

COMUNE DI TOCCO DA CASAURIA



# MANUALE

## REGOLAMENTO PER L'EDILIZIA SOSTENIBILE

# C1

## ANALISI DEL SITO E QUALITÀ DEGLI AMBIENTI ESTERNI

<i>Pre-requisito “ANALISI DEL SITO”</i>	1
<i>Analisi del sito sintetica</i>	4
<i>Organizzazione ed utilizzo del verde per il miglioramento del microclima esterno</i>	18
<i>Contenimento delle superfici impermeabilizzate</i>	22
<i>Orientamento degli edifici in relazione al soleggiamento del sito</i>	24
<i>Orientamento delle coperture in funzione del soleggiamento</i>	29

## Pre-requisito “ANALISI DEL SITO”

Un ruolo fondamentale per la corretta verifica dei requisiti legati al funzionamento energetico degli edifici, è svolta **dall’Analisi del Sito**: *questa, rappresenta un **pre-requisito** fondamentale utile alla conoscenza delle caratteristiche ambientali e climatiche del sito e che, agendo sugli edifici, ne condizionano il funzionamento anche da un punto di vista energetico.*

Le esigenze dell’edilizia bioclimatica sono fortemente condizionate dall’ambiente, nel senso che i **“fattori climatici”** condizionano le soluzioni progettuali da adottare per soddisfare i corrispondenti requisiti. Mentre, i **“fattori ambientali”**, possono a loro volta essere modificati dalla realizzazione del progetto.

La conoscenza dei **“fattori climatici”** e dei **“fattori ambientali”** caratteristici del sito, fornisce da una parte dati progettuali utilizzabili direttamente nel progetto in merito al funzionamento energetico degli edifici e dall’altra, le attenzioni da porre in essere per garantire la salvaguardia dell’ambiente nel quale si interviene.

Gli elementi considerati dall’analisi del sito, sono:

**“fattori climatici”**: gli agenti fisici caratteristici del sito sono gli elementi che agiscono sull’opera/edificio da realizzare, condizionando il progetto edilizio e divenendo dati del progetto.

La conoscenza degli agenti fisici caratteristici del sito è necessaria per:

- *l’uso razionale delle risorse climatiche ed energetiche al fine di realizzare il benessere ambientale (igrotermico, visivo, acustico, etc.);*
- *l’uso razionale delle risorse idriche;*
- *soddisfare le esigenze di benessere, igiene e salute (disponibilità di luce naturale, clima acustico, campi elettromagnetici, accesso al sole, al vento, ecc.).*

**“fattori ambientali”**: sono quegli elementi dell’ambiente che vengono influenzati dal progetto.

Non sono perciò, di norma, dati di progetto ma piuttosto elementi di attenzione o componenti dello studio di impatto ambientale eventualmente da effettuare per l’opera da progettare ai sensi delle normative vigenti (es.: qualità delle acque superficiali o livello di inquinamento dell’aria). La conoscenza dei fattori ambientali interagisce con i requisiti legati alla salvaguardia dell’ambiente durante la vita dell’opera progettata:

- *salvaguardia della salubrità dell’aria;*
- *salvaguardia delle risorse idriche;*
- *salvaguardia del suolo e del sottosuolo;*
- *salvaguardia del verde e del sistema del verde;*
- *salvaguardia delle risorse storico culturali.*

Si ritiene importante segnalare come, nel processo progettuale, i requisiti legati alla salvaguardia dell’ambiente definiscano gli obiettivi di eco-sostenibilità del progetto ma che questi obiettivi, per essere raggiunti, debbano basarsi sui dati ricavati da una specifica analisi del sito.

Di seguito vengono riportati alcuni elementi di metodo inseriti nel documento **“Analisi del Sito”** in riferimento ai **“fattori climatici”** caratteristici del sito, mentre per i **“fattori ambientali”**, non essendone richiesta l’analisi, si rimanda alle normative vigenti <sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Si veda in particolare:

Direttiva 85/337/CEE, Direttiva del Consiglio concernente la valutazione dell’impatto ambientale di determinati progetti pubblici e privati.  
Direttiva 96/61/CE, Direttiva del Consiglio sulla prevenzione e la riduzione integrate dell’inquinamento.  
Direttiva 97/11/CE, Direttiva del Consiglio che modifica la direttiva 85/337/CEE concernente la valutazione dell’impatto ambientale di determinati progetti pubblici e privati.  
Legge 8/7/86, n. 349, Istituzione del Ministero dell’ambiente e norme in materia di danno ambientale.  
D.P.C.M. 27/12/88, Norme tecniche per la redazione degli studi di impatto ambientale e la formulazione del giudizio di compatibilità di cui all’art. 6, L. 8 luglio 1986, n. 349, adottate ai sensi dell’art. 3 del D.P.C.M. 10 agosto 1988, n. 377.

**1. Clima Igrotermico e precipitazioni**\_ Vanno reperiti i dati relativi alla **localizzazione geografica** dell'area di intervento (latitudine, longitudine e altezza sul livello del mare).

In secondo luogo vanno reperiti i **dati climatici** (si vedano la norma UNI 10349, i dati del Servizio meteorologico dell'ARTA, le cartografie tecniche e tematiche regionali, ecc.):

- *andamento della temperatura dell'aria: massime, minime, medie, escursioni termiche;*
- *andamento della pressione parziale del vapore nell'aria ;*
- *andamento della velocità e direzione del vento;*
- *piovosità media annuale e media mensile;*
- *andamento della irradiazione solare diretta e diffusa sul piano orizzontale;*
- *andamento della irradianza solare per diversi orientamenti di una superficie;*
- *caratterizzazione delle ostruzioni alla radiazione solare (esterne o interne all'area/comparto oggetto di intervento).*
- *I dati climatici disponibili presso gli uffici meteorologici possono essere riferiti:*
- *ad un particolare periodo temporale di rilievo dei dati;*
- *ad un "anno tipo", definito su base deterministica attraverso medie matematiche di dati rilevati durante un periodo di osservazione adeguatamente lungo;*
- *ad un "anno tipo probabile", definito a partire da dati rilevati durante un periodo di osservazione adeguatamente lungo e rielaborati con criteri probabilistici.*

Gli elementi reperiti vanno adattati alla zona oggetto di analisi per tenere conto di elementi che possono influenzare la formazione di un microclima caratteristico:

- *Topografia: altezza relativa, pendenza del terreno e suo orientamento, ostruzioni alla radiazione solare ed al vento, nei diversi orientamenti;*
- *Relazione con l'acqua;*
- *Relazione con la vegetazione;*
- *Tipo di forma urbana, densità edilizia, altezza degli edifici, tipo di tessuto (orientamento edifici nel lotto e rispetto alla viabilità, rapporto reciproco tra edifici), previsioni urbanistiche.*

Alcuni dati climatici (geometria della radiazione solare, irradianza solare) sono utili anche per l'analisi della disponibilità di luce naturale di cui al punto 3.

**2. Disponibilità di fonti energetiche rinnovabili o assimilabili**\_ Va verificata la possibilità di sfruttare fonti energetiche rinnovabili, presenti in prossimità dell'area di intervento, al fine di produrre energia elettrica e calore a copertura parziale o totale del fabbisogno energetico dell'organismo edilizio progettato. In relazione alla scelta progettuale vanno valutate le potenzialità di:

- *sfruttamento dell'energia solare (termico/fotovoltaico) in relazione al clima ed alla disposizione del sito;*
- *sfruttamento energia eolica in relazione alla disponibilità annuale di vento;*
- *sfruttamento di biomassa (prodotta da processi agricoli o scarti di lavorazione del legno a livello locale) e biogas (produzione di biogas inserita nell'ambito di processi produttivi agricoli);*
- *possibilità di installazione di sistemi di microgenerazione e teleriscaldamento.*

---

D.P.R. 27 aprile 1992, Regolamentazione delle pronunce di compatibilità ambientale e norme tecniche per la redazione degli studi di impatto ambientale e la formulazione del giudizio di compatibilità di cui all'art. 6 della legge 8 luglio 1986, n. 349, per gli elettrodotti aerei esterni.  
D.P.R. 12 aprile 1996, Atto di indirizzo e coordinamento per l'attuazione dell'art. 40, comma 1, della L. 22 febbraio 1994, n. 146, concernente disposizioni in materia di valutazione di impatto ambientale.

3. **Disponibilità di luce naturale**\_ Si valuta la disponibilità di luce naturale e la visibilità del cielo attraverso le ostruzioni:
- a) **valutazione del modello di cielo coperto standard CIE**; per la determinazione dei livelli di illuminamento in un'area si definisce il modello di cielo (visto come sorgente di luce) caratteristico di quel luogo, determinando la distribuzione della luminanza della volta celeste specifica del luogo (in assenza di quello specifico del sito si assume come riferimento il cielo standard della città nella quale si progetta);
  - b) **valutazione del modello di cielo sereno** in riferimento alla posizione del sole per alcuni periodi dell'anno (per esempio uno per la stagione fredda, gennaio, uno per la stagione calda, luglio); la posizione apparente del sole viene determinata attraverso la conoscenza di due angoli, azimutale e di altezza solare, variabili in funzione della latitudine e longitudine e consente di valutare la presenza dell'irraggiamento solare diretto, la sua disponibilità temporale e nonché gli angoli di incidenza dei raggi solari sulla zona di analisi (raggi solari bassi o alti rispetto all'orizzonte).
  - c) **valutazione della visibilità del cielo attraverso le ostruzioni esterne** - L'analisi delle ostruzioni è già stata richiamata al punto 1 – clima igrotermico e precipitazioni:
    - *ostruzioni dovute all'orografia del terreno (terrapieni, rilevati stradali, colline, ecc.);*
    - *ostruzioni dovute alla presenza del verde (alberi e vegetazione che si frappongono tra l'area ed il cielo), con oscuramento variabile in funzione della stagione (alberi sempreverdi o a foglia caduca);*
    - *ostruzioni dovute alla presenza di edifici, esistenti o di futura realizzazione secondo la vigente pianificazione urbanistica generale o attuativa.*
4. **Clima acustico**\_ Occorre riferirsi alla “**Legge quadro sull'inquinamento acustico**”, **n.447 del 1995**, e i relativi decreti attuativi e della relativa normativa regionale, al fine di valutare la classe acustica dell'area di intervento e quella delle aree adiacenti. Successivamente occorrerebbe effettuare la **rilevazione strumentale** dei livelli di rumore esistenti con localizzazione e descrizione delle principali sorgenti di rumore; valutazione dei relativi contributi alla rumorosità ambientale specificando i parametri di misura (posizione, periodo, durata, ecc.);

## Analisi del sito - sintetica

1. clima igrotermico e precipitazioni,
2. disponibilità di luce naturale.

**Premessa: obiettivi e contenuti dell'analisi** Il presente documento fornisce una descrizione dei fattori climatici caratteristici del sito, ovvero di quegli elementi che agiscono sulle opere da realizzare, condizionando il progetto edilizio e divenendo dati del progetto.

L'analisi effettuata consente di avere delle indicazioni e dei riferimenti preliminari per il progetto, in modo da valorizzare le prestazioni degli edifici in termini di ottenimento di condizioni di benessere degli occupanti, anche attraverso il ricorso a fonti di energia rinnovabili e all'uso razionale delle risorse.

In particolare, la conoscenza di tali fattori permetterà di operare scelte progettuali e di trovare la giusta combinazione fra orientamento degli edifici e caratteristiche morfologiche - dimensionali, distributive e tecnologiche, che permettono il corretto rapporto con il sole, il vento, l'acqua e il verde.

**Inquadramento geografico** Tocco Da Casauria, comune della provincia di Pescara da cui dista circa 46 Km, sorge a 356 m sul livello del mare, su un colle sulla valle del fiume Pescara, lungo la strada che la collega a Roma. Fa parte della Comunità Montana della Maiella e del Morrone, e ha una superficie di 29,9 Km quadrati, attualmente conta circa 2.824 abitanti per una densità abitativa di 94,44 abitanti per Km quadrato.

I parametri geografici che definiscono la localizzazione geografica del territorio del comune di Tocco Da Casauria sono indicati nella tabella seguente:

TOCCO DA CASAURIA	
altitudine	356 s.l.m.
latitudine	42° 12'
longitudine	13° 54'
zona climatica	D
gradi giorno	1807



**1. Clima igrotermico, precipitazioni e qualità dell'aria** Il clima e quindi la conoscenza dell'andamento delle temperature, della radiazione solare diretta e diffusa, dell'umidità relativa, della velocità e della direzione del vento, influenza notevolmente il comportamento termico degli edifici e deve essere considerato una delle variabili chiave della progettazione edile e impiantistica. La definizione delle relazioni energetiche che intercorrono fra l'ambiente costruito e l'ambiente naturale, sia in rapporto alle preesistenze ambientali del luogo di intervento, sia in relazione alla possibilità di indurre delle modifiche al microclima, attraverso interventi sull'intorno, inizia con la raccolta dei dati climatici disponibili.

È di seguito riportata la metodologia adottata per la definizione di un clima locale che è stata utilizzata nell'analisi del sito in relazione al clima igrotermico e precipitazioni:

- localizzazione geografica dell'area di intervento;
- raccolta dei dati climatici disponibili;
- adattamento dei dati climatici disponibili in relazione alla localizzazione geografica;
- analisi degli elementi significativi ambientali preesistenti che possono indurre delle modifiche al microclima;
- adattamento dei dati climatici disponibili in relazione agli elementi ambientali analizzati;
- eventuale definizione di dati climatici riassuntivi di progetto.

Sono stati reperiti, in primo luogo, i dati relativi alla localizzazione geografica dell'area di intervento (già riportati al paragrafo precedente) e, in secondo luogo, i dati climatici in relazione a:

- andamento della temperatura dell'aria (massime, minime, medie, escursioni termiche)
- andamento della pressione parziale del vapore nell'aria;
- andamento della radiazione solare diretta e diffusa sul piano orizzontale;

Tali dati vengono forniti su base temporale diversa (in base alla disponibilità): oraria, mensile o giornaliera. Una volta reperiti i dati climatici sono stati forniti gli elementi per adattarli alla zona oggetto di intervento. Tale operazione richiede innanzi tutto la conoscenza del "tipo" di dato climatico di origine, ovvero se questo è riferito ad una stazione meteorologica fisicamente connotata e con caratteristiche analizzabili, oppure se rappresenta un'elaborazione di valori tipo, ritenuti rappresentativi di una determinata area.

Gli adattamenti effettuati, tengono conto della diversa localizzazione geografica dell'area di intervento e della presenza di elementi dell'ambiente che potenzialmente possono influenzare la formazione di un microclima caratteristico.

Per tenere conto della diversa area geografica si è fatto riferimento a quanto indicato sulla norma **UNI 10349** che fornisce i dati climatici convenzionali necessari per la progettazione e verifica sia degli edifici, sia degli impianti tecnici per il riscaldamento e il raffrescamento, per i capoluoghi di provincia italiani. Per località differenti da quelle fornite vengono proposti dei criteri correttivi che, a partire dalla località di riferimento, permettono di calcolare i dati per l'area oggetto di interesse.

A titolo di esempio si elencano le variabili che determinano le correzioni di alcuni dati fondamentali. Le formule estese sono indicate sulla citata norma UNI.

Dato climatico da correggere	Dati di riferimento	Variabile su cui è basato il conto
<i>Valori medi mensili della temperatura media giornaliera dell'aria esterna</i>	- Temperatura nella località di riferimento (la Provincia più vicina in linea d'aria)	- altezza sul livello del mare - gradiente verticale di temperatura (tabellato sulla UNI)
<i>Irradiazione solare giornaliera media mensile</i>	- Irradiazione solare in due località di riferimento (le due Province più vicine in linea d'aria)	- latitudine

**Dati climatici\_**

TOCCO DA CASARIA	
irradianza media mensile del mese di massima insolazione	302 [W/m <sup>2</sup> ]
temperatura di progetto	0,39 [°C]

	Temperatura [°C]	Pressione [Pa]	Umidità relativa [%]	Orizz.	Sud	SE-SO	E-O	NE-NO	Nord
gennaio	4,81	643	75	5,7	9,4	7,5	4,5	2,2	2
febbraio	6,01	654	70	8,6	11	9,3	6,4	3,5	2,8
marzo	8,51	689	62	12,8	11,7	11,2	9,1	5,7	3,9
aprile	11,81	970	70	18,5	11,5	13,1	12,6	9	5,6
maggio	16,11	1251	68	23	10,5	13,6	15	12	8,2
giugno	20,31	1485	62	24,4	9,8	13,2	15,6	13,2	9,8
luglio	23,01	1812	65	26,1	10,7	14,6	16,9	13,7	9,4
agosto	22,61	1857	68	22,2	12	14,7	15	10,9	6,7
settembre	19,61	1598	70	16,8	13,6	14	12	7,5	4,4
ottobre	15,01	1210	71	11,5	14,2	12,3	8,7	4,5	3,2
novembre	10,11	869	70	6,7	10,8	8,6	5,3	2,5	2,2
dicembre	6,31	739	77	4,9	8,3	6,5	3,8	1,9	1,7

\* Fonte dei dati ANIT

**Adattamenti: Elementi significativi ambientali che possono indurre delle modifiche al microclima** Una volta reperiti i dati climatici si è cercato di adattarli alla zona oggetto di intervento tenendo conto della diversa localizzazione geografica dell'area rispetto alla stazione climatica e della presenza di elementi dell'ambiente che potenzialmente possono influenzare la formazione di un microclima caratteristico.

L'adattamento dei dati climatici alla zona oggetto di analisi tengono conto dei seguenti elementi:

- topografia: altezza relativa, pendenza del terreno e suo orientamento, ostruzioni alla radiazione solare ed al vento, nei diversi orientamenti;
- relazione con l'acqua;
- relazione con la vegetazione;
- tipo di forma urbana, densità edilizia, altezza degli edifici, tipo di tessuto (orientamento edifici nel lotto e rispetto alla viabilità, rapporto reciproco tra edifici), previsioni urbanistiche.

Alcuni dati climatici (geometria della radiazione solare, irradianza solare) sono utili anche per l'analisi della disponibilità di luce naturale effettuata all'interno dell'analisi del sito).

**2. Disponibilità di luce naturale** L'analisi del sito fatta in riferimento alla valutazione della disponibilità di luce naturale nella zona di progetto presenta una forte influenza sul

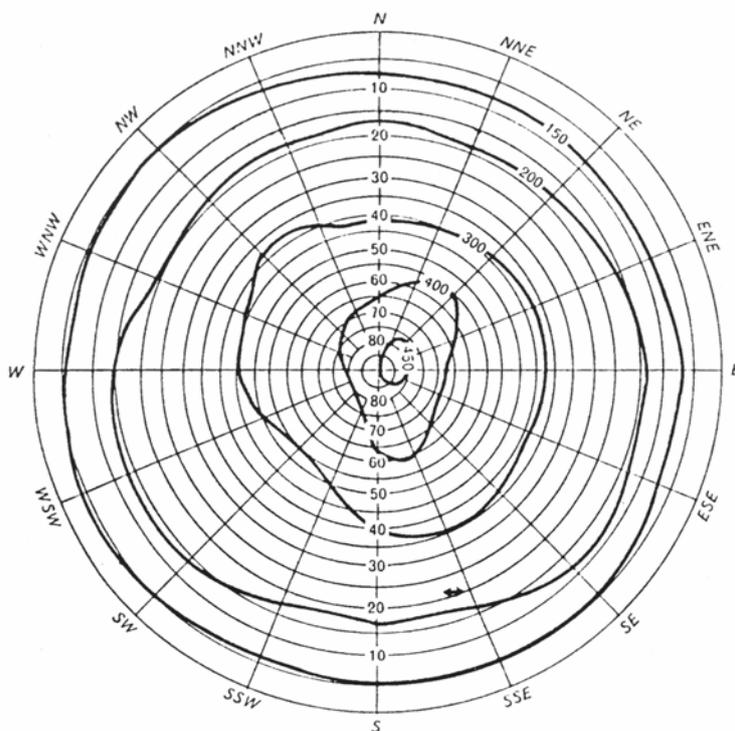
comportamento termico degli edifici e rappresenta una delle componenti fondamentali tra quelle che determinano la sensazione di benessere ottico-visivo, diventando una delle variabili chiave della progettazione. La distribuzione spaziale dei volumi, la distribuzione del verde, l'organizzazione degli spazi interni degli edifici, la forma, dimensione (per la sua determinazione entra in gioco la dimensione dell'ambiente interno) e posizione delle superfici finestrate sono solo alcune delle variabili progettuali che vengono influenzate dall'intorno luminoso.

**2.1 Valutazione dei livelli di illuminamento con modello di cielo coperto standard CIE\_** Il primo passo fondamentale per la determinazione dei livelli di illuminamento presenti all'interno degli ambienti abitativi (in merito alla disponibilità di luce naturale) è quello di definire i livelli di illuminamento presenti in ambiente esterno; i valori minimi (in relazione agli altri tipi di cielo: sereno con e senza sole, uniformemente coperto) dell'illuminamento in esterno, e di conseguenza in interno, si ottengono considerando una condizione di cielo coperto 2.

