo
mer. 18/05/2005	muri perimetrali cantina	
da gio. 19/05/2005 a sab. 21/05/2005	ponteggio perimetrale	
ven. 27/05/2005	tetto casa posato trave di colmo in abete	
sab. 28/05/2005	posati puntoni in abete	
mar. 30/05/2005	posate perline in abete	
mer. 31/05/2005	muro interno sopra cordolo piano primo	tracciato tramezzi piano primo
Giugno '05		
lun. 06/06/2005	intonacato locale tecnico	
da mer. 08/06/2005 a ven. 10/06/2005	iniziato impianto di riscaldamento	sui silenziatori abbiamo posizionato delle scatole di legno per non danneggiarli
mar. 14/06/2005	getto sopra tubi di ventilazione	
mer. 15/06/2005	inserita porta locale tecnico	scrigni porte interne
gio. 16/06/2005	impianto idraulico	
ven. 17/06/2005	foto sulla posa isolante per Rockwool	
sab. 18/06/2005	posa cassonetti	
lun. 20/06/2005	muri esterni	posa isolante con tasselli
da lun. 27/06/2005 a gio. 30/06/2005	muri esterni	posa isolante con tasselli

DATA	DESCRIZIONE	LAVORAZIONI
Luglio '05		
lun. 01/07/2005	muri esterni edificio più piccolo	muri faccia a vista con mattoni recuperati (ingresso-studio)
mer. 05/07/2005	tetto parte più piccola in rovere	
lun. 11/07/2005	posato isolante 15+15	
gio. 14/07/2005	secondo tetto	(ingresso-studio)
lun. 18/07/2005	grondaie casa	
lun. 25/07/2005	grondaie studio	
Agosto '05		
lun. 01/08/2005	impianto elettrico	
mer. 03/08/2005	chiusura tracce	
gio. 04/08/2005	camino	realizzato con due tubi di acciaio inox (uno per il camino del piano interrato e uno per una eventuale stufa di integrazione alla pompa di calore) isolati con lana di roccia
mar. 16/08/2005	posa davanzali esterni e soglie in pietra	
Settembre '05		
gio. 01/09/2005	intonaco esterno ed interno casa	
lun. 19/09/2005	pulizia per sottofondo	
mar. 20/09/2005	posato isolante + guaina pavimento	

DATA	DESCRIZIONE
Ottobre '05	
lun. 03/10/2005	intonaco esterno ed interno piano interrato
ven. 07/10/2005	getto bocche di lupo
lun. 10/10/2005	posati serramenti esterni
lun. 17/10/2005	tinteggiatura interna e opere in cartongesso
mar. 18/10/2005	battuto cemento piano interrato
mer. 19/10/2005	posa bocchette per ventilazione interne e prova pompa di calore
tutto il mese	posa pavimenti e rivestimenti bagni
gio. 20/10/2005	inseriti fili elettrici nelle scatole e posa faretti nel ribassamento
gio. 27/10/2005	movimentazione terra - sistemazione esterna
Novembre '05	
ven. 04/11/2005	posa pietre scala
lun. 07/11/2005	posa specchi intonaco scale
mar. 09/11/2005	muretto recinzione e pilastri cancello scala esterna
sab. 19/11/2005	blower door test
lun. 21/11/2005	posa parquet legno piano terro
Dicembre '05	
lun. 05/12/2005	posa parquet piano primo
lun. 21/12/2006	ingresso casa