Poiché non risultano delle misure che hanno permesso la definizione di un modello di cielo specifico dell'area nella quale si svolge il lavoro di analisi, è necessario fare riferimento a quello definito e standardizzato dalla CIE (Commission International de l'Eclairage) per la città nella quale l'area è ubicata. Il cielo assunto dalla CIE si basa sull'ipotesi di una volta celeste con una luminanza massima allo zenit e decrescente verso lo zenit con una legge determinata (radianza allo zenit tre volte superiore a quella dell'orizzonte). Tale situazione corrisponde a quella di un'atmosfera limpida con cielo coperto da nuvole chiare, in più strati sovrapposti, eliminando in tal modo ogni effetto direzionale legato alla posizione della luce (l'emisfero celeste appare come una calotta lattiginosa più luminosa al suo culmine). La formula matematica (messa a punto da Moon e Spencer nel 1942) che definisce il valore della luminanza del cielo in un generico punto P è:

$$L_p = L_z * (1 + \sin Z_p) / 3$$

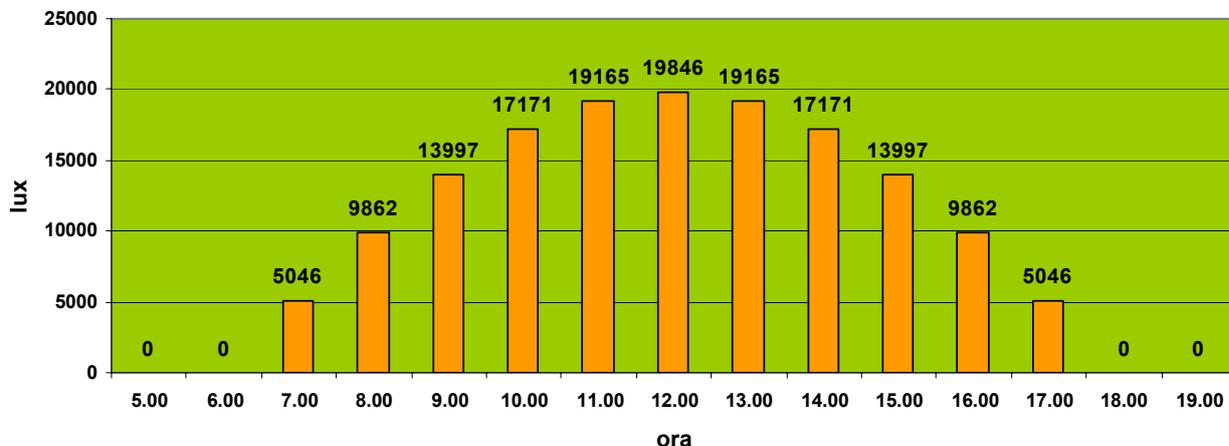
dove  $L_p$  è la luminanza (assoluta) del cielo nel punto P,  $L_z$  è la luminanza (assoluta) del cielo allo zenit e  $Z_p$  è l'angolo di elevazione sopra l'orizzonte del punto P considerato.



**DISTRIBUZIONE DELLE LUMINANZE SECONDO IL MODELLO STANDARD DI CIELO COPERTO CIE:** Un modello di cielo, visto come sorgente di luce, è definito attraverso la determinazione della distribuzione della luminanza della volta celeste. Con la condizione di cielo coperto si ottengono i livelli di illuminamento minimi indipendentemente dall'orientamento e dal periodo dell'anno.

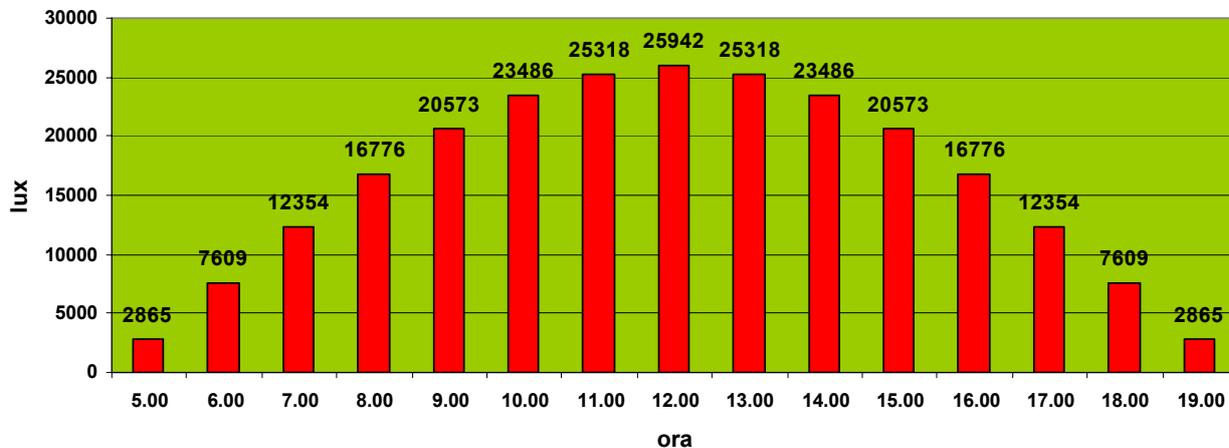
**Livelli di illuminamento (lux) sul piano orizzontale esterno nel giorno 21 alle varie ore del giorno nei mesi di marzo, giugno e dicembre riferiti alla latitudine di 42°12') in condizioni di CIELO COPERTO\_**

livello di illuminamento orario su piano orizzontale mese di marzo



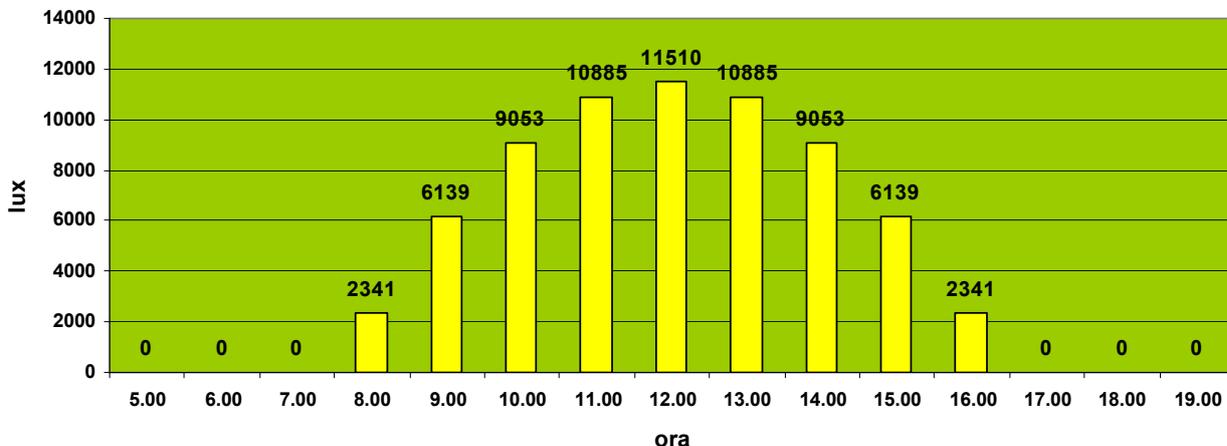
ALTEZZA SOLARE, AZIMUT E LIVELLO DI ILLUMINAMENTO ORIZZONTALE ORARIO					
hh:mm	As ( ° ' )	Bs ( ° ' )	Illuminamento diffuso Edh (lux)	Illuminamento diretto Esh (lux)	Illuminamento totale Egh (lux)
5.00	0 ° 0 ,	0 ° 0 ,	0	0	0
6.00	0 ° 0 ,	0 ° 0 ,	0	0	0
7.00	9 ° 62 ,	101 ° 27 ,	5046	0	5046
8.00	20 ° 35 ,	67 ° 39 ,	9862	0	9862
9.00	30 ° 17 ,	54 ° 61 ,	13997	0	13997
10.00	38 ° 27 ,	39 ° 42 ,	17171	0	17171
11.00	44 ° 2 ,	21 ° 6 ,	19165	0	19165
<b>12.00</b>	<b>46 ° 5 ,</b>	<b>0 ° 0 ,</b>	<b>19846</b>	<b>0</b>	<b>19846</b>
13.00	44 ° 2 ,	-21 ° 6 ,	19165	0	19165
14.00	38 ° 27 ,	-39 ° 42 ,	17171	0	17171
15.00	30 ° 17 ,	-54 ° 61 ,	13997	0	13997
16.00	20 ° 35 ,	-67 ° 39 ,	9862	0	9862
17.00	9 ° 62 ,	-101 ° 27 ,	5046	0	5046
18.00	0 ° 0 ,	0 ° 0 ,	0	0	0
19.00	0 ° 0 ,	0 ° 0 ,	0	0	0

livello di illuminamento orario su piano orizzontale mese di giugno



ALTEZZA SOLARE, AZIMUT E LIVELLO DI ILLUMINAMENTO ORIZZONTALE ORARIO					
hh:mm	As (°')	Bs (°')	Illuminamento diffuso Edh (lux)	Illuminamento diretto Esh (lux)	Illuminamento totale Egh (lux)
5.00	0 ° 0	0 ° 0	0	0	0
6.00	0 ° 0	0 ° 0	0	0	0
7.00	0 ° 0	0 ° 0	0	0	0
8.00	4 ° 10	52 ° 57	2341	0	2341
9.00	12 ° 20	41 ° 42	6139	0	6139
10.00	18 ° 47	28 ° 66	9053	0	9053
11.00	22 ° 58	14 ° 63	10885	0	10885
<b>12.00</b>	<b>24 ° 21</b>	<b>0 ° 0</b>	<b>11510</b>	<b>0</b>	<b>11510</b>
13.00	22 ° 58	14 ° 63	10885	0	10885
14.00	18 ° 47	28 ° 66	9053	0	9053
15.00	12 ° 20	41 ° 42	6139	0	6139
16.00	4 ° 10	52 ° 57	2341	0	2341
17.00	0 ° 0	0 ° 0	0	0	0
18.00	0 ° 0	0 ° 0	0	0	0
19.00	0 ° 0	0 ° 0	0	0	0

livello di illuminamento orario su piano orizzontale mese di dicembre



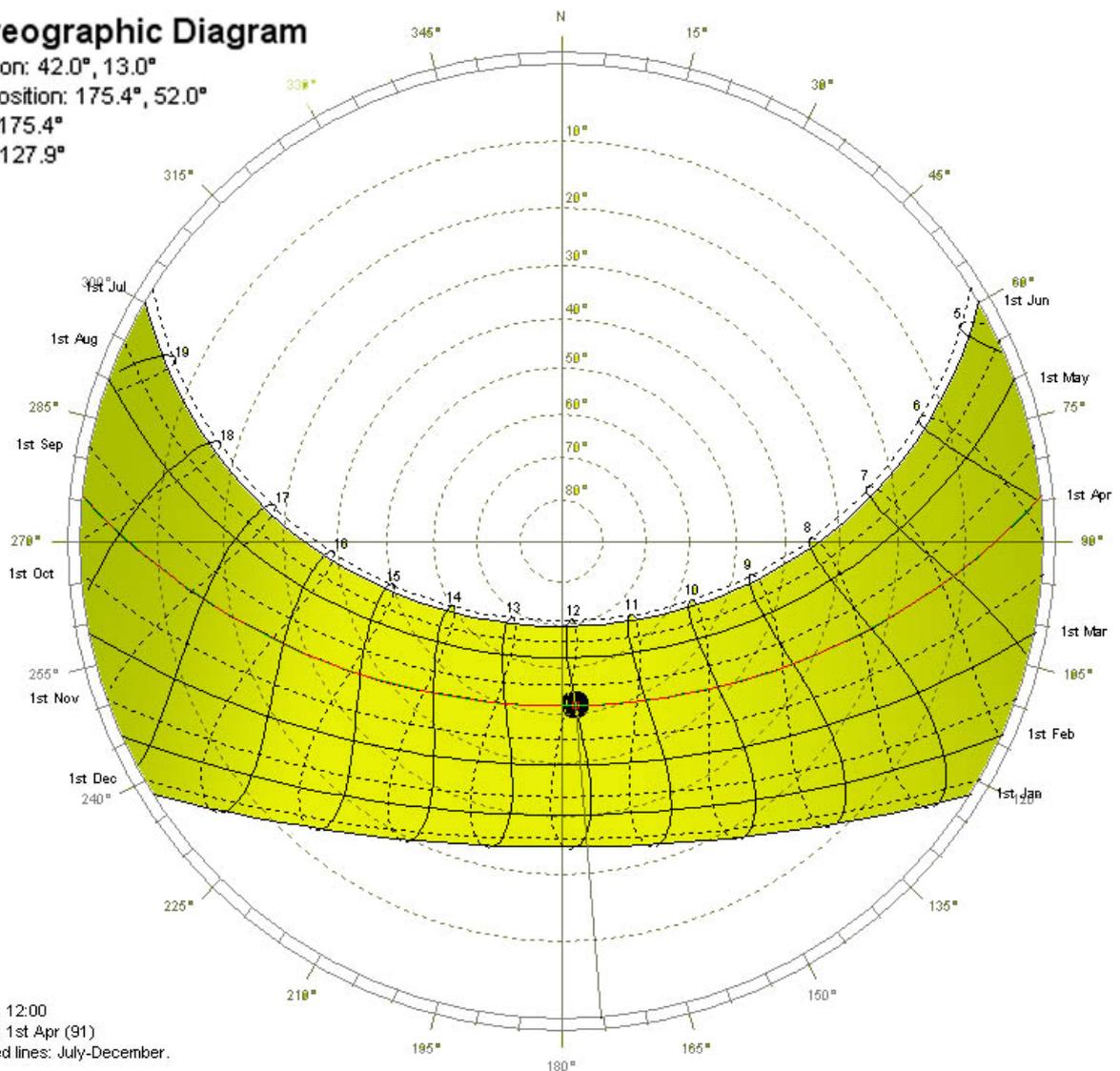
ALTEZZA SOLARE, AZIMUT E LIVELLO DI ILLUMINAMENTO ORIZZONTALE ORARIO					
hh:mm	As ( ° ' )	Bs ( ° ' )	Illuminamento diffuso Edh (lux)	Illuminamento diretto Esh (lux)	Illuminamento totale Egh (lux)
5.00	5 ° 18 ,	117 ° 6 ,	2865	0	2865
6.00	15 ° 34 ,	107 ° 49 ,	7609	0	7609
7.00	26 ° 20 ,	98 ° 38 ,	12354	0	12354
8.00	37 ° 23 ,	88 ° 59 ,	16776	0	16776
9.00	48 ° 23 ,	77 ° 36 ,	20573	0	20573
10.00	58 ° 51 ,	62 ° 16 ,	23486	0	23486
11.00	67 ° 23 ,	38 ° 4 ,	25318	0	25318
<b>12.00</b>	<b>71 ° 5 ,</b>	<b>0 ° 0 ,</b>	<b>25942</b>	<b>0</b>	<b>25942</b>
13.00	67 ° 23 ,	-38 ° 4 ,	25318	0	25318
14.00	58 ° 51 ,	-62 ° 16 ,	23486	0	23486
15.00	48 ° 23 ,	-77 ° 36 ,	20573	0	20573
16.00	37 ° 23 ,	-88 ° 59 ,	16776	0	16776
17.00	26 ° 20 ,	-98 ° 38 ,	12354	0	12354
18.00	15 ° 34 ,	-107 ° 49 ,	7609	0	7609
19.00	5 ° 18 ,	-117 ° 6 ,	2865	0	2865

**Valutazione dei livelli di illuminamento con modello di cielo sereno standard CIE** La valutazione del modello di cielo sereno deve essere effettuata in riferimento alla posizione del sole per alcuni periodi dell'anno (per esempio uno per la "stagione fredda", gennaio, uno per la "stagione calda", luglio). La posizione apparente del sole viene determinata attraverso la conoscenza di due angoli, azimutale e di altezza solare, variabili in funzione della latitudine e longitudine e consente di valutare la presenza dell'irraggiamento solare diretto, la sua disponibilità temporale nonché gli angoli di incidenza dei raggi solari sulla zona di analisi (raggi solari bassi o alti rispetto all'orizzonte).

Nella figure che seguono, è rappresentato in forma grafica e tabellare il percorso del sole per alcuni giorni e mesi dell'anno. Le informazioni contenute nelle due figure serviranno alla realizzazione delle assonometrie solari, strumento utile per la valutazione dell'accesso al sole che permette di valutare i livelli di illuminamento presenti all'interno degli ambienti abitativi e il fenomeno del surriscaldamento estivo dovuto all'irraggiamento solare.

### Stereographic Diagram

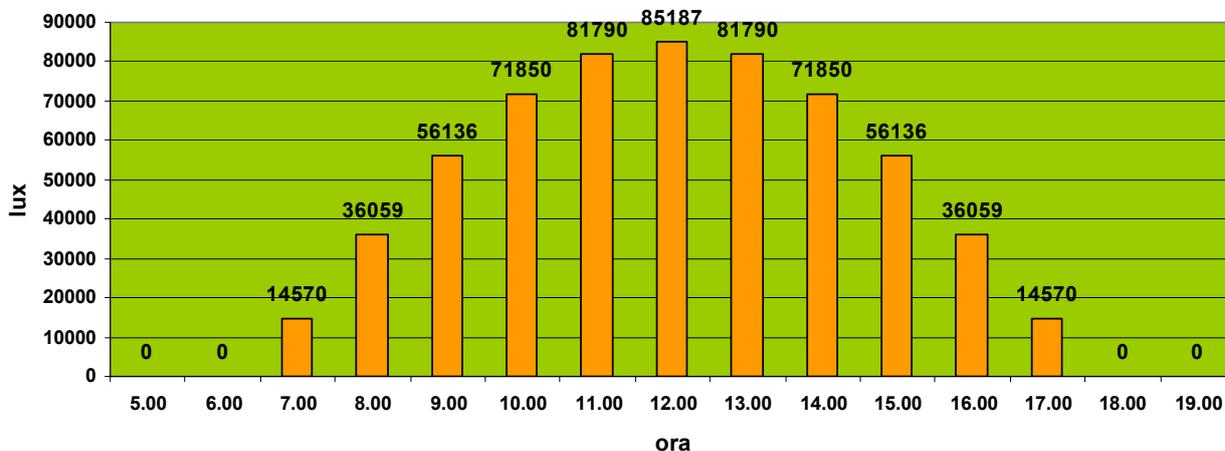
Location: 42.0°, 13.0°  
 Sun Position: 175.4°, 52.0°  
 HSA: 175.4°  
 VSA: 127.9°



### Percorso del sole relativo alla latitudine di TOCCO Dda CASARIA

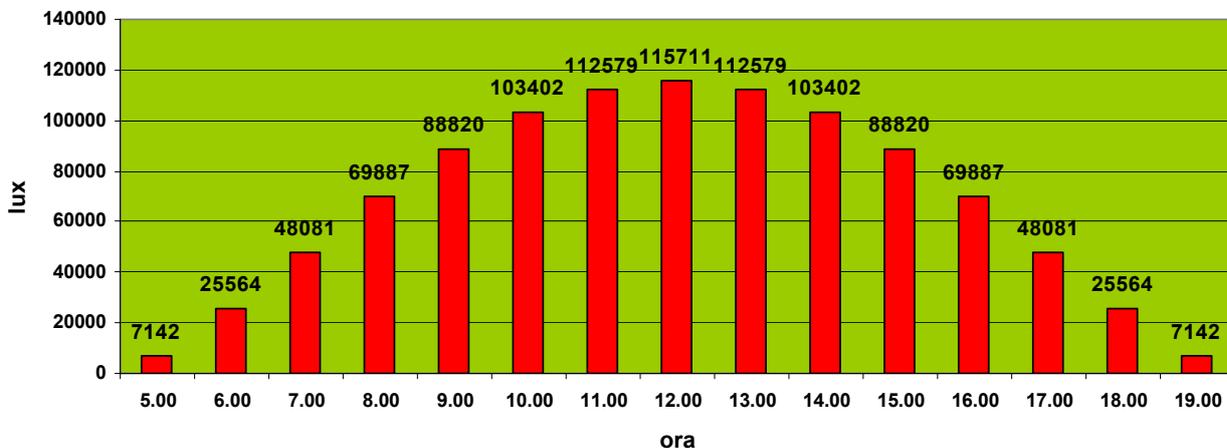
**Livelli di illuminamento (lux) sul piano orizzontale esterno nel giorno 21 alle varie ore del giorno nei mesi di marzo , giugno e dicembre riferiti alla latitudine di 42°12') in condizioni di CIELO SERENO:**

livello di illuminamento orario su piano orizzontale mese di marzo



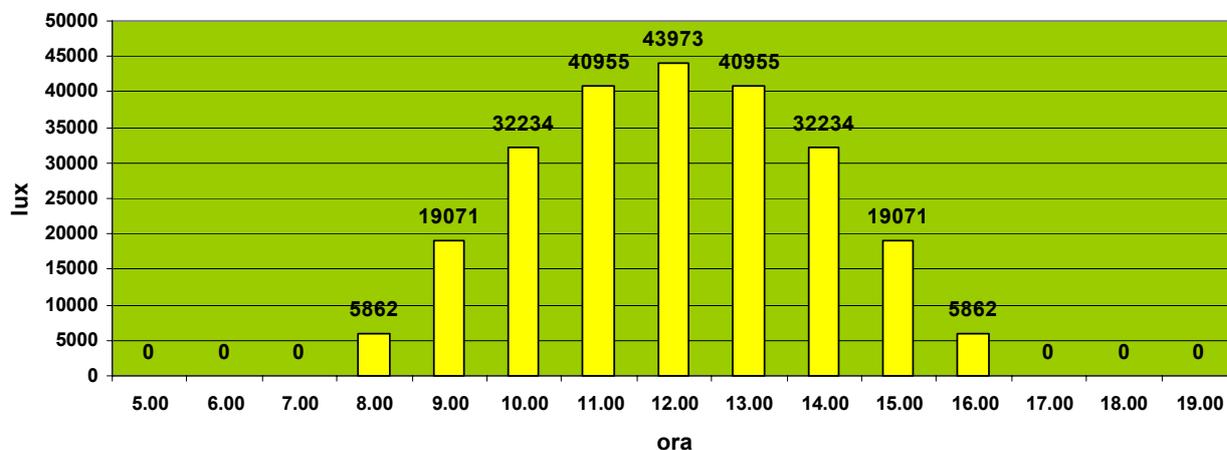
ALTEZZA SOLARE, AZIMUT E LIVELLO DI ILLUMINAMENTO ORIZZONTALE ORARIO					
hh:mm	As ( ° ' )	Bs ( ° ' )	Illuminamento diffuso Edh (lux)	Illuminamento diretto Esh (lux)	Illuminamento totale Egh (lux)
5.00	0 ° 0 ,	0 ° 0 ,	0	0	0
6.00	0 ° 0 ,	0 ° 0 ,	0	0	0
7.00	9 ° 62 ,	101 ° 27 ,	7537	7032	14570
8.00	20 ° 35 ,	67 ° 39 ,	10280	25779	36059
9.00	30 ° 17 ,	54 ° 61 ,	12102	44034	56136
10.00	38 ° 27 ,	39 ° 42 ,	13317	58533	71850
11.00	44 ° 2 ,	21 ° 6 ,	14023	67767	81790
<b>12.00</b>	<b>46 ° 5 ,</b>	<b>0 ° 0 ,</b>	<b>14255</b>	<b>70932</b>	<b>85187</b>
13.00	44 ° 2 ,	-21 ° 6 ,	14023	67767	81790
14.00	38 ° 27 ,	-39 ° 42 ,	13317	58533	71850
15.00	30 ° 17 ,	-54 ° 61 ,	12102	44034	56136
16.00	20 ° 35 ,	-67 ° 39 ,	10280	25779	36059
17.00	9 ° 62 ,	101 ° 27 ,	7537	7032	14570
18.00	0 ° 0 ,	0 ° 0 ,	0	0	0
19.00	0 ° 0 ,	0 ° 0 ,	0	0	0

livello di illuminamento orario su piano orizzontale mese di giugno



ALTEZZA SOLARE, AZIMUT E LIVELLO DI ILLUMINAMENTO ORIZZONTALE ORARIO					
hh:mm	As ( ° ' )	Bs ( ° ' )	Illuminamento diffuso Edh (lux)	Illuminamento diretto Esh (lux)	Illuminamento totale Egh (lux)
5.00	5 ° 18 ,	117 ° 6 ,	5794	1347	7142
6.00	15 ° 34 ,	107 ° 49 ,	9114	16449	25564
7.00	26 ° 20 ,	98 ° 38 ,	11416	36665	48081
8.00	37 ° 23 ,	88 ° 59 ,	13173	56715	69887
9.00	48 ° 23 ,	77 ° 36 ,	14498	74322	88820
10.00	58 ° 51 ,	62 ° 16 ,	15432	87969	103402
11.00	67 ° 23 ,	38 ° 4 ,	15990	96589	112579
<b>12.00</b>	<b>71 ° 5 ,</b>	<b>0 ° 0 ,</b>	<b>16175</b>	<b>99535</b>	<b>115711</b>
13.00	67 ° 23 ,	-38 ° 4 ,	15990	96589	112579
14.00	58 ° 51 ,	-62 ° 16 ,	15432	87969	103402
15.00	48 ° 23 ,	-77 ° 36 ,	14498	74322	88820
16.00	37 ° 23 ,	-88 ° 59 ,	13173	56715	69887
17.00	26 ° 20 ,	-98 ° 38 ,	11416	36665	48081
18.00	15 ° 34 ,	-107 ° 49 ,	9114	16449	25564
19.00	5 ° 18 ,	-117 ° 6 ,	5794	1347	7142

livello di illuminamento orario su piano orizzontale mese di dicembre



ALTEZZA SOLARE, AZIMUT E LIVELLO DI ILLUMINAMENTO ORIZZONTALE ORARIO					
hh:mm	As ( ° ' )	Bs ( ° ' )	Illuminamento diffuso Edh (lux)	Illuminamento diretto Esh (lux)	Illuminamento totale Egh (lux)
5.00	0 ° 0 ,	0 ° 0 ,	0	0	0
6.00	0 ° 0 ,	0 ° 0 ,	0	0	0
7.00	0 ° 0 ,	0 ° 0 ,	0	0	0
8.00	4 ° 10 ,	52 ° 57 ,	5269	593	5862
9.00	12 ° 20 ,	41 ° 42 ,	8252	10819	19071
10.00	18 ° 47 ,	28 ° 66 ,	9879	22355	32234
11.00	22 ° 58 ,	14 ° 63 ,	10762	30193	40955
<b>12.00</b>	<b>24 ° 21 ,</b>	<b>0 ° 0 ,</b>	<b>11046</b>	<b>32928</b>	<b>43973</b>
13.00	22 ° 58 ,	14 ° 63 ,	10762	30193	40955
14.00	18 ° 47 ,	28 ° 66 ,	9879	22355	32234
15.00	12 ° 20 ,	41 ° 42 ,	8252	10819	19071
16.00	4 ° 10 ,	52 ° 57 ,	5269	593	5862
17.00	0 ° 0 ,	0 ° 0 ,	0	0	0
18.00	0 ° 0 ,	0 ° 0 ,	0	0	0
19.00	0 ° 0 ,	0 ° 0 ,	0	0	0

## REQUISITI ENERGETICI DEGLI EDIFICI (Allegato C al D.Lgs. 311/06)

### Fabbisogno di energia primaria\_

Indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale per la zona climatica D in base ai valori prestazioni riportati nell'allegato C del D.Lgs 192/05 e successiva modifica con il D.Lgs. 311/06 e S.M.I :

Edifici residenziali della **classe E1**, esclusi collegi, conventi, case di pena, e caserme

<b>TABELLA 1.2</b>		<b>EPI limite dal 1 gennaio 2008</b> Valori limite per la climatizzazione invernale espressi in kWh/m <sup>2</sup> anno	
S/V	Zona climatica		
	D		
	1401 GG	2100 GG	
≤ 0.2	23	37	
≥ 0.9	78	100	

<b>TABELLA 1.3</b>		<b>EPI limite dal 1 gennaio 2010</b> Valori limite per la climatizzazione invernale espressi in kWh/m <sup>2</sup> anno	
S/V	Zona climatica		
	D		
	1401 GG	2100 GG	
≤ 0.2	21.3	34	
≥ 0.9	68	88	

Per tutti gli altri edifici

<b>TABELLA 1.5</b>		<b>EPI limite dal 1 gennaio 2008</b> Valori limite per la climatizzazione invernale espressi in kWh/m <sup>3</sup> anno	
S/V	Zona climatica		
	D		
	1401 GG	2100 GG	
≤ 0.2	6.5	10.5	
≥ 0.9	20	26	

<b>TABELLA 1.6</b>		<b>EPI limite dal 1 gennaio 2010</b> Valori limite per la climatizzazione invernale espressi in kWh/m <sup>3</sup> anno	
S/V	Zona climatica		
	D		
	1401 GG	2100 GG	
≤ 0.2	6	9.6	
≥ 0.9	17.3	22.5	

## Trasmittanza termica delle strutture\_

Tabella 2.1	<b>Strutture opache verticali</b>		
	valori limite di trasmittanza termica U espressa in W/m <sup>2</sup> K		
zona climatica	<b>dal 1 gennaio 2006</b> U ( W/m <sup>2</sup> K )	<b>dal 1 gennaio 2008</b> U ( W/m <sup>2</sup> K )	<b>dal 1 gennaio 2010</b> U ( W/m <sup>2</sup> K )
<b>D</b>	0.50	0.40	0.36

Tabella 3.1	<b>Strutture opache orizzontali o inclinate</b>		
	COPERTURE-valori limite di trasmittanza termica U espressa in W/m <sup>2</sup> K		
zona climatica	<b>dal 1 gennaio 2006</b> U ( W/m <sup>2</sup> K )	<b>dal 1 gennaio 2008</b> U ( W/m <sup>2</sup> K )	<b>dal 1 gennaio 2010</b> U ( W/m <sup>2</sup> K )
<b>D</b>	0.46	0.35	0.32

Tabella 3.2	<b>Strutture opache orizzontali verso locali non riscaldati</b>		
	valori limite di trasmittanza termica U espressa in W/m <sup>2</sup> K		
zona climatica	<b>dal 1 gennaio 2006</b> U ( W/m <sup>2</sup> K )	<b>dal 1 gennaio 2008</b> U ( W/m <sup>2</sup> K )	<b>dal 1 gennaio 2010</b> U ( W/m <sup>2</sup> K )
<b>D</b>	0.46	0.41	0.36

Tabella 4.a	<b>Chiusure trasparenti</b>		
	valori limite di trasmittanza termica U espressa in W/m <sup>2</sup> K		
zona climatica	<b>dal 1 gennaio 2006</b> U ( W/m <sup>2</sup> K )	<b>dal 1 gennaio 2008</b> U ( W/m <sup>2</sup> K )	<b>dal 1 gennaio 2010</b> U ( W/m <sup>2</sup> K )
<b>D</b>	3.1	2.8	2.4

Tabella 4.b	<b>Vetri</b>		
	valori limite di trasmittanza termica U espressa in W/m <sup>2</sup> K		
zona climatica	<b>dal 1 gennaio 2006</b> U ( W/m <sup>2</sup> K )	<b>dal 1 gennaio 2008</b> U ( W/m <sup>2</sup> K )	<b>dal 1 gennaio 2011</b> U ( W/m <sup>2</sup> K )
<b>D</b>	2.6	2.1	1.9

## Organizzazione ed utilizzo del verde per il miglioramento del microclima esterno

Il verde urbano svolge numerose azioni positive troppo spesso sottovalutate: effetto benefico sul microclima esterno ed interno, riduce e controlla i livelli di anidride carbonica, migliora la qualità dell'aria, migliora il bilancio idrico, controlla l'erosione del suolo ecc. Oltre ai benefici di tipo ambientale e climatico che possono scaturire da una corretta e sapiente progettazione degli spazi verdi esterni, il sistema del verde urbano deve essere progettato per integrarsi con gli spazi esterni, pubblici e privati, e con i percorsi ciclabili e pedonali, evitando il più possibile zone di verde residuale disorganiche, finalizzate esclusivamente al reperimento degli standard richiesti dalle norme.

La **mitigazione del microclima** e il controllo del **comfort termico**, svolgono un ruolo fondamentale nel miglioramento della qualità della vita in ambiente urbano e, la progettazione delle aree verdi in considerazione delle relazioni tra verde e clima, permette di mitigare il microclima con prestazioni di comfort ambientale piacevole, cioè fresco ed ombreggiato in estate e temperato e soleggiato in inverno.

Il microclima ideale è quello che sviluppa condizioni ambientali disomogenee in una stessa area, cioè non stazionarie e le variabili che lo caratterizzano sono: temperatura dell'aria, radiazione solare, umidità relativa e la velocità del vento.

Quindi, per garantire effetti positivi sul microclima, sia esterno che interno agli edifici, si raccomanda di considerare i benefici apportati dalle prestazioni ambientali offerte dalle aree verdi in termini sia di protezione dalla radiazione solare (grazie all'ombreggiamento degli edifici nel periodo estivo e di mitigazione delle temperature grazie all'evapo-traspirazione), sia di protezione dai venti freddi nel periodo invernale, sia di protezione dai rumori esterni contribuendo a migliorare il microclima acustico all'interno degli spazi di vita.

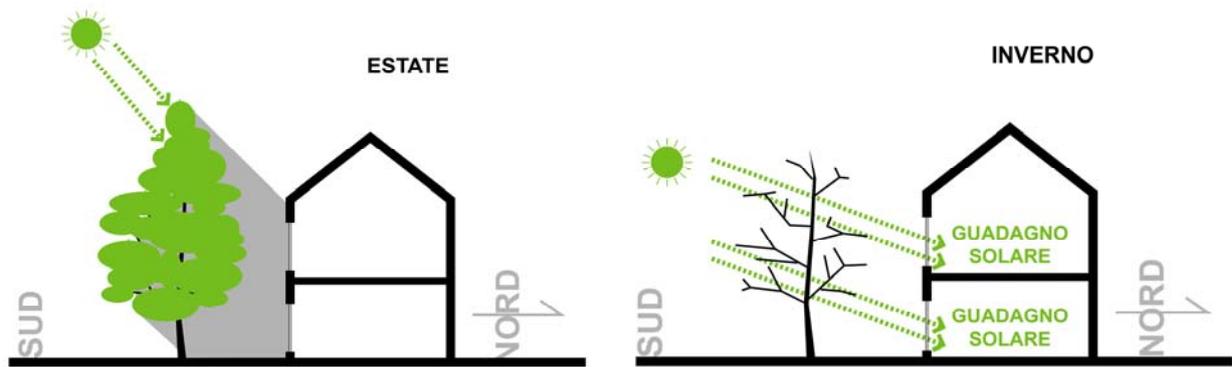
A tal fine, si elencano alcune delle possibili soluzioni progettuali che si possono ottenere attraverso l'utilizzo del verde:

- **Schermatura dalla radiazione solare** (ricorso a rampicanti a foglia caduca sulle facciate esposte a est e a ovest per favorire la riduzione dell'assorbimento della radiazione solare in estate, utilizzo di piante sempreverdi nella zona a nord dell'edificio, ecc.);
- **schermatura dai venti** mediante la realizzazione di barriere frangivento;
- **schermatura acustica** mediante barriere realizzate con alberatura fitta o con movimenti del terreno.

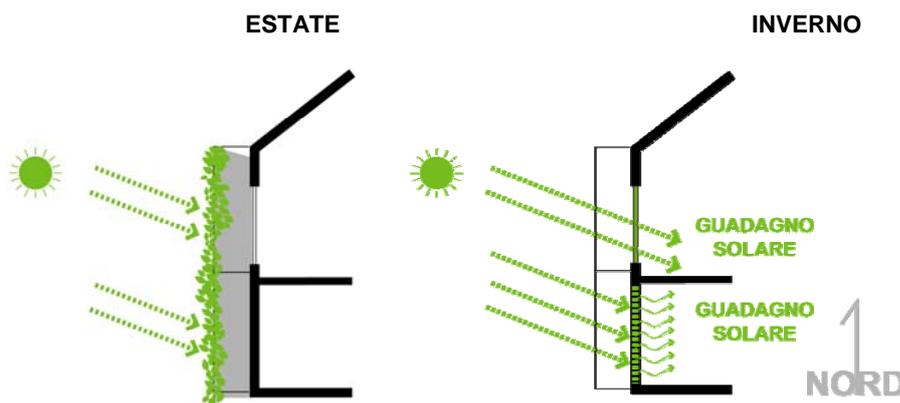
**Schermatura dalla radiazione solare** La caratteristica che incide maggiormente sul bilancio energetico degli spazi esterni, è la radiazione solare; per un progetto che mira a creare comfort soprattutto estivo, il primo passo da seguire è il **controllo della radiazione solare**, per impedire il suo effetto negativo (fenomeno del surriscaldamento) sugli edifici e sulle persone. La radiazione solare può essere **diretta**, proveniente direttamente dal sole, **diffusa**, oppure **riflessa** dal terreno e dagli edifici; per intercettarla e quindi respingerla si utilizzano sistemi di schermatura, che devono tenere conto però della variabilità della posizione del sole in relazione al ciclo solare giornaliero e stagionale.

Il verde può essere un ottimo elemento di progetto utile a schermare sia l'edificio che il suo ambiente esterno dalla radiazione solare. Alcuni modi di utilizzo del verde sono ad esempio:

- *favorire l'ombreggiamento estivo delle superfici vetrate esposte a sud, sud est e sud ovest*, considerando che se d'estate vanno schermate per impedire il surriscaldamento degli ambienti interni, d'inverno non devono impedire al sole di penetrare all'interno, quindi vanno scelti alberi a foglia caduca che, perdendo la chioma durante la stagione fredda, permettono ai raggi del sole di raggiungere l'edificio riscaldandolo;

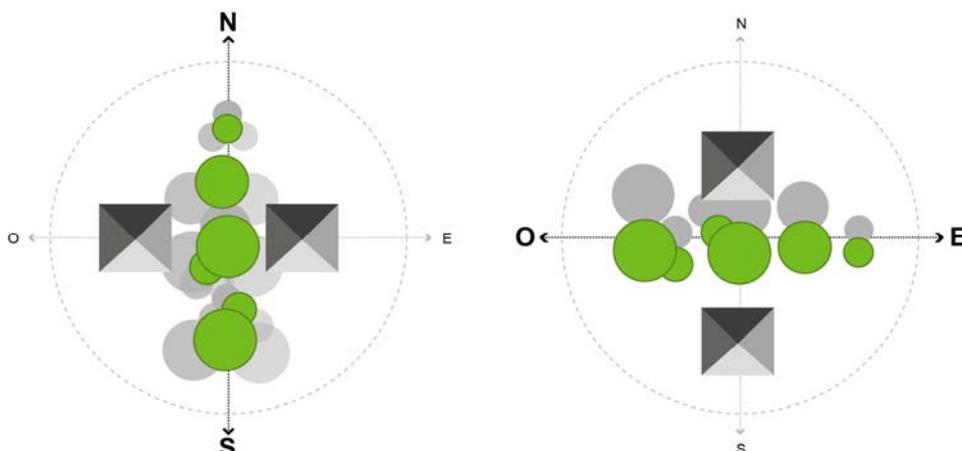


- schermature con rampicanti a foglia caduca sulle facciate esposte a est e a ovest per favorire la riduzione dell'assorbimento della radiazione solare in estate e permetterla invece durante l'inverno. Una pelle verde di questo tipo può svolgere una funzione di controllo ambientale in quanto assorbe la radiazione incidente senza rifletterla all'ambiente circostante, riducendo sensibilmente le temperature superficiali interne ed esterne dell'edificio, il che di conseguenza riduce il bisogno di raffrescamento artificiale estivo.



Una buona soluzione può essere quella di una sovrastruttura, una sorta di rete per tenere lo schermo verde leggermente staccato dalla muratura (10-15 cm), sia per permettere una certa ventilazione, sia per evitare che la vegetazione possa danneggiare il muro stesso.

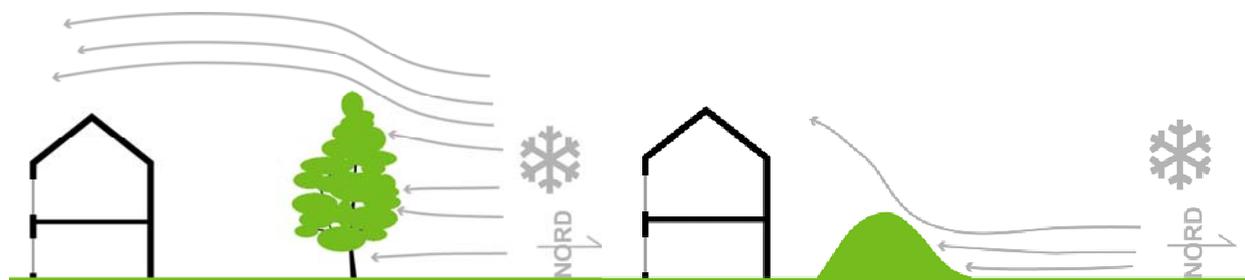
- creare delle zone di ombra nei pressi degli edifici e delle pareti perimetrali esposte a est e ovest tramite alberi, cespugli, arbusti ecc., considerando che gli elementi disposti lungo l'asse nord-sud fanno ombra su entrambi i lati, mentre quelli disposti lungo l'asse est- ovest fanno ombra prevalentemente a nord; in inverno, quando il sole è basso e l'ombra diventa molto più lunga, per le piantumazioni sistemate a sud è preferibile scegliere quelle a foglia caduca in modo da consentire comunque il soleggiamento;



- ombreggiamento delle zone adibite a parcheggio o di altre zone stradali utilizzate per lo stazionamento dei veicoli;



**schermatura dai venti** La vegetazione può essere usata per la formazione di barriere frangivento a protezione degli edifici, da realizzarsi con piante che abbiano caratteristiche di dimensione, collocazione nello spazio, orientamento, porosità e vicinanza adatte a svolgere la funzione di barriera, in relazione alla posizione dell'edificio e alla direzione dei venti prevalenti. Possono essere siepi arboree o filari di alberi a seconda del tipo di schermo di cui si ha bisogno; gli alberi sono gli elementi naturali più adatti a svolgere una funzione di protezione degli edifici, perché possono essere molto alti e perché sono in grado con la loro chioma di modificare sia la direzione che la velocità del vento: più la chioma è densa, maggiore è l'effetto. E' opportuno specificare che gli alberi a foglia caduca sono efficaci in estate ma non in inverno quando l'albero è spoglio, quindi per il controllo della ventilazione in inverno, necessaria per ripararsi dai venti freddi, bisognerà scegliere delle essenze sempreverdi. Più la barriera è alta, maggiore è la profondità di protezione, ossia la porzione di territorio che beneficia della presenza degli alberi. Un ulteriore aiuto può essere dato da variazioni del terreno come dossi o piccole collinette, che possono aiutare anche a incanalare i venti durante l'estate, per migliorare la ventilazione naturale nei pressi dell'edificio.