ROCKWOOL®

Appendice

I. Standard per il calcolo del fabbisogno energetico primario

EN 832	Prestazione termica degli edifici - Calcolo del fabbisogno di energia il riscaldamento - Edifici residenziali
UNI EN ISO 6946	Componenti ed elementi per edilizia - Resistenza termica e trasmittanza termica - Metodo di calcolo
UNI 10379	Riscaldamento degli edifici - Fabbisogno energetico convenzionale normalizzato
EN ISO 13790	Prestazione termica degli edifici - Calcolo del fabbisogno di energia per il riscaldamento
UNI 10348	Riscaldamento degli edifici. Rendimenti dei sistemi di riscaldamento. Metodo di calcolo.
UNI 10376	Isolamento termico degli impianti di riscaldamento e raffrescamento degli edifici.
UNI EN ISO 10077-1	Prestazione termica di finestre, porte e chiusure - Calcolo della trasmittanza termica - Metodo semplificato
UNI EN ISO 10077-2	Prestazione termica di finestre, porte e chiusure - Calcolo della trasmittanza termica - Metodo numerico per i telai
UNI 10346	Riscaldamento e raffrescamento degli edifici. Scambi di energia termica tra terreno ed edificio. Metodo di calcolo.
EN ISO 13370	Prestazione termica degli edifici - Trasferimento di calore attraverso il terreno - Metodi di calcolo
UNI 10347	Riscaldamento e raffrescamento degli edifici. Energia termica scambiata tra una tubazione e l'ambiente circostante. Metodo di calcolo.
UNI 10339	Impianti aeraulici ai fini di benessere. Generalità, classificazione e requisiti. Regole per la richiesta d'offerta, l'offerta, l'ordine e la fornitura.
UNI EN 13465	Ventilazione degli edifici - Metodi di calcolo per la determinazione delle portate d'aria negli edifici residenziali
EN 13779	Ventilazione degli edifici non residenziali - Requisiti di prestazione per i sistemi di ventilazione e di condizionamento
Raccomandazione CTI	Esecuzione della certificazione energetica - Dati relativi all'edificio
Raccomandazione CTI	Raccomandazione per l'utilizzo della norma UNI 10348 ai fini del calcolo del fabbisogno di energia primaria e del rendimento degli impianti di riscaldamento
BANCHE DATI	
UNI 10355	Murature e solai. Valori della resistenza termica e metodo di calcolo.
UNI 10351	Materiali da costruzione. Conduttività termica e permeabilità al vapore.
UNI 10349	Riscaldamento e raffrescamento degli edifici. Dati climatici.

2. La nuova normativa tecnica (vedi Corrado – Serraino in bibliografia)

1. Schema generale delle nuove norme europee

La normativa europea in corso di preparazione è articolata secondo la seguente classificazione.

- 1) Calcolo del fabbisogno totale di energia dell'edificio
- 2) Calcolo dell'energia erogata
- 3) Calcolo dell'energia termica netta per riscaldamento e raffrescamento
- 4) Calcoli di supporto
 - a) Prestazioni termiche dei componenti edilizi
 - b) Ventilazione e infiltrazioni d'aria
 - e) Surriscaldamento e protezione solare
 - d) Condizioni interne e clima esterno
 - e) Definizioni e terminologia
- 5) Monitoraggio e verifica delle prestazioni energetiche

2. Norme per il calcolo del fabbisogno totale di energia dell'edificio

2.1 prEN 15203 - "Energy performance of buildings - Assessment of energy use and definition of energy ratings"

2.2 prEN 15217 - "Energy performance of buildings - Methods for expressing energy performance and for energy certification of buildings"

3. Norme per il calcolo dell'energia erogata

3.1 Impianti di riscaldamento ambiente e di produzione dell'acqua calda igienico-sanitaria

La norma prEN 15316 consente di calcolare l'energia consumata da un impianto di riscaldamento, suddivisa in energia termica ed elettrica (per il funzionamento degli ausiliari).

3.2 impianti di ventilazione e condizionamento

La norma prEN 15241 consente di valutare l'impatto energetico degli impianti di ventilazione.

La norma prEN 15243 permette di determinare valori della temperatura e dei carichi termici sensibili e latenti degli ambienti, nonché il fabbisogno di energia per le trasformazioni di riscaldamento, raffreddamento, umidificazione e deumidificazione.

3.3 Impianti di illuminazione

La norma prEN 15193 consente di calcolare la quantità di energia usata per l'illuminazione dell'edificio.

3.4 Sistemi di gestione e regolazione

La norma prEN 15232 specifica in termini di risparmio energetico:

- le prestazioni di funzioni di ottimizzazione e routine utilizzate nei sistemi integrati di automazione dell'edificio (BACS) (es. limitazione di temperatura, optimum start / stop, etc.);
- le pratiche utilizzate nella gestione tecnica dell'edificio (es. monitoraggi ambientali ed energetici).

4. Norme per il calcolo dell'energia termica netta per riscaldamento e raffrescamento

4.1 prEN ISO 13790 "Thermal performance of buildings - Calculation of energy use for space heating and cooling"

Questa norma specifica un metodo semplificato di calcolo per stimare il consumo energetico annuale per il riscaldamento ed il raffrescamento di un edificio residenziale e non.

5. Norme di supporto (componenti edilizi, ventilazione, protezione solare, microclima)

6. Norme per il monitoraggio e la verifica della prestazione energetica.

6.1 Ispezione degli impianti di riscaldamento.

6.2 Ispezione degli impianti di ventilazione e condizionamento.

7. Nuove norme italiane.

7.1 La nuova norma italiana sulla certificazione energetica.

Nell'ambito del Sottocomitato del CTI è allo studio un progetto di norma sui "Metodi per la certificazione energetica degli edifici".

Note

ROCKWOOL®