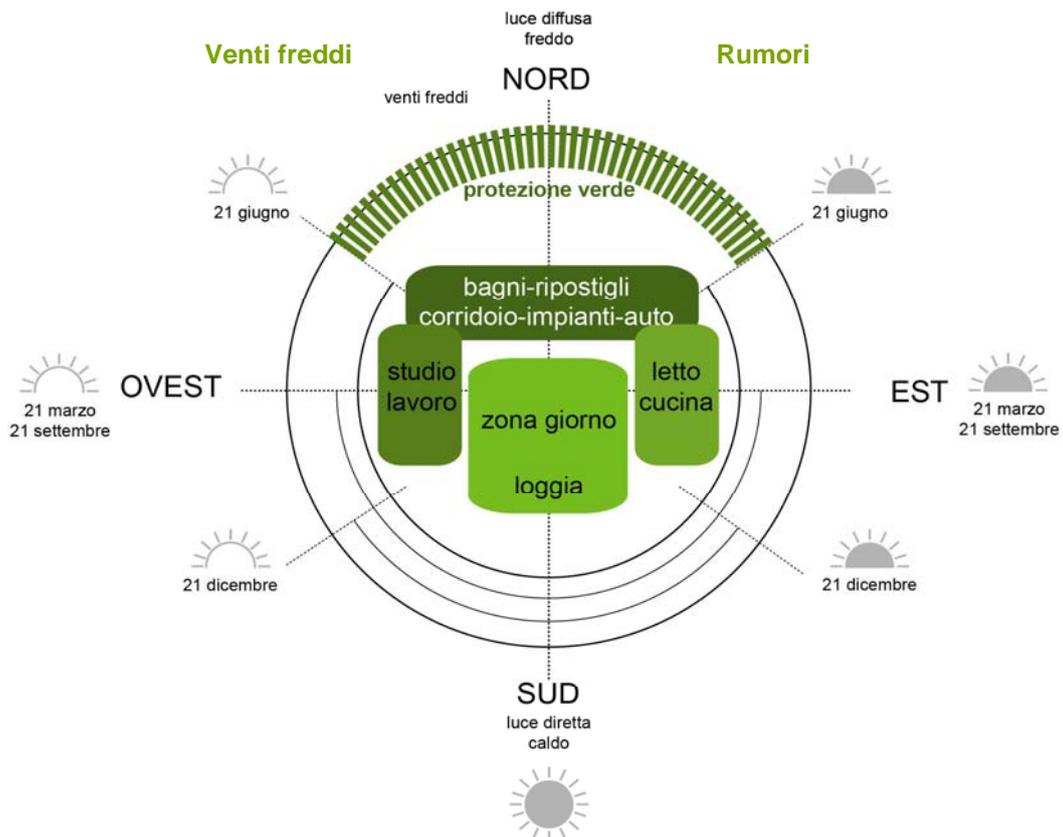


**schermatura dai rumori** La vegetazione può inoltre essere utile a schermare il rumore e a pulire l'aria dalla polvere e ad ossigenarla. Per schermare le sorgenti di rumore si possono utilizzare barriere vegetali composte da specie arboree e arbustive o variazioni altimetriche del terreno come piccole colline artificiali, che possano contribuire all'attenuazione del rumore.



Per la scelta delle specie valutare: densità della chioma, periodi di fogliazione e defogliazione, dimensioni e forma, accrescimento dell'essenza usata, in base anche al livello di protezione necessaria.

Schema tipo di disposizione degli ambienti in un'abitazione in base all'esposizione: **posizionamento di una barriera vegetale a protezione del lato freddo del sito.**



## Contenimento delle superfici impermeabilizzate

La riduzione delle superfici impermeabilizzate a favore di maggiori superfici drenanti, oltre al miglioramento del microclima esterno ed interno agli edifici, favorisce un naturale deflusso delle acque meteoriche verso le falde acquifere.

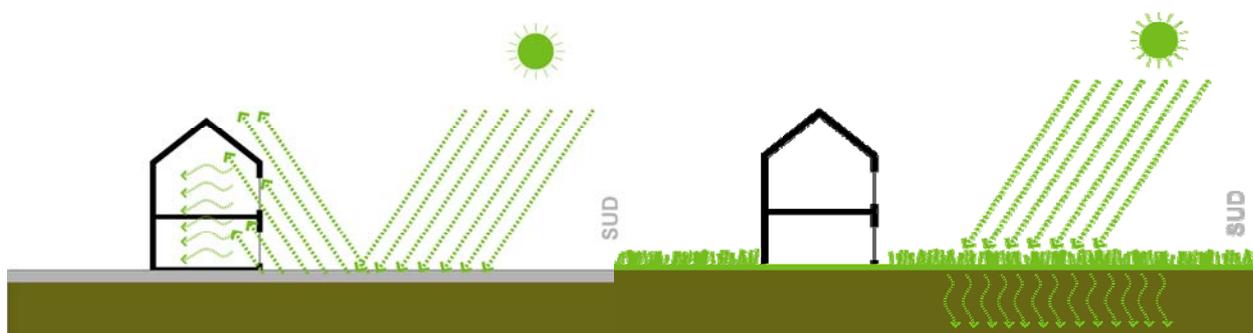
La necessità di garantire per ciascun intervento una percentuale di superficie “scoperta e drenante”, nasce dall’esigenza di mantenere l’equilibrio idrogeologico del territorio e contenere l’impatto sull’ambiente dovuto alla progressiva impermeabilizzazione di aree libere. Nella progettazione degli spazi esterni dell’edificio, è quindi importante prevedere la riduzione di spazi esterni pavimentati o asfaltati, anche lì dove sono previste zone da destinare a parcheggio. Questa strategia migliora il microclima riducendo le temperature superficiali, soprattutto in estate, con effetti benefici sul comfort esterno; inoltre favorisce il drenaggio delle acque meteoriche verso la falda acquifera.

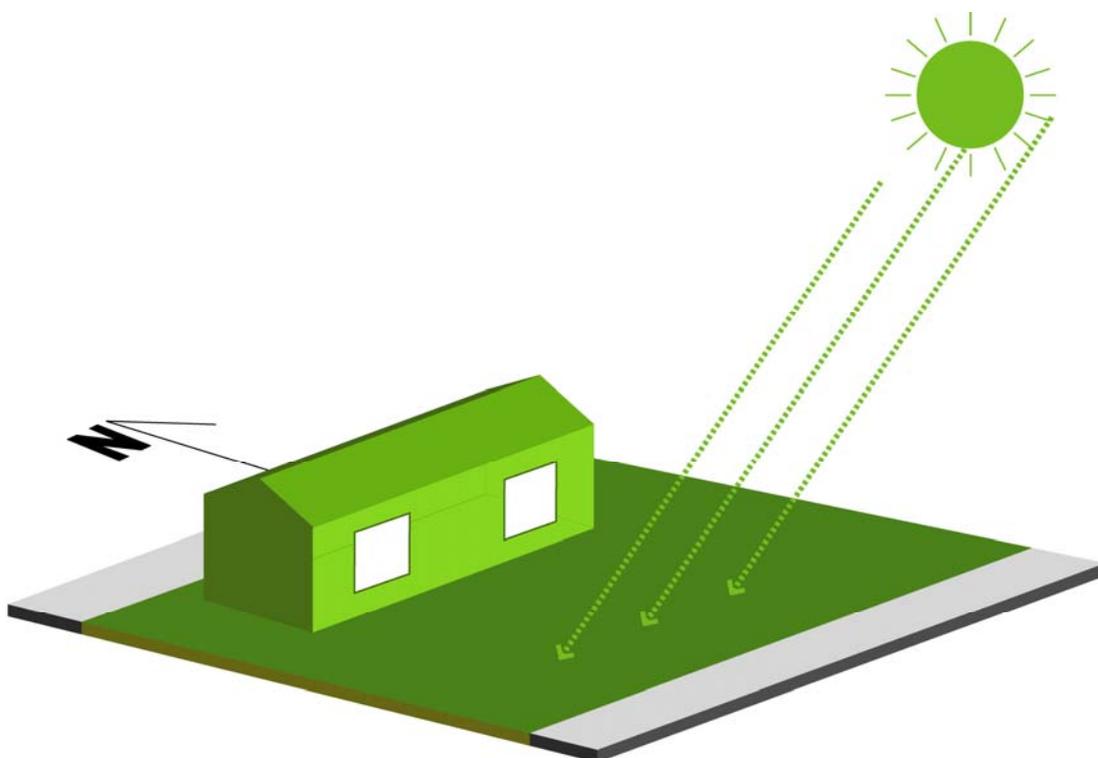
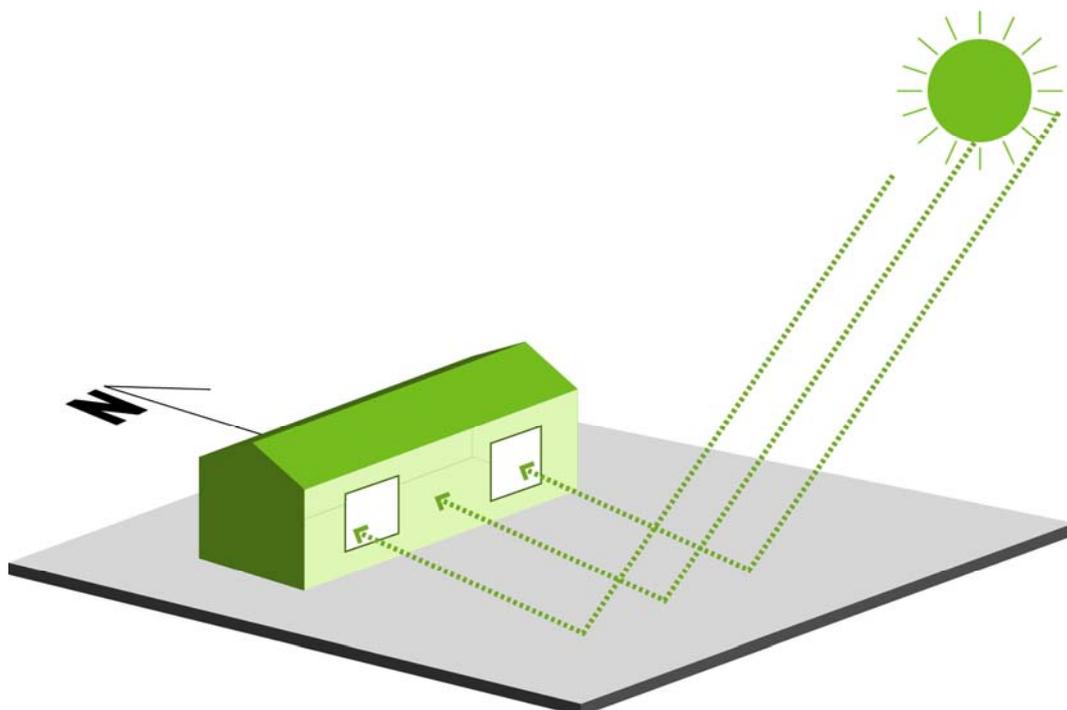
E’ importante quindi tenere conto di due aspetti principali:

- **uso di superfici verdi negli spazi di pertinenza degli edifici**, sia calpestabili che carrabili, in alternativa ai fondi asfaltati o cementati. Questo permette una riduzione delle temperature superficiali perché un tappeto erboso può assorbire circa l’80% dell’energia incidente, gran parte della quale viene usata per l’evapotraspirazione che mantiene bassa la temperatura superficiale. Inoltre il verde ha un coefficiente di riflessione molto basso, che permette di ridurre la radiazione riflessa verso le aree vicine;
- **garantire un minimo pari al 30% di superficie drenante** della superficie totale del lotto, in grado di favorire l’infiltrazione dell’acqua nel terreno evitandone il ristagno; qualora non fosse possibile una tale quantità di superficie permeabile, si considera comunque valido l’utilizzo di tecnologie che consentano il recupero delle acque superficiali e la reimmissione in falda delle acque successive alla prima pioggia.

**Albedo**\_ La presenza di superfici impermeabilizzate, può inoltre essere causa del fenomeno dell’albedo, la radiazione solare, diretta e diffusa, riflessa da tutte le superfici esposte al sole. Questa quantità di radiazione solare che viene riflessa, viene poi riassorbita dalle superfici opache che delimitano uno spazio, con conseguente aumento della temperatura ambiente. Più una superficie è chiara, più luce riflette, e quindi più alto è il valore di albedo. Per evitare gli effetti negativi di questo fenomeno è consigliabile predisporre superfici esterne scure o come già detto superfici naturali come un tappeto erboso, capaci di assorbire un’elevata quantità di radiazione e quindi rendere l’ambiente esterno più confortevole.

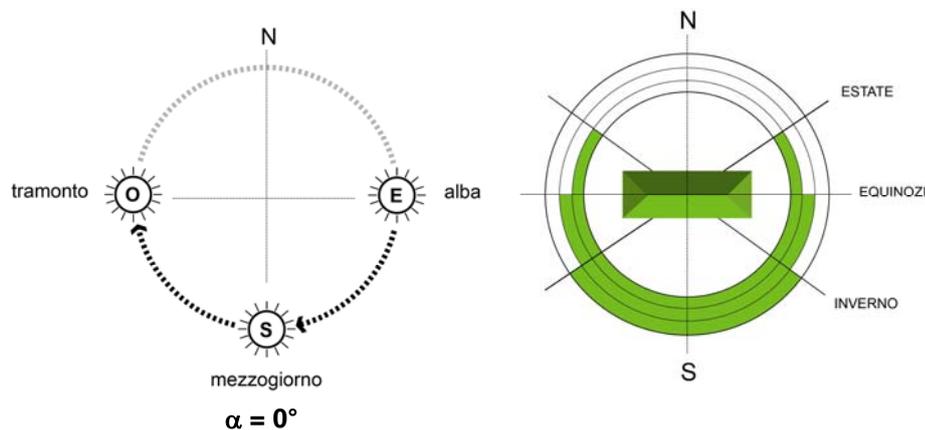
Allo stesso tempo però, c’è da dire che la radiazione che non viene riflessa nell’ambiente, viene assorbita dalla superficie stessa, che quindi si riscalda. Ad esempio l’asfalto che è molto scuro, ha un valore molto basso di albedo (cioè riflette poca luce), ma tutta quella luce non riflessa viene assorbita, ed è per questo che si surriscalda molto soprattutto in estate. Questa radiazione immagazzinata viene poi anch’essa re-immessa nell’ambiente sotto forma di calore, diventando causa delle cosiddette “isole di calore” che innalzano in maniera sensibile la percezione del caldo nelle aree urbanizzate, creando condizioni di disagio soprattutto nelle stagioni calde.



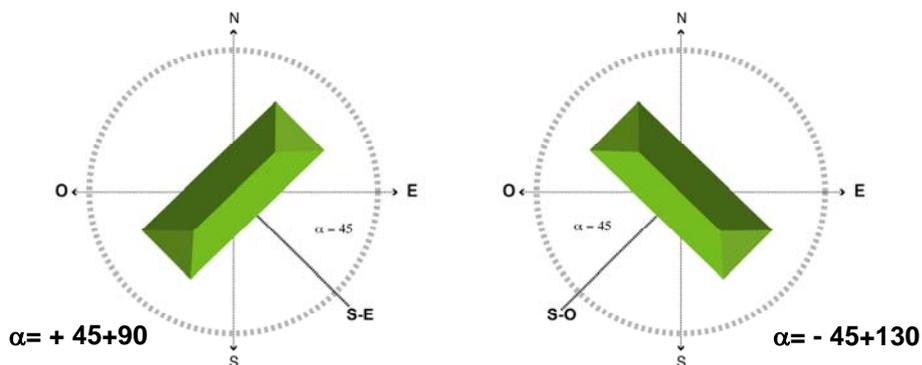


## Orientamento degli edifici in relazione al soleggiamento del sito

**Soleggiamento del sito** L'orientamento degli edifici all'interno di un lotto deve privilegiare il rapporto tra l'edificio e l'ambiente esterno allo scopo di migliorare il microclima interno, sfruttando le risorse energetiche rinnovabili. Questo significa ottimizzare l'orientamento degli edifici per massimizzare l'apporto solare passivo nel periodo invernale e controllare quanto più possibile la radiazione solare nel periodo estivo.



Soleggiamento durante le stagioni



L'orientamento di una facciata è definito dall'**angolo azimutale** che indica la deviazione dal SUD geografico. All'orientamento verso SUD corrisponde l'angolo azimutale  $0^\circ$ . L'angolo azimutale si conta spesso in senso orario, partendo da NORD. In questo caso all'orientamento verso SUD corrisponde l'angolo azimutale di  $180^\circ$ .

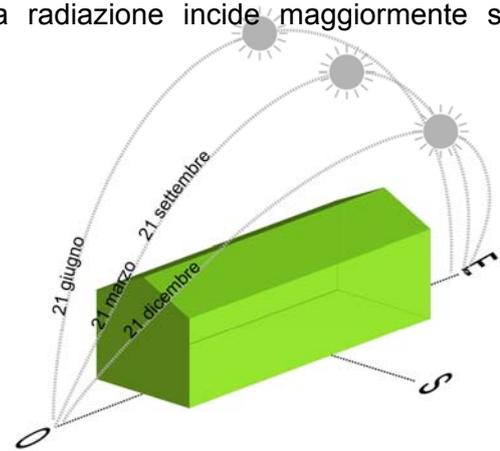
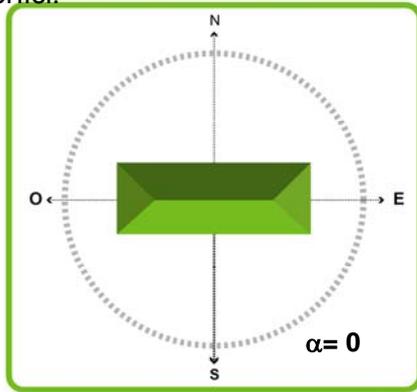
**Dall'orientamento dipende la quantità di apporto solare che un edificio può ricevere.**

### Orientamento S-SE, S-SO

In assenza di ostruzioni fisiche opportunamente documentate, tipo disposizione del lotto non conveniente, elementi naturali o edifici che generano ombre, l'orientamento delle nuove costruzioni dovrebbe essere tale da favorire il risparmio energetico e pertanto, gli spazi principali (la facciata principale) devono preferibilmente essere orientati entro un settore  $\pm 45^\circ$  (angolo  $\alpha$ ) dal Sud geografico.

L'orientamento più vantaggioso è quello verso sud perché le facciate esposte a sud possono ricevere sole durante tutto il giorno. In inverno, la posizione del sole è bassa e la radiazione incide quasi perpendicolarmente alle facciate garantendo il riscaldamento passivo delle superfici murarie, mentre, in estate, quando la posizione del sole è alta, la facciata riceve meno radiazione solare e si può proteggere più facilmente dal momento che l'altezza solare nelle ore centrali è maggiore. Le facciate esposte ad Est e Ovest pongono maggiori problemi perché ricevono luce quando la posizione del sole è bassa, mattina e pomeriggio; per questo motivo

sono difficilmente schermabili dal sole e quindi la radiazione incide maggiormente sulle superfici.

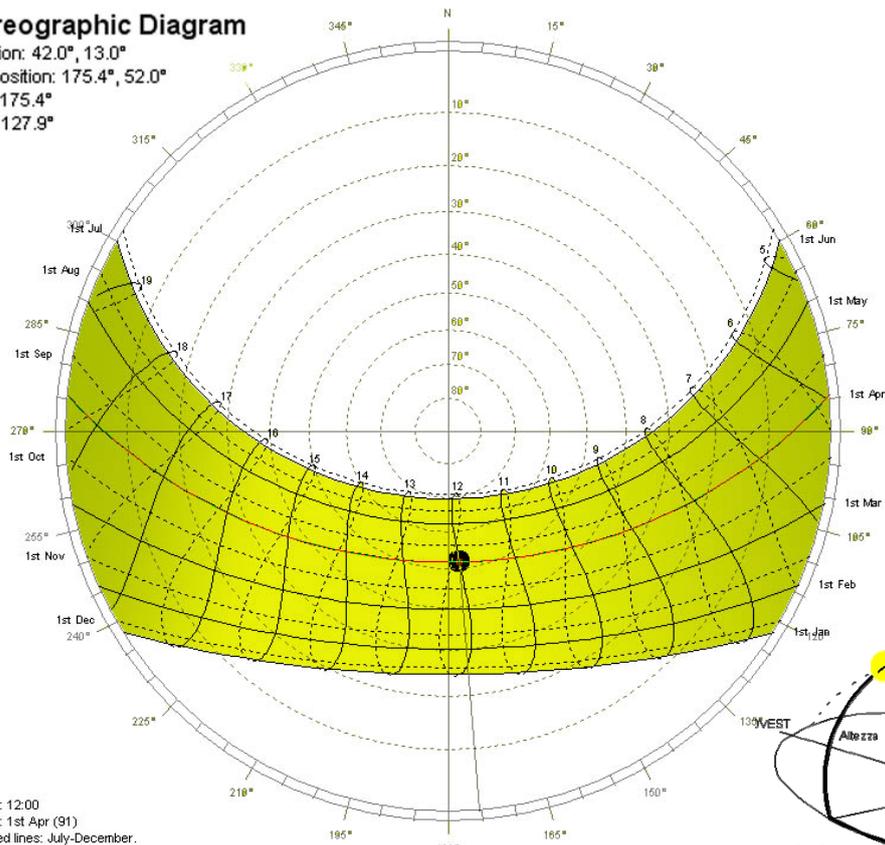


**Controllo dell'ombreggiamento tra gli edifici** Per sfruttare il sole per il riscaldamento passivo, oltre ad orientare bene l'edificio, bisogna collocarlo nel sito in maniera che sia il più possibile soleggiato, considerando che durante i mesi invernali la maggior parte dell'energia solare colpisce la terra tra le 9 e le 15:

- bisogna individuare prima di tutto le aree del sito che ricevono la maggiore radiazione in queste ore e collocare l'edificio nella parte nord di questa area soleggiata; in questo modo sia l'edificio che il giardino e le zone all'aperto, sono soleggiate durante l'inverno. Inoltre, questa area libera posta a sud, sarà utile ad evitare che nuove costruzioni su terreni adiacenti facciano ombra all'edificio. Per riuscire a determinare quali sono i posti con la visuale libera verso il sud, con il minimo di ostacoli al basso sole invernale, ci si può aiutare con un **DIAGRAMMA SOLARE**, utile a valutare le ostruzioni, come alberi, edifici, colline ecc..., che in base alla posizione del sole ci aiuta a valutare l'entità delle ombre prodotte da questi ostacoli;

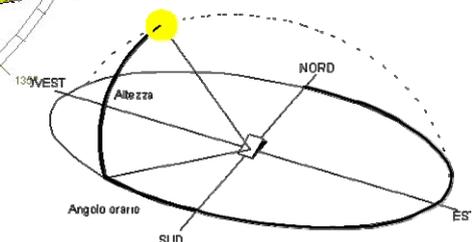
**Stereographic Diagram**

Location: 42.0°, 13.0°  
 Sun Position: 175.4°, 52.0°  
 HSA: 175.4°  
 VSA: 127.9°

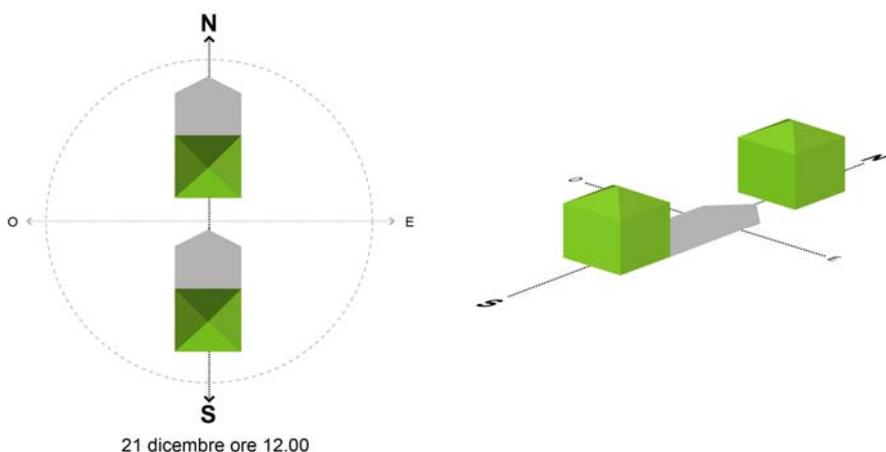
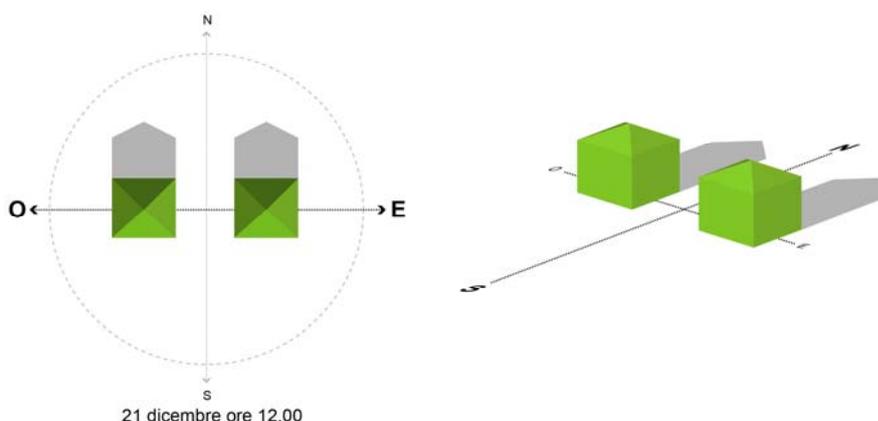
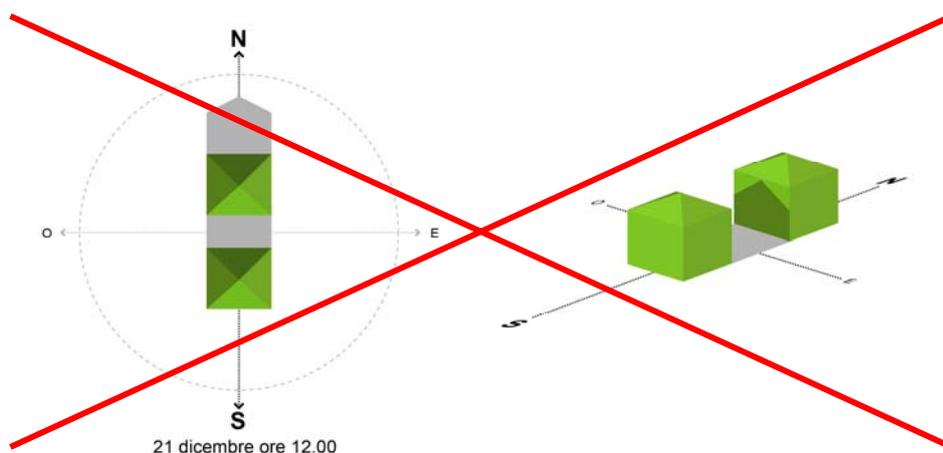


Time: 12:00  
 Date: 1st Apr (91)  
 Dotted lines: July-December.

**Il diagramma solare rappresenta il percorso apparente del sole nei diversi mesi dell'anno. I valori di riferimento sono l'azimut, l'altitudine e l'ora solare.**



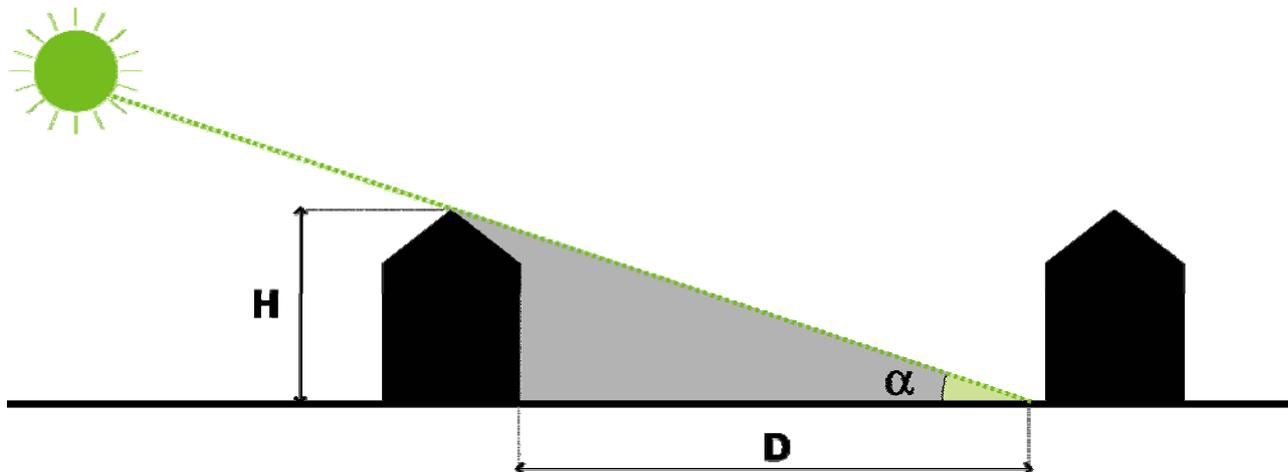
- se il sito è più densamente urbanizzato assume particolare importanza il rispetto delle distanze tra gli edifici; infatti, per garantire la fruizione della luce naturale e l'insolazione **invernale** di tutte le facciate, si raccomanda di mantenere una distanza adeguata tra l'edificio di progetto e quelli adiacenti (esistenti o di progetto) in considerazione del loro orientamento, sempre nel rispetto della normativa vigente. Lo scopo è quello di avere le facciate degli immobili libere il più possibile da ombre portate e di garantire un accesso ottimale alla radiazione solare, in modo che la massima quantità di luce naturale risulti disponibile anche nella peggiore giornata invernale (21 dicembre alle ore 12.00).



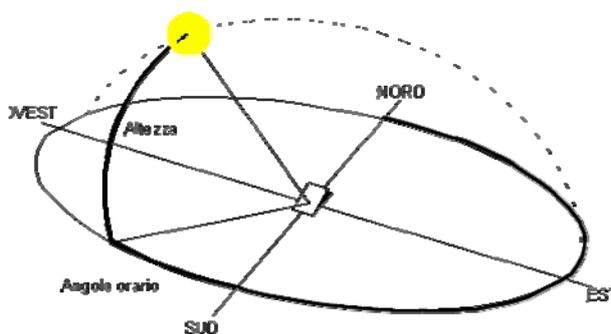
La peggiore condizione riguardo alle ombre portate da edifici attigui riguarda quella di immobili disposti lungo l'asse Nord-Sud con distanze che rispettano i minimi richiesti dalla normativa vigente. In tal caso, il 21 dicembre alle ore 12.00 le facciate risulteranno ombreggiate in maniera consistente o addirittura completamente da edifici attigui. Si raccomanda dunque in fase progettuale:

- di disporre gli edifici lungo l'asse est-ovest

- oppure di aumentare la distanza tra di essi se disposti lungo la direttrice Nord-Sud, per favorire il soleggiamento invernale.



H - altezza edificio;  $\alpha$  - angolo di inclinazione del sole; D – distanza tra gli edifici necessaria affinché non si facciano ombra;  cono d'ombra;



Per conoscere la distanza **D**, prendere i valori di  $\alpha$  dalle tabelle riportate sotto in base all'ora, e costruire geometricamente la sezione. Il valore **Az** insieme ad  $\alpha$  serve a costruire l'assonometria solare che ci da l'esatta posizione del sole nelle varie ore del giorno, e permette quindi di costruire le ombre portate. **LA DISTANZA D VA CALCOLATA NELL'ORA IN CUI L'OMBRA E' PIU' LUNGA, CIOE' IL GIORNO 21 DICEMBRE ALLE ORE 12**

Tablelle con i valori di altitudine e azimut del sole rispetto all'orario per di Tocco da Casauria

**Tabulated Daily Solar Data**

**GIUGNO**

Latitude: 42.0°  
 Longitude: 13.0°  
 Timezone: 15.0° [+1.0hrs]  
 Orientation: 0.0°

Date: 21st June  
 Julian Date: 172  
 Sunrise: 04:37  
 Sunset: 19:41

Local	(Solar)	Azimuth	Altitude
05:00	(04:50)	61.3°	3.6°
05:30	(05:20)	66.1°	8.6°
06:00	(05:50)	70.7°	13.7°
06:30	(06:20)	75.2°	19.1°
07:00	(06:50)	79.8°	24.5°
07:30	(07:20)	84.4°	30.0°
08:00	(07:50)	89.2°	35.6°
08:30	(08:20)	94.4°	41.2°
09:00	(08:50)	100.1°	46.7°
09:30	(09:20)	106.6°	52.1°
10:00	(09:50)	114.4°	57.3°
10:30	(10:20)	124.1°	62.2°
11:00	(10:50)	136.6°	66.5°
11:30	(11:20)	153.0°	69.7°
12:00	(11:50)	173.1°	71.3°
12:30	(12:20)	-165.5°	71.0°
13:00	(12:50)	-146.6°	68.7°
13:30	(13:20)	-131.7°	65.0°
14:00	(13:50)	-120.3°	60.5°
14:30	(14:20)	-111.4°	55.5°
15:00	(14:50)	-104.1°	50.2°
15:30	(15:20)	-97.9°	44.7°
16:00	(15:50)	-92.5°	39.2°
16:30	(16:20)	-87.4°	33.6°
17:00	(16:50)	-82.7°	28.0°
17:30	(17:20)	-78.1°	22.5°
18:00	(17:50)	-73.6°	17.1°
18:30	(18:20)	-69.0°	11.9°
19:00	(18:50)	-64.4°	6.7°
19:30	(19:20)	-59.5°	1.8°

**ORA L**                      **ORA S**                      **Az**                      **α**

**Tabulated Daily Solar Data**

**DICEMBRE**

Latitude: 42.0°  
 Longitude: 13.0°  
 Timezone: 15.0° [+1.0hrs]  
 Orientation: 0.0°

Date: 21st December  
 Julian Date: 365  
 Sunrise: 07:37  
 Sunset: 16:33

Local	(Solar)	Azimuth	Altitude
08:00	(07:54)	126.2°	3.4°
08:30	(08:24)	131.5°	7.7°
09:00	(08:54)	137.2°	11.7°
09:30	(09:24)	143.3°	15.3°
10:00	(09:54)	149.7°	18.3°
10:30	(10:24)	156.5°	20.9°
11:00	(10:54)	163.6°	22.8°
11:30	(11:24)	171.0°	24.0°
12:00	(11:54)	178.5°	24.5°
12:30	(12:24)	-173.9°	24.3°
13:00	(12:54)	-166.5°	23.3°
13:30	(13:24)	-159.3°	21.7°
14:00	(13:54)	-152.3°	19.4°
14:30	(14:24)	-145.8°	16.5°
15:00	(14:54)	-139.6°	13.2°
15:30	(15:24)	-133.7°	9.3°
16:00	(15:54)	-128.2°	5.1°
16:30	(16:24)	-123.1°	0.6°

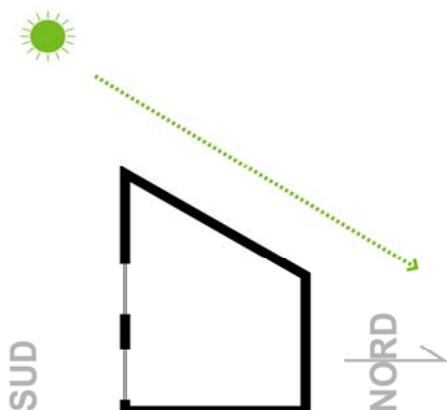
**ORA L**                      **ORA S**                      **Az**                      **α**

## Orientamento delle coperture in funzione del soleggiamento

La copertura è la parte più esposta dell'edificio, sia ai venti che al sole, subisce le maggiori escursioni di temperatura, protegge l'edificio dalle intemperie e dai rumori provenienti dall'esterno. Per essere efficiente dal punto di vista energetico, deve avere un efficace isolamento termico ma deve anche essere ben orientata.

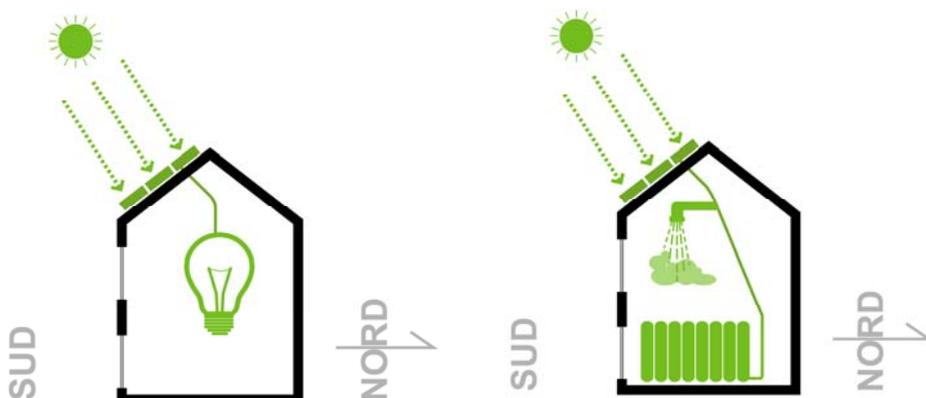
**Orientamento**\_ Soprattutto se è composta da un tetto a una o più falde, l'orientamento della copertura assume particolare importanza ai fini del rendimento energetico generale di un edificio, sia intesa come elemento di supporto per lo sfruttamento attivo dell'energia solare con fonti rinnovabili, sia intesa anche solo come sistema passivo, ovvero come parte importante dell'involucro edilizio, che deve avere caratteristiche di orientamento (così come le pareti) tali da contribuire al miglioramento dell'efficienza energetica globale dell'edificio.

- **assenza di fonti rinnovabili:** se non è prevista la presenza di nessun tipo di sistema attivo di sfruttamento solare, come pannelli solari ecc..., per ridurre i carichi termici stagionali, soprattutto il surriscaldamento in estate, è preferibile predisporre una copertura ad una sola falda orientata a nord, in maniera tale da non esporla alla radiazione solare diretta che surriscalderebbe la superficie, trasmettendo il calore all'interno dell'edificio.



In questo caso l'inclinazione della falda va calcolata in base all'inclinazione massima del sole in estate (21 giugno ore 12.00).

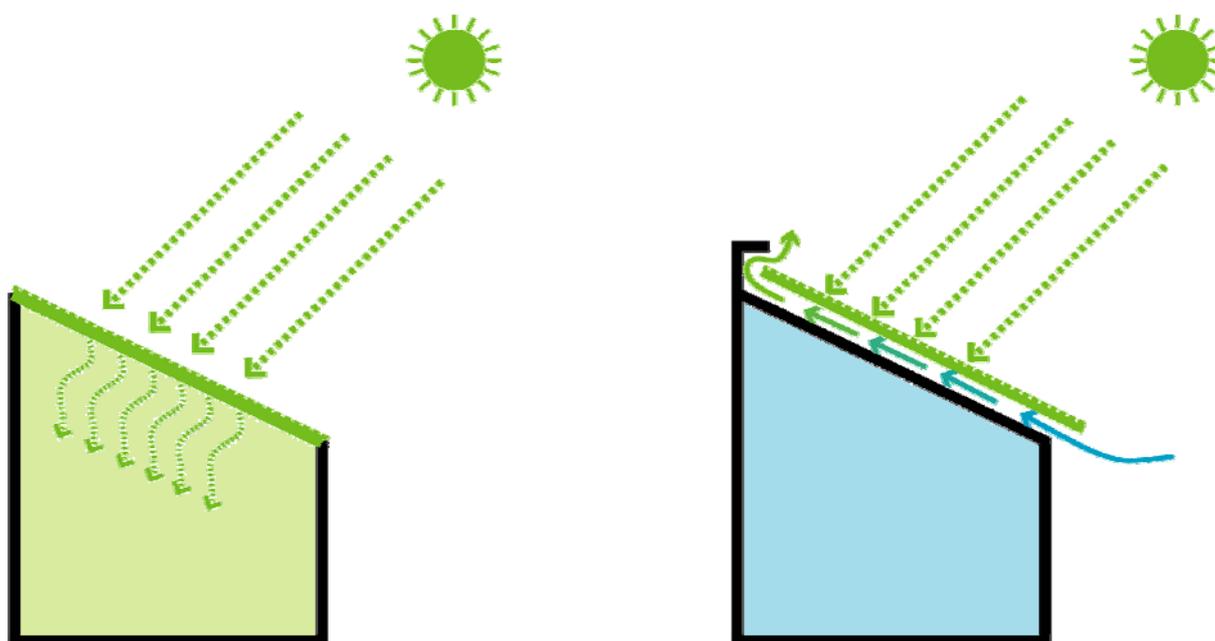
- **presenza di fonti rinnovabili:** per l'installazione di pannelli solari fotovoltaici o di solare termico per ACS (acqua calda sanitaria), l'orientamento della copertura è di fondamentale importanza. I pannelli solari possono essere installati anche su tetti piani, con la struttura di supporto a parte, ma per poterli integrare nella copertura, facendo in modo che i pannelli stessi vadano a sostituire la parte dell'involucro costituita di solito da tegole ecc.. minimizzandone così l'impatto visivo, bisogna orientare le falde a sud (o a limite a sud-est o sud-ovest con piccole perdite di efficienza).



L'inclinazione della falda sarà quella che permette la massima efficienza dell'impianto, cioè intorno ai 30°, un'inclinazione minore comporta comunque grandi perdite di efficienza dell'impianto.

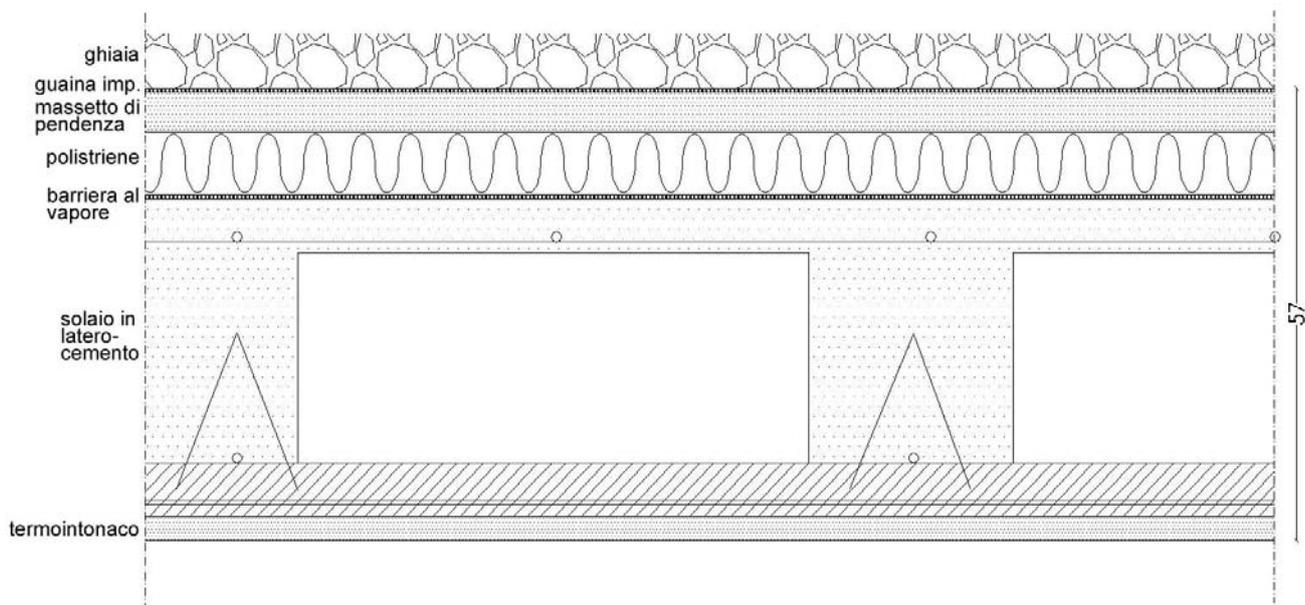
**Tetto ventilato**\_ E' un tipo di tetto in cui, oltre allo strato di isolamento termico tradizionale, è prevista una intercapedine d'aria al di sotto del manto finale, che innesca un moto ascensionale dell'aria: in estate, quando in genere la copertura si riscalda per effetto dell'irraggiamento solare trasmettendo poi il calore all'interno della costruzione, l'aria fresca che penetra dalla linea di gronda, si riscalda nell'intercapedine per effetto dell'irraggiamento, diventa più leggera e fuoriesce dal colmo (per effetto camino), sottraendo il calore accumulato dal materiale di copertura; in inverno la circolazione dell'aria evita la formazione di condensa e muffa, garantendo la durata del materiale isolante.

Tutto ciò contribuisce al miglior funzionamento estivo dell'isolamento termico di tutto il pacchetto copertura e quindi al risparmio energetico, infatti il tetto ventilato è conforme alle prescrizioni del Decreto Legislativo 192/05 e s.m.i. al fine di limitare i fabbisogni energetici per la climatizzazione estiva e di contenere la temperatura interna degli ambienti.

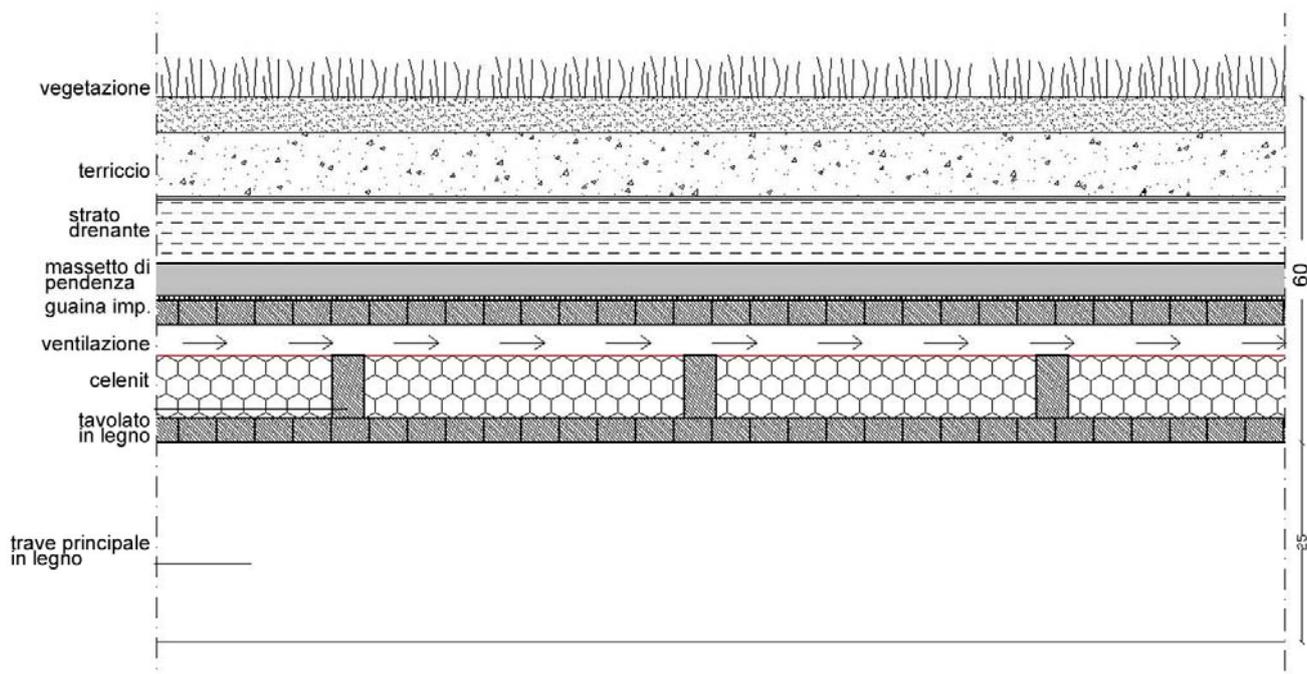


**Isolamento termico delle coperture**\_ Le soluzioni tecniche, soprattutto dal punto di vista dell'isolamento termico sono molteplici e spaziano dall'uso di differenti materiali al loro diverso assemblaggio. Di seguito sono riportati due esempi di pacchetti di copertura che verificano il valore massimo di trasmittanza richiesto dalla legge, che nel caso di Tocco Da Casauria (zona climatica D) per l'anno in corso è di  $0,35 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

**Copertura piana in laterocemento con isolamento in polistirene e termointonaco interno**



**Copertura in legno ventilata con isolamento in celenit e tetto giardino.**





## PRESTAZIONE ENERGETICA PASSIVA

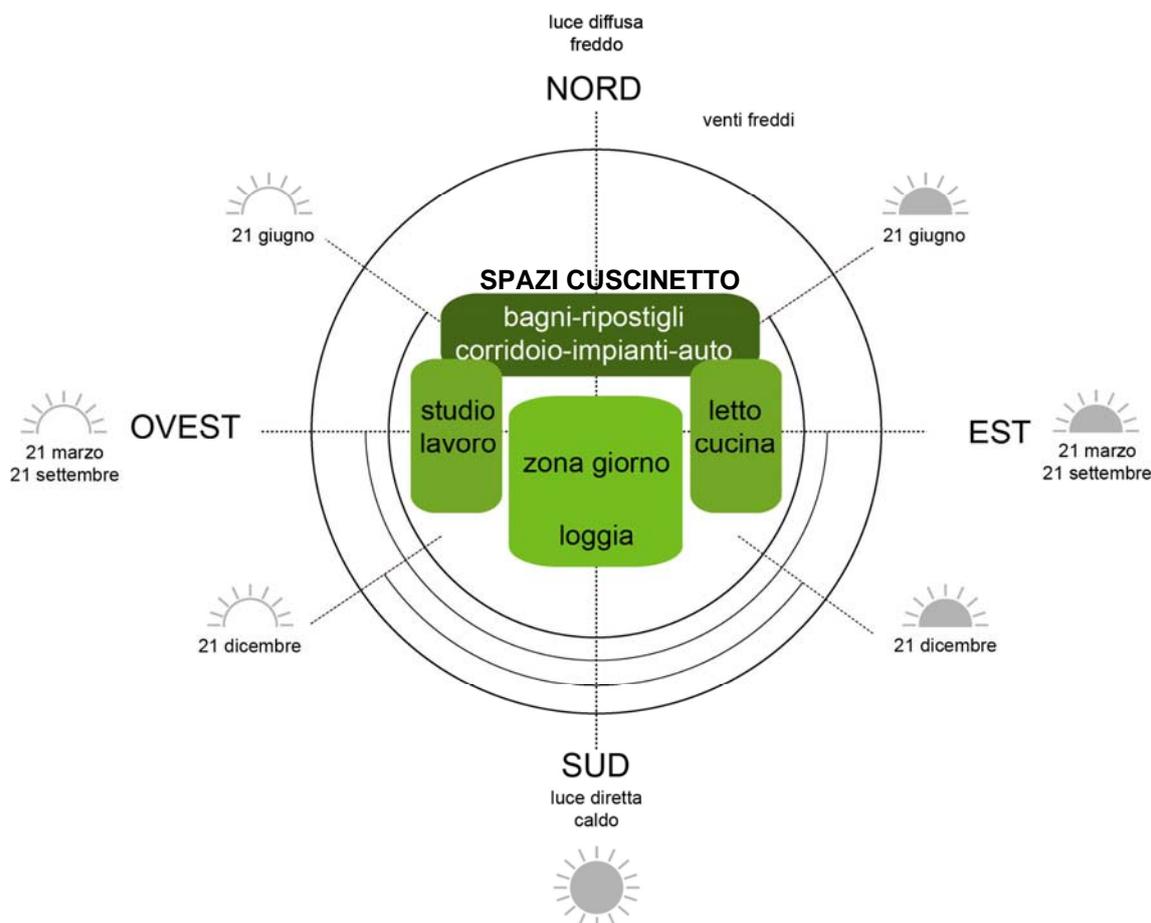
<i>Disposizione degli ambienti interni in relazione al soleggiamento del sito</i>	<b>32</b>
<i>Orientamento e dimensionamento delle superfici finestrate per lo sfruttamento ed il controllo dell'apporto termico passivo</i>	<b>33</b>
<i>L'involucro edilizio</i>	<b>36</b>
<i>Controllo della temperatura superficiale interna delle superfici opache</i>	<b>43</b>
<i>Uso dell'apporto solare passivo invernale</i>	<b>44</b>
<i>Verifica del fabbisogno termico invernale</i>	<b>48</b>
<i>Verifica dei livelli di luce naturale</i>	<b>50</b>
<i>Verifica dell'indice di inerzia termica dell'involucro edilizio e contenimento dei consumi energetici per la climatizzazione estiva</i>	<b>53</b>
<i>Controllo dell'apporto solare termico estivo</i>	<b>56</b>
<i>Controllo della ventilazione naturale</i>	<b>63</b>
<i>Riduzione del consumo di acqua per usi interni</i>	<b>66</b>
<i>Recupero, per usi compatibili, delle acque meteoriche</i>	<b>67</b>
<i>Requisiti acustici passivi</i>	<b>69</b>
<i>Asettività dei materiali</i>	<b>72</b>

## Disposizione degli ambienti interni in relazione al soleggiamento del sito

Una volta definita la forma e l'orientamento dell'edificio è necessario, ove possibile, distribuire gli ambienti di vita conformemente al loro fabbisogno sia di luce naturale sia di radiazione solare, così da migliorarne le condizioni di comfort interno sia in inverno che in estate. Uno spazio che utilizza direttamente la radiazione solare per il riscaldamento degli spazi di vita durante i mesi invernali, consumerà proporzionalmente una quantità di energia minore durante la stagione invernale. Più radiazione solare diretta si usa per il soddisfacimento dei requisiti di comfort, meno si consuma di energia tradizionale.

È possibile fornire gran parte del riscaldamento passivo e di illuminazione naturale agli ambienti di vita, andando a disporre tali spazi lungo il lato sud dell'edificio di progetto, così da facilitare la captazione dell'energia solare nelle ore centrali delle giornate invernali. In funzione del fabbisogno energetico richiesto dai singoli ambienti, questi vanno disposti lungo i lati sud-est, sud e sud-ovest mentre, tutti gli spazi di servizio come corridoi, bagni, ripostigli che generalmente non necessitano di particolari condizioni di comfort da radiazione solare, possono essere posizionati sul lato nord dell'edificio così da funzionare anche come **spazi "cuscinetto"** tra gli ambienti di vita e il lato nord più freddo dell'edificio.

Questo perché durante l'inverno il lato **nord** dell'edificio rimane il più freddo in quanto non riceve nessuna radiazione solare diretta. I lati **est** e **ovest** ricevono una quantità di radiazione uguale per mezza giornata, poiché il sole fa un percorso simmetrico rispetto all'asse sud, anche se il lato ovest è sempre più caldo per la combinazione di radiazione solare e della temperatura dell'aria più alta nel pomeriggio. Il lato **sud**, è più caldo e soleggiato perché riceve la radiazione durante tutto il giorno ed è quindi una buona posizione per gli ambienti che sono sempre occupati durante il giorno.

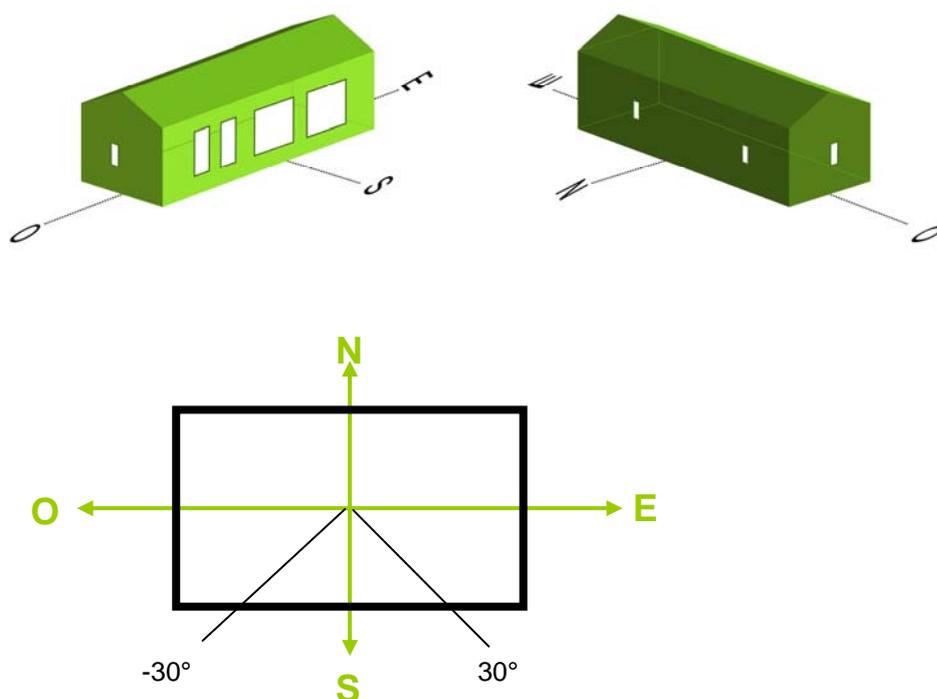


## Orientamento e dimensionamento delle superfici finestrate per lo sfruttamento ed il controllo dell'apporto termico passivo.

All'efficienza energetica di un edificio contribuisce anche un'adeguata disposizione delle aperture e degli ambienti interni, quindi, una volta definito l'orientamento generale dell'edificio, per migliorare ulteriormente l'apporto energetico passivo per il riscaldamento invernale degli ambienti di vita e per evitare allo stesso tempo il surriscaldamento estivo è necessario ove possibile, definire l'ubicazione e la giusta dimensione delle superfici finestrate in relazione all'orientamento delle facciate esterne.

E' opportuno in fase di progettazione:

- distribuire gli ambienti nei quali si svolge la maggior parte della vita abitativa (soggiorno, sala da pranzo, cucina) e le loro aperture verso sud-est, sud e sud-ovest;
- disporre lungo il lato nord gli spazi che hanno meno bisogno di riscaldamento e di illuminazione (corridoi e disimpegno, ripostigli, lavanderie, box auto) e ridurre al minimo le loro aperture in modo da creare una zona cuscinetto tra il fronte più freddo e gli spazi maggiormente utilizzati.



Il posizionamento ideale per le principali superfici finestrate è quella che favorisce il guadagno solare invernale senza impedire la protezione dal sole durante l'estate, evitando così il surriscaldamento degli ambienti.

L'orientamento ottimale per ottenere questo risultato è il SUD, con variazioni fino a 30° a est e ovest, che riducono di poco le prestazioni.

N\_ superficie vetrata  
PICCOLA  
E-O\_ superficie  
vetrata MODERATA  
S\_ superficie vetrata  
PRINCIPALE

Uno dei fattori che maggiormente influisce sui consumi energetici di un edificio è l'ubicazione e la grandezza delle superfici finestrate. Le finestre disposte senza tener conto della quantità di sole che lasciano entrare, sottraggono generalmente una gran quantità di energia all'edificio. La quantità di energia dispersa da una finestra, è maggiore di quella dispersa attraverso un muro ben isolato. È quindi importante disporre le finestre in modo che, durante l'inverno, il loro

guadagno termico solare sia superiore alla loro dispersione. D'estate invece il raffrescamento si ottiene impedendo al sole di entrare attraverso le finestre.

Le superfici finestrate vengono considerate come sistemi a guadagno diretto, poiché se opportunamente orientate, garantiscono un guadagno solare passivo durante le ore diurne delle giornate invernali. In un sistema a guadagno diretto, il fattore principale da prendere in considerazione, è la captazione del sistema stesso ovvero, la grandezza e la posizione della finestra. Una finestra rivolta a sud, è sicuramente un collettore molto efficiente, perchè può ricevere sole durante tutto il giorno. In inverno, la posizione del sole è bassa e la radiazione incide quasi perpendicolarmente, andando quindi a riscaldare gli ambienti interni, mentre in estate, quando la posizione del sole è alta, le finestre sono più facilmente ombreggiabili tramite schermature orizzontali (aggetti, balconi, logge e frangisole). L'ombreggiamento delle finestre previene i surriscaldamenti e riduce così la necessità di raffrescare artificialmente gli ambienti contribuendo quindi al risparmio energetico. Le finestre orientate verso Est e Ovest ricevono luce quando la posizione del sole è bassa (mattina, pomeriggio); sono pertanto meno facilmente ombreggiabili e questo è causa di surriscaldamenti. Queste finestre necessitano di schermature verticali adattabili alla variazione della posizione del sole.

Le principali superfici finestrate vanno poste sui lati sud-est, sud e sud-ovest a seconda delle esigenze interne di ciascun spazio. Si consiglia, per le esposizioni est, ovest e soprattutto nord, dimensioni delle superfici finestrate ridotte e ben isolanti.

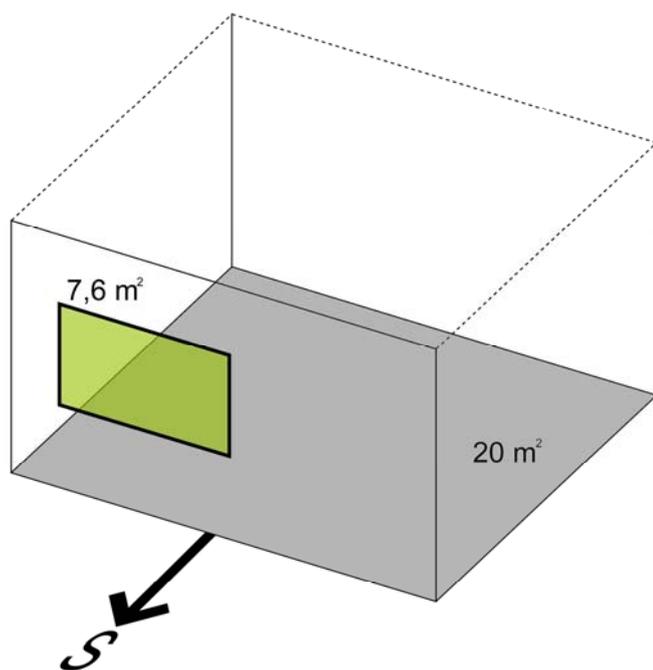
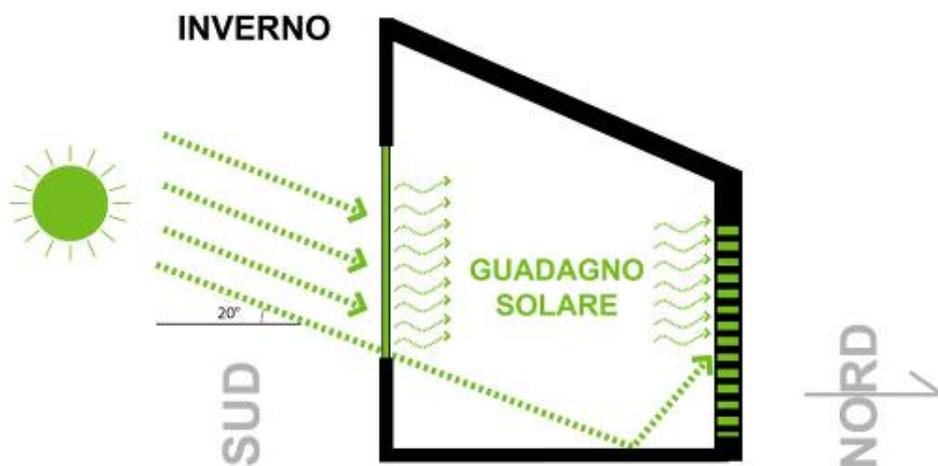
**Dimensionamento delle finestre** Nei climi temperati, caratterizzati da una temperatura media invernale da 0° a 7°C, occorrono da 0,19 a 0,38 m<sup>2</sup> di superficie vetrata a sud, sud-ovest e sud-est, per ogni m<sup>2</sup> di superficie abitata.

Il criterio di dimensionamento proposto, prevede che all'interno di uno spazio ben progettato in una giornata soleggiata di dicembre o di gennaio, l'energia solare entrante nell'abitazione sia sufficiente a mantenere un buon livello di comfort riducendo al minimo l'utilizzo di impianti attivi. L'applicazione di una semplice metodologia come quella proposta, ci consente di stabilire dei rapporti per il dimensionamento preliminare di finestre e lucernari in modo semplice ed efficace esposte a sud con una variazione pari a 25° a est o ad ovest. Per le finestre rivolte a nord si consiglia, sempre nel rispetto della normativa vigente, di ridurre il più possibile la superficie finestrata per evitare inutili dispersioni termiche durante il periodo invernale.

Ad esempio, uno spazio abitato con una superficie pari a 20 m<sup>2</sup> esposta a sud (con una variazione di 25° a est o ad ovest), per un adeguato contributo passivo utile al riscaldamento nel periodo invernale, in condizione climatica peggiore, necessita di una superficie vetrata pari a:

$$S_f = 20 \text{ m}^2 \times 0,38 \text{ m}^2 = 7,6 \text{ m}^2$$

Ovviamente, l'esatta ubicazione e dimensione delle finestre dipende da altre considerazioni di tipo progettuale come ad esempio particolari vedute, l'illuminazione naturale, la destinazione d'uso dei locali ecc.. Queste considerazioni, possono sicuramente incidere sulla dimensione, sulla disposizione e sull'ubicazione delle superfici finestrate e conseguentemente sulla disponibilità di radiazione solare passiva.

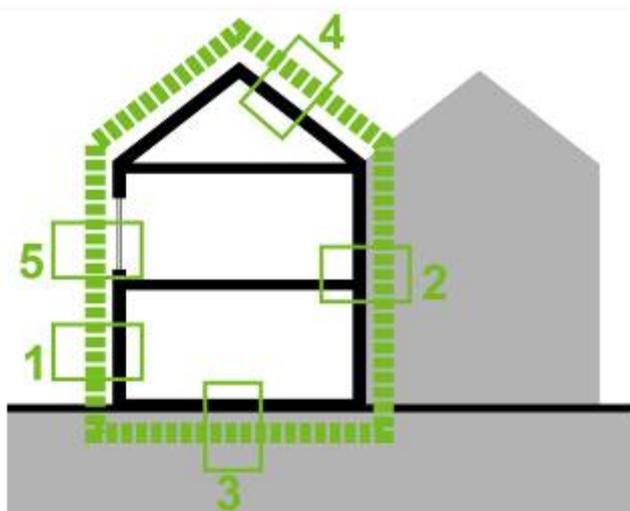


$$S_f = 20 \text{ m}^2 \times 0,38 \text{ m}^2 = 7,6 \text{ m}^2$$

È consigliabile che, per impedire fenomeni di surriscaldamento e ampie oscillazioni di temperatura all'interno degli ambienti abitati, una parte del calore guadagnato durante il giorno sia accumulato da una massa termica disposta in ogni spazio abitato. Durante una tipica giornata invernale soleggiata, se uno spazio diventa troppo caldo per un'eccessiva insolazione, significa o che le superfici vetrate sono sovradimensionate o che all'interno dello spazio non è distribuita una massa termica sufficiente ad assorbire in modo adeguato la radiazione solare entrante. Se uno spazio diventa troppo caldo, l'aria calda viene espulsa aprendo le finestre o attivando un aspiratore, in modo da mantenere una condizione confortevole.

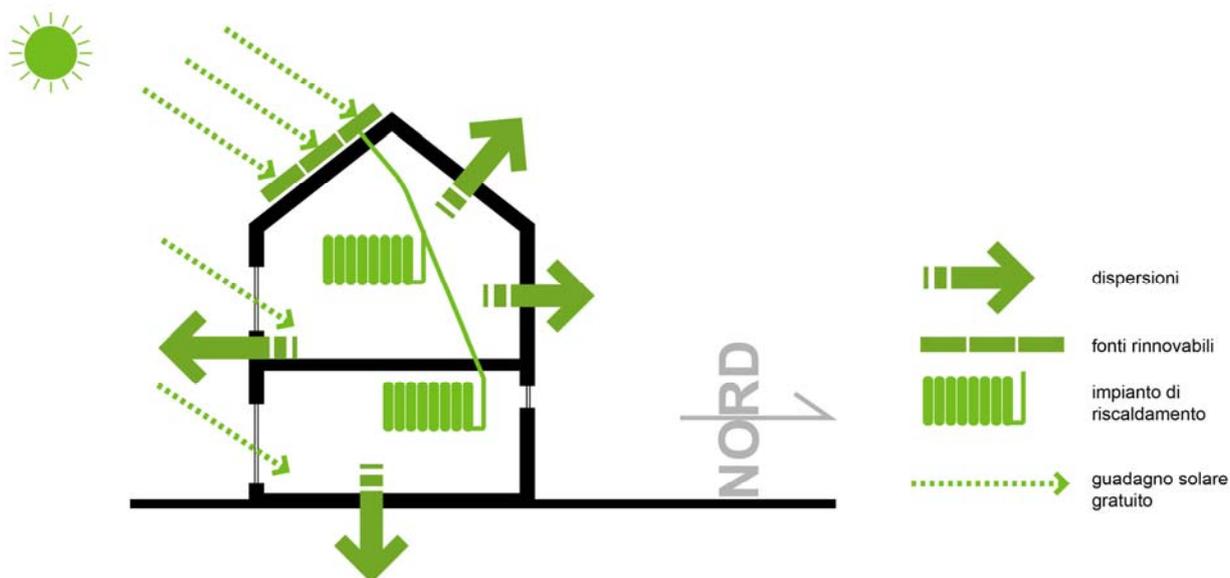
## L'involucro edilizio

Per involucro edilizio si intende l'elemento architettonico che delimita e conclude perimetralmente l'organismo costruttivo e strutturale e la cui funzione è quella di mediare, separare e connettere l'interno con l'esterno. Ogni edificio dovrebbe essere dotato di un involucro con caratteristiche di isolamento termico tali **limitare le perdite di calore per dispersione**, contribuendo a garantire il contenimento dei consumi energetici nella stagione invernale, **limitando l'utilizzo degli impianti di riscaldamento** e favorendo gli **apporti energetici gratuiti**.



Gli elementi strutturali principali su cui bisogna intervenire sono:

- 1 PARETI ESTERNE
- 2 PARETI E SOLETTE VERSO LE ALTRE UNITA' ABITATIVE
- 3 BASAMENTI SU TERRENO E CANTINE O SU LOCALI NON RISCALDATI
- 4 COPERTURE
- 5 SERRAMENTI



Oltre agli elementi sopra indicati bisogna considerare anche le pareti sottofinestra (che devono avere le stesse caratteristiche prestazionali delle pareti esterne), i balconi e gli aggetti rispetto

alla sagoma esterna dell'edificio (che devono essere termicamente isolati rispetto all'involucro edilizio o da esso strutturalmente separati e indipendenti).

E' importante la scelta dei materiali e dell'isolante, il suo spessore e le sue caratteristiche di conduttività termica, permeabilità al vapore e compatibilità ambientale; in tal senso si raccomanda l'impiego di isolanti costituiti da materie prime rinnovabili o riciclabili come ad esempio fibra di legno, sughero, fibra di cellulosa ecc..

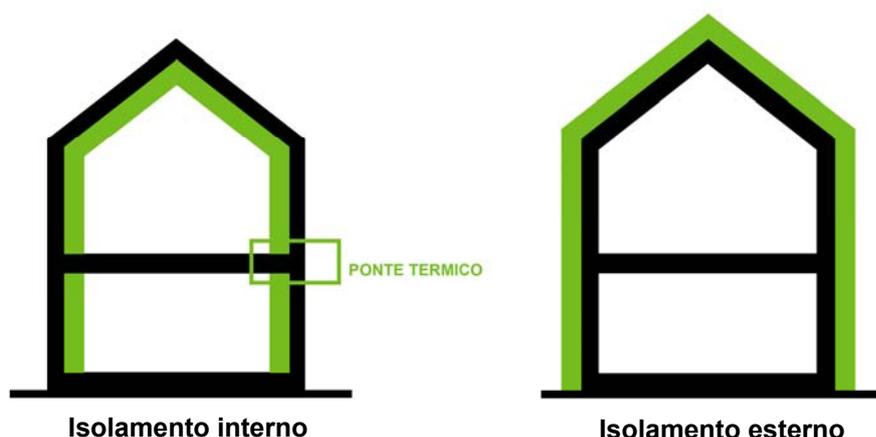
Allo stesso modo le coperture devono essere adeguatamente isolate, per evitare l'eccessivo raffreddamento dei locali sottostanti, considerando che sono la parte più esposta dell'edificio al freddo e agli agenti atmosferici.

**Isolamento termico dell'involucro edilizio**\_ E' importante assicurare un adeguato isolamento termico dell'involucro edilizio così da **limitare le perdite di calore per dispersione** e sfruttare il più possibile l'energia solare passiva.

L'isolamento termico, è una delle misure di risparmio energetico più efficace ed economica, i cui costi d'investimento si recuperano già entro pochi anni tramite i risparmi energetici ottenuti; un buon isolamento rallenta la diffusione di calore attraverso l'involucro (pareti, tetti, finestre) dell'edificio e riduce quindi la quantità d'energia necessaria per il riscaldamento invernale e per il raffrescamento estivo. La sua efficienza dipende anche dalla conduttività termica ( $\lambda$ ) dei materiali impiegati, quanto più questa è bassa, più l'efficienza dell'involucro è alta.

L'isolamento termico può essere applicato all'esterno o all'interno dell'involucro dell'edificio. Dal punto di vista energetico, il più efficace è quello esterno, detto anche "a cappotto", perché il calore prodotto all'interno rimane più a lungo nella struttura dell'edificio e, in estate, ne previene l'eccessivo riscaldamento da parte del sole.

L'isolamento termico interno non procura mai un completo isolamento, perché rimangono sempre dei **ponti termici** non risolti: pertanto questa soluzione si adotta normalmente soprattutto per migliorare le caratteristiche termiche di edifici esistenti o sui quali l'isolamento esterno e quello ad intercapedine non sono realizzabili, come nel caso di edifici storici.



E' evidente come nel caso di isolamento interno si vengono a creare delle interruzioni in prossimità dei nodi strutturali, che danno vita a ponti termici poi più difficili da risolvere.

**ponti termici**\_ Un **ponte termico** è quella parte della struttura di un edificio caratterizzata da comportamento termico molto diverso da quelle circostanti e che consente passaggi di calore più rapidi. Un ponte termico incide negativamente sull'isolamento di un edificio perché costituisce una via privilegiata per gli scambi di calore da e verso l'esterno: è come una sorta di passaggio aperto sull'involucro di un edificio. Esso può essere causato da:

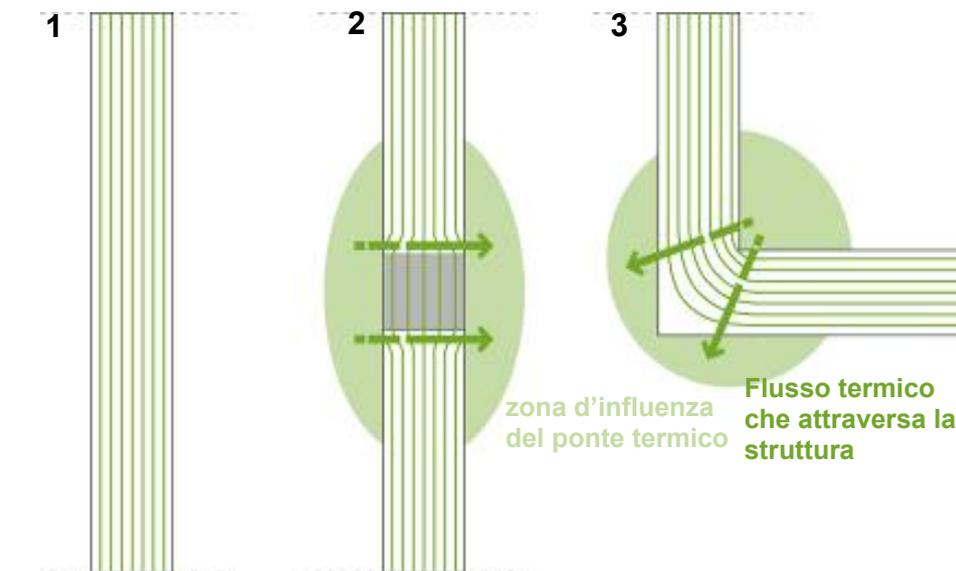
- *disomogeneità termica dei materiali che compongono la struttura (ad esempio fra muratura e struttura in cemento armato);*
- *irregolarità geometrica della parete (ad esempio angoli e sporgenze);*

– discontinuità nell'isolamento termico (come già visto nell'esempio di sopra).

Le conseguenze sono l'aumento della quantità di calore disperso attraverso la chiusura, quindi un eccessivo raffreddamento delle zone più prossime ad essa, con conseguente aumento del fabbisogno termico dell'edificio.

Normalmente il calcolo delle dispersioni termiche di un edificio viene svolto considerando che le temperature interne ed esterne siano costanti (Regime Termico Stazionario).

Questo significa che il "flusso termico" che attraversa il muro è considerato costante e che le "linee isoterme", che descrivono i vari strati di temperatura nelle varie sezioni del muro, sono perfettamente parallele alle superfici del muro stesso. Questo metodo permette di capire quello che avviene invece in presenza del un ponte termico (figure 2 e 3): l'andamento delle linee isoterme si modifica, indicando che il passaggio di calore è maggiore.

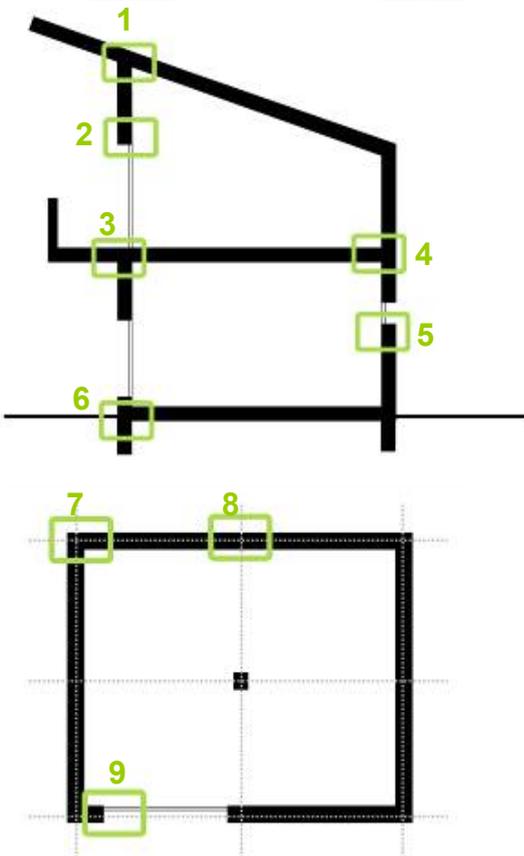


**1\_Elemento indefinito** - Isotherme parallele alle superfici dell'elemento

**2\_Ponte termico dovuto a discontinuità dei materiali**

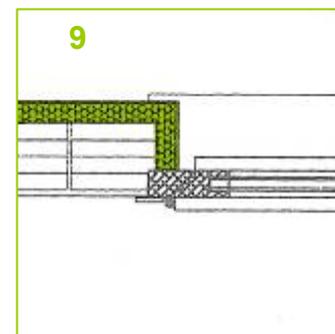
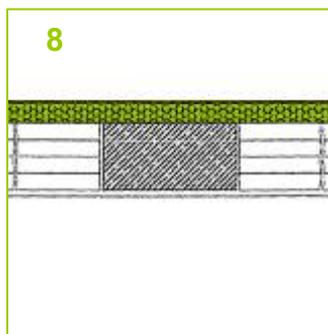
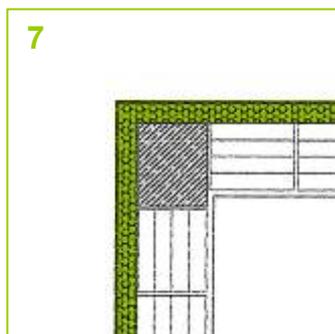
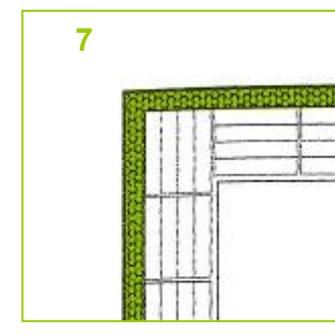
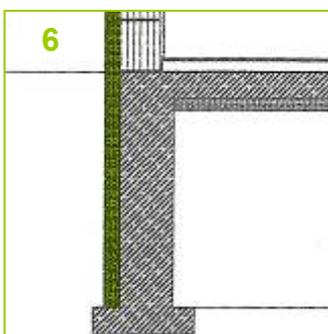
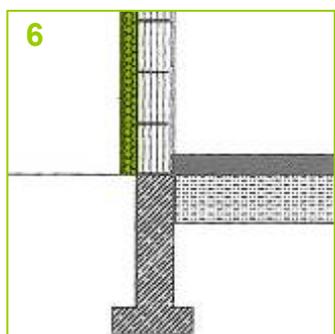
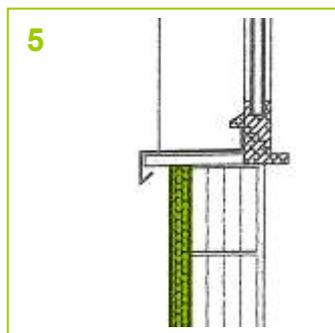
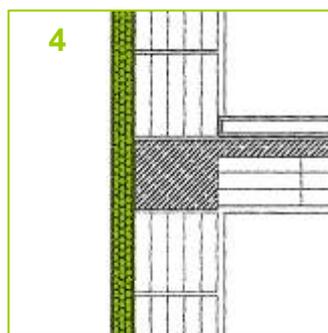
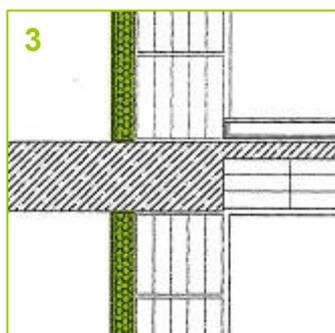
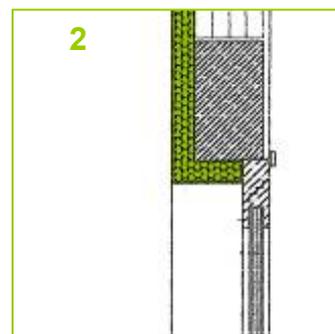
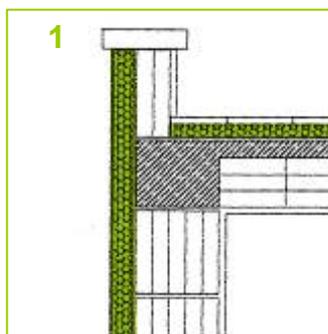
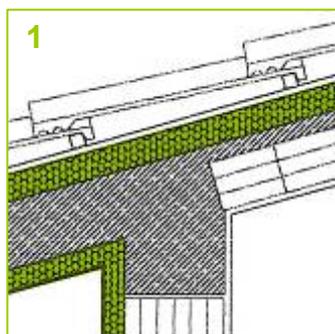
**3\_Ponte termico dovuto a discontinuità geometrica**

Flusso termico che attraversa la struttura  
zona d'influenza del ponte termico



**Principali ponti termici presenti in un edificio**

- 1\_NODO MURO-COPERTURA
- 2\_ARCHITRAVE FINESTRA
- 3\_SOLAIO USCEN-TE BALCONI
- 4\_NODO SOLAIO INTERPIANO
- 5\_DAVANZALE FINESTRE
- 6\_ATTACCO A TERRA
- 7\_PILASTRI D'ANGOLO
- 8\_PILASTRO INTERMEDIO
- 9\_NODO MURO FINESTRA

**Alcuni esempi di tipi di ponti termici corretti**

*Verifica dei ponti termici:* Il ponte termico è corretto 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. Il calcolo del valore della potenza termica, dispersa dai ponti termici per trasmissione attraverso l'involucro edilizio, espresso in watt, si effettua con la seguente relazione:

$$\sum_k l_k \times \Psi_k \quad [\text{W/mK}]$$

### PONTE TERMICO LINEARE

con:

$l_k$  lunghezza del ponte termico in metri

$\Psi_k$  trasmittanza termica lineica del ponte termico espressa in  $\text{W/m}^2\text{K}$

Il **coefficiente  $\Psi$** , per i diversi casi strutturali, viene calcolato in base a quanto previsto dalla UNI EN ISO 14683. Nel calcolo della potenza termica dispersa viene quindi richiesto il valore della trasmittanza lineica  $\Psi$  del ponte termico espressa in  $\text{W/mK}$ , pertanto se non si vogliono effettuare calcoli molto onerosi, come previsto dalla norma UNI, si possono utilizzare i valori delle trasmittanze lineiche ricavati dall'atlante dei ponti termici; si riportano a seguito alcuni dei coefficienti  $\Psi$  inerenti l'edificio :

- [es1] Giunto tra muro esterno a isolamento ripartito e solaio di copertura in cls isolato esternamente con isolamento non interrotto  **$\Psi=0,18 \text{ W/mK}$**
- [es7] Angolo tra muri uguali con isolamento ripartito  **$\Psi=0,06 \text{ W/mK}$**
- [es9] Giunto tra parete e serramento  **$\Psi=0,19 \text{ W/mK}$**

**Trasmittanza termica** Allo scopo di migliorare le prestazioni energetiche dell' involucro, e quindi di ridurre le dispersioni di calore in inverno e il surriscaldamento in estate, bisogna rispettare i valori di trasmittanza indicati dalla norma (D.lgs. 192/05 così come modificato dal D.lgs. 311/06 Allegato C). La **trasmittanza termica** si definisce come il flusso di calore che attraversa una superficie unitaria sottoposta a differenza di temperatura (parete, copertura ecc...) ed è legata alle caratteristiche termiche (conduttività) del materiale che costituisce la struttura. La trasmissione del calore avviene attraverso un corpo quando esso è sottoposto ad una differenza di temperatura, l'energia si trasferisce dal punto a temperatura maggiore al punto a temperatura minore.

Dato un fenomeno di trasmissione di calore in condizioni di regime stazionario (in cui cioè il flusso di calore e le temperature non variano nel tempo) la trasmittanza **K**, misura la quantità di calore che nell'unità di tempo attraversa un elemento strutturale della superficie di  $1 \text{ m}^2$  in presenza di una differenza di temperatura di  $1$  grado tra l'interno e l'esterno. L'inverso della Trasmittanza termica è la **resistenza termica**, ovvero la capacità di una struttura di opporsi al passaggio di calore.

$$K = 1/R \quad [\text{W/m}^2\text{K}]$$

$$R = (1/\alpha_i + \sum s/\lambda + 1/\alpha_e)$$

**TRASMITTANZA TERMICA**  
**RESISTENZA TERMICA**

dove:

$\alpha_i$  e  $\alpha_e$  [ $\text{W/m}^2 \text{K}$ ] sono i coefficienti convettivi interno ed esterno

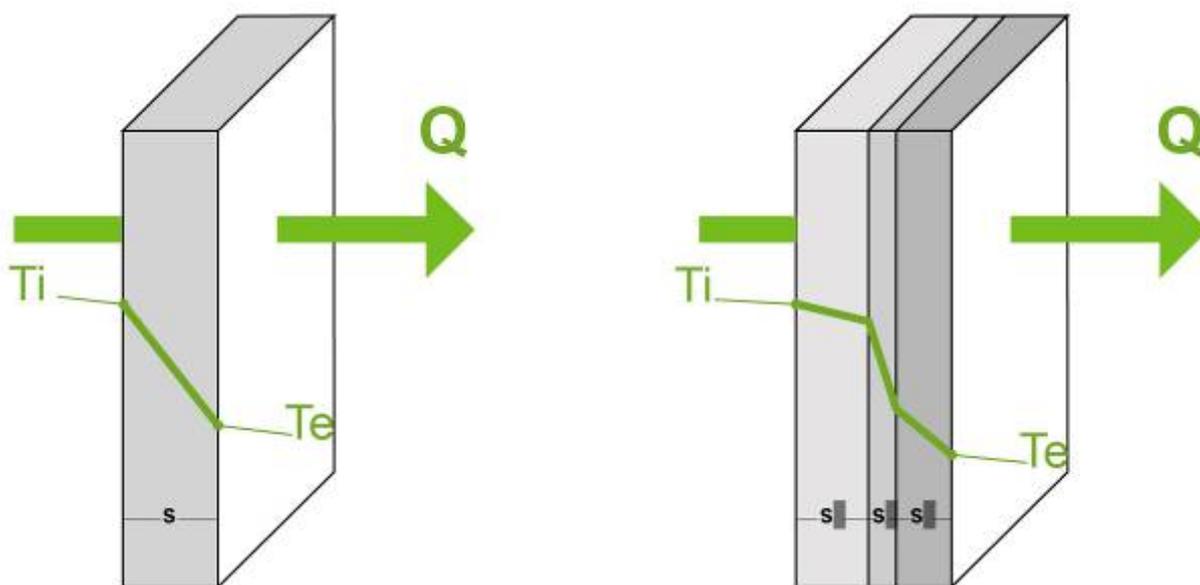
$s$  [m] lo spessore del materiale

$\lambda$  [ $\text{W/m K}$ ] la conducibilità termica interna del materiale.

Più il valore trasmittanza è basso, migliore è l'isolamento e quindi la capacità dell'elemento di

impedire le dispersioni. La trasmittanza, infatti, aumenta al diminuire dello spessore ed all'aumentare della conducibilità termica del materiale che compone la struttura. Strutture con bassissima trasmittanza si caratterizzano per fornire un elevato isolamento termico.

**Trasmissione del calore Q**



**Parete monostrato**

**Parete multistrato**

La quantità di calore **Q** scambiata nell'unità di tempo tra due ambienti separati da una parete di area **A** e posti in regime stazionario alle temperature **Ti** (temperatura interna) e **Te** (temperatura esterna) è uguale a:

**$Q = K A ( T_i - T_e )$  [W] CALORE DISPERSO ATTRAVERSO L'INVOLUCRO**

dove **K** è la Trasmittanza della parete

Il valore di trasmittanza dei singoli componenti dell'involucro edilizio, deve essere minore o uguale al valore limite di prestazione definito dalla normativa, ovvero:

**$K_{prog} \leq K_{limite}$**

Di seguito sono riportati i valori di trasmittanza termica ( come da Allegato C al D.Lgs. 311/06) da rispettare per la zona climatica D, a cui appartiene il comune di Tocco Da Casauria

Tabella 2.1	<b>Strutture opache verticali</b>		
	valori limite di trasmittanza termica U espressa in W/m2K		
zona climatica	<b>dal 1 gennaio 2006</b> U ( W/m2K )	<b>dal 1 gennaio 2008</b> U ( W/m2K )	<b>dal 1 gennaio 2010</b> U ( W/m2K )
<b>D</b>	0.50	0.40	0.36

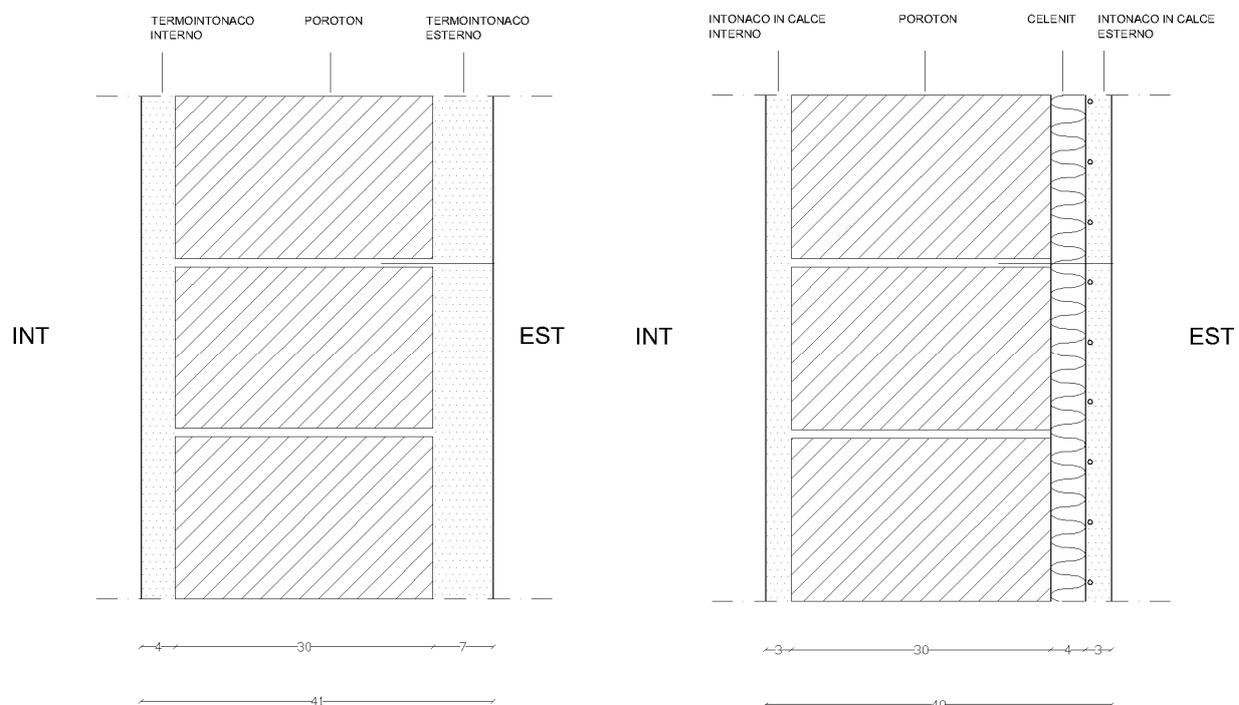
Tabella 3.1	<b>Strutture opache orizzontali o inclinate</b>		
	COPERTURE-valori limite di trasmittanza termioca U espressa in W/m2K		
zona climatica	<b>dal 1 gennaio 2006</b> U ( W/m2K )	<b>dal 1 gennaio 2008</b> U ( W/m2K )	<b>dal 1 gennaio 2010</b> U ( W/m2K )
<b>D</b>	0.46	0.35	0.32

Tabella 3.2	<b>Strutture opache orizzontali verso locali non riscaldati o esterni</b>		
	valori limite di trasmittanza termioca U espressa in W/m2K		
zona climatica	<b>dal 1 gennaio 2006</b> U ( W/m2K )	<b>dal 1 gennaio 2008</b> U ( W/m2K )	<b>dal 1 gennaio 2010</b> U ( W/m2K )
<b>D</b>	0.46	0.41	0.36

Tabella 4.a	<b>Chiusure trasparenti</b>		
	valori limite di trasmittanza termioca U espressa in W/m2K		
zona climatica	<b>dal 1 gennaio 2006</b> U ( W/m2K )	<b>dal 1 gennaio 2008</b> U ( W/m2K )	<b>dal 1 gennaio 2010</b> U ( W/m2K )
<b>D</b>	3.1	2.8	2.4

Tabella 4.b	<b>Vetri</b>		
	valori limite di trasmittanza termioca U espressa in W/m2K		
zona climatica	<b>dal 1 gennaio 2006</b> U ( W/m2K )	<b>dal 1 gennaio 2008</b> U ( W/m2K )	<b>dal 1 gennaio 2011</b> U ( W/m2K )
<b>D</b>	2.6	2.1	1.9

Due esempi di pacchetti murari che verificano i valori di trasmittanza richiesti dalla normativa



Isolamento con termointonaco

Isolamento con sistema a cappotto

## Controllo della temperatura superficiale interna delle superfici opache

Per garantire un'elevata qualità di benessere all'interno degli spazi di vita, è necessario contenere i livelli di temperatura superficiale interna delle pareti, entro opportuni valori per:

- impedire la formazione di umidità superficiale;
- limitare i disagi provocati da una eccessiva non uniformità delle temperature radianti delle superfici dello spazio;
- limitare i disagi provocati dal contatto con pavimenti troppo caldi o troppo freddi.

**superfici interne opache** - la temperatura superficiale interna  $T_i$  [°C] deve essere contenuta, nel periodo di funzionamento dell'impianto, entro i limiti seguenti:

- $T_i$  non inferiore a 14 °C per le partizioni e chiusure (1) (compresi i ponti termici) degli spazi per attività principale ;
- $T_i \leq 27$  °C (+ 2 °C di tolleranza) per pavimenti a pannelli radianti in spazi per attività principali.

Per i pavimenti nei bagni è ammessa una tolleranza di + 5 °C.

**corpi scaldanti** - per tutte le parti calde con cui l'utenza possa accidentalmente venire a contatto (ad esempio i radiatori), è ammessa una temperatura superficiale inferiore od uguale a 70 °C (è consigliata non superiore a 65 °C); sono ammesse temperature superiori per le superfici non accessibili o protette.

**superfici vetrate e infissi** - I valori della temperatura superficiale devono essere tali da evitare fenomeni di condensa non momentanea (1).

**Metodi di verifica** - Calcolo della temperatura superficiale interna di chiusure e/o partizioni verticali od orizzontali, come segue (1):

$T_i = t_{ip} - k \frac{(t_{ip} - t_{ep})}{\alpha_i}$	
$t_{ip} =$	Temperatura di progetto dell'aria interna (normalmente assunta pari a 20 °C)
$t_{ep} =$	Temperatura di progetto dell'aria esterna <sup>(2)</sup> (per partizioni interne deve essere calcolata la temperatura del locale attiguo) [0°C]
$\alpha_i =$	Adduttanza unitaria delle superfici interne degli elementi disperdenti: 9 W/m <sup>2</sup> °C per soffitti 8 W/m <sup>2</sup> °C per pareti verticali 6 W/m <sup>2</sup> °C per pavimenti
$K =$	Trasmittanza unitaria delle superfici disperdenti [W/m <sup>2</sup> C]

Il calcolo va svolto per tutte le superfici interne degli elementi disperdenti che delimitano il volume dell'ambiente, ma non è applicabile per ponti termici d'angolo.

<sup>1</sup> Vedere la UNI 7357 - 74.

<sup>2</sup> Vedere DPR 28/6/77 n. 1052 oppure la UNI 5364-76.

## Uso dell'apporto solare passivo invernale

Al fine di ottimizzare l'efficienza energetica degli edifici nel periodo invernale è necessario, ove possibile, progettare le abitazioni in modo da sfruttare al massimo l'apporto energetico da soleggiamento offerto dal sito.

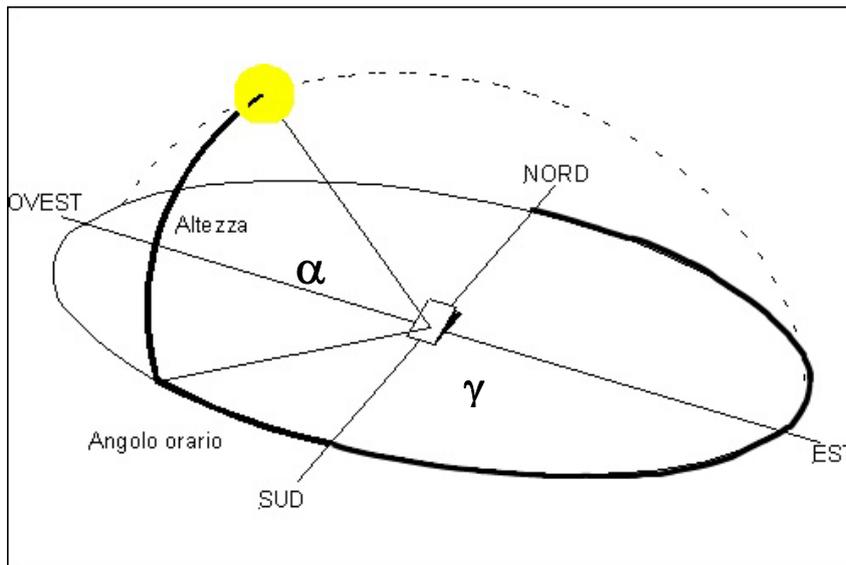
L'apporto energetico che il sole garantisce durante la stagione invernale, è fondamentale per il funzionamento energetico di un edificio, in quanto costituisce un guadagno gratuito di energia pulita. Per questo bisogna valutare attentamente l'orientamento, la forma, e soprattutto la tecnologia degli edifici. Nel periodo invernale la radiazione solare incidente su ciascuna delle chiusure trasparenti degli spazi abitati deve interessare almeno il **70% della superficie totale della finestra**. Il livello deve essere verificato in ognuna delle seguenti ore: 10, 12, 14 del giorno 21 dicembre, individuato come giorno rappresentativo della stagione meno soleggiata nell'arco dell'anno. In particolari condizioni del sito (preesistenze e vincoli esterni al progetto) o per presenza di manufatti ombreggianti l'edificio, il livello è convenzionalmente raggiunto con il soleggiamento che interessa almeno l'**80%** della superficie di ciascuna delle finestre dei piani non in ombra.

Per la verifica del guadagno solare passivo offerto dal soleggiamento del sito, è necessario utilizzare strumenti che possono facilitare e velocizzare tale verifica. Oggi esistono numerosi metodi di verifica sia informatici che manuali: tra i metodi manuali, il più diffuso è sicuramente la **maschera di ombreggiamento** (costruita mediante diagramma solare, assonometria solare o altro), utile per verificare le ombre portate da elementi del paesaggio, edifici, alberature ed elementi propri (aggetti, sporti, balconi, pergolati con piantumazione di piante a foglia caduca, schermature fisse, ecc.) sull'organismo edilizio oggetto di verifica e sulle sue pertinenze; inoltre, queste sono molto utili anche per la verifica dell'ombreggiamento delle chiusure trasparenti, in relazione al loro orientamento. Tra i metodi informatici, lo strumento "**assonometrie solari**" è quello più efficace per la verifica dell'esposizione degli edifici e delle varie parti che lo compongono. Il metodo "assonometrie solari" è utile per capire la relazione tra sole ed edificio, perché rappresenta in maniera geometrica come il sole "guarda" il nostro edificio in una particolare ora di un giorno tipo, dandoci la possibilità di effettuare delle prime considerazioni di carattere climatico ed energetico.

Per effettuare le verifiche minime richieste, è necessario l'utilizzo di metodi manuali o informatizzati, per il controllo progettuale di:

- *Ombre portate da elementi del paesaggio, edifici, alberature ed elementi propri (aggetti, sporti, balconi, pergolati con piantumazioni di piante a foglia caduca, schermature fisse, ecc.) sull'edificio di progetto;*
- *Ombreggiamento delle superfici trasparenti, in relazione al loro orientamento.*

**assonometria solare** Si può costruire a mano o con un normale programma di disegno CAD, a partire da un modello tridimensionale dell'edificio, utilizzando gli angoli del sole, cioè i valori di **azimut** e **altitudine**, presi in alcune ore del giorno (per i valori vedere le tabelle riportate nel capitolo 1 in "Orientamento degli edifici in relazione al soleggiamento del sito" pag 28 di questo manuale).

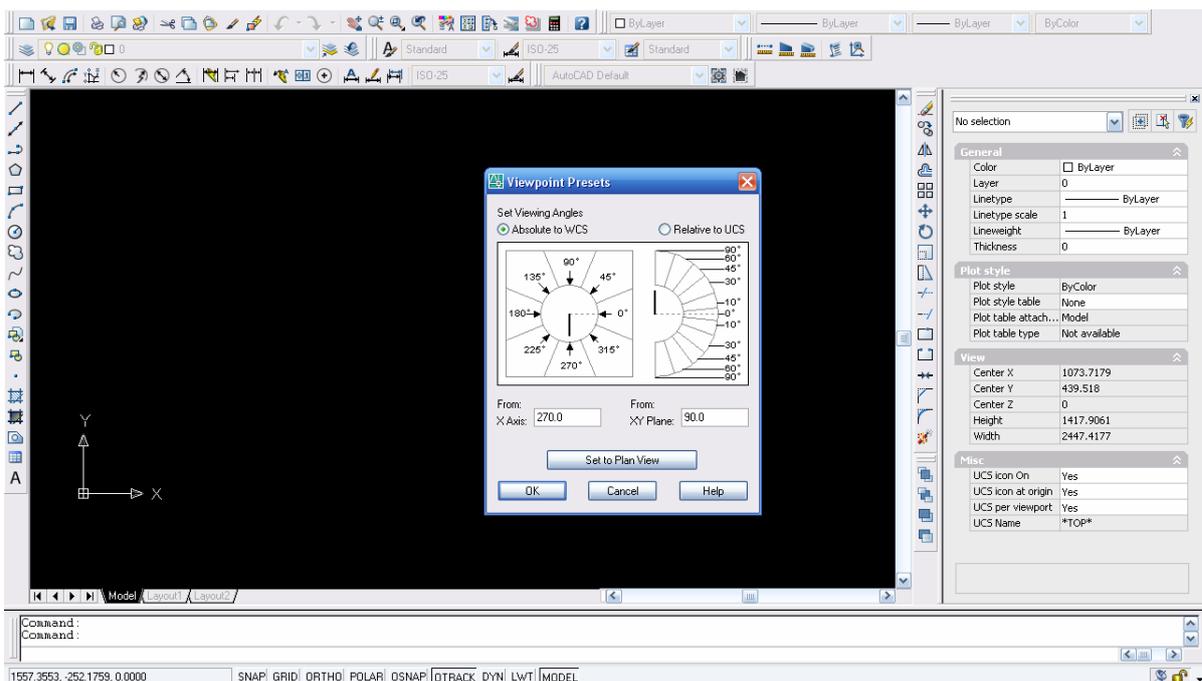


**α = altitudine**  
 Angolo di inclinazione del sole

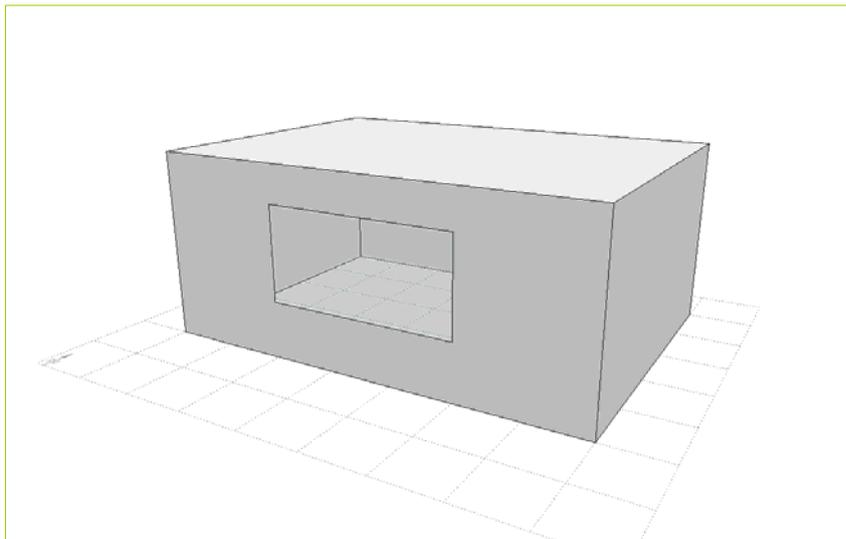
**γ = azimut**  
 Angolo orario del sole rispetto al nord

**Questi angoli si trovano nelle tabelle di pag 28, e vanno in base all'orario.**

Di seguito riportiamo un esempio di assonometria solare di un edificio generico, con verifiche fatte nel giorno 21 dicembre alle ore 10, 12 e 14:



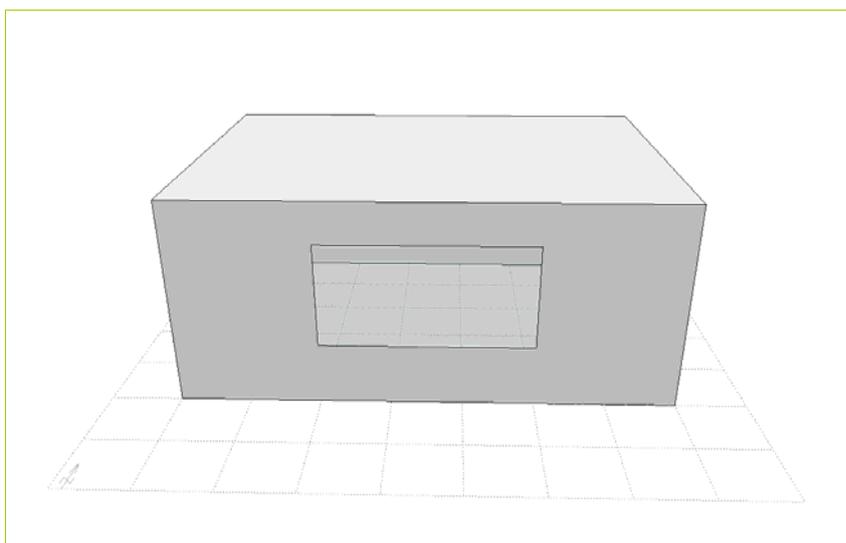
Una volta costruito il modello tridimensionale settare gli angoli descritti sopra, si ottiene così la vista dell'edificio secondo l'angolo desiderato, ossia come il sole guarda il nostro edificio, che ci da un indicazione della sua esposizione solare alle varie ore del giorno. Successivamente aggiungere le ombre secondo l'inclinazione solare relativa all'orario, per verificare che la radiazione solare incidente sia almeno del 70% sulle aperture, così da verificare il requisito richiesto.



**21 dicembre  
ore 10.00**

**$Az = 149.7^\circ$**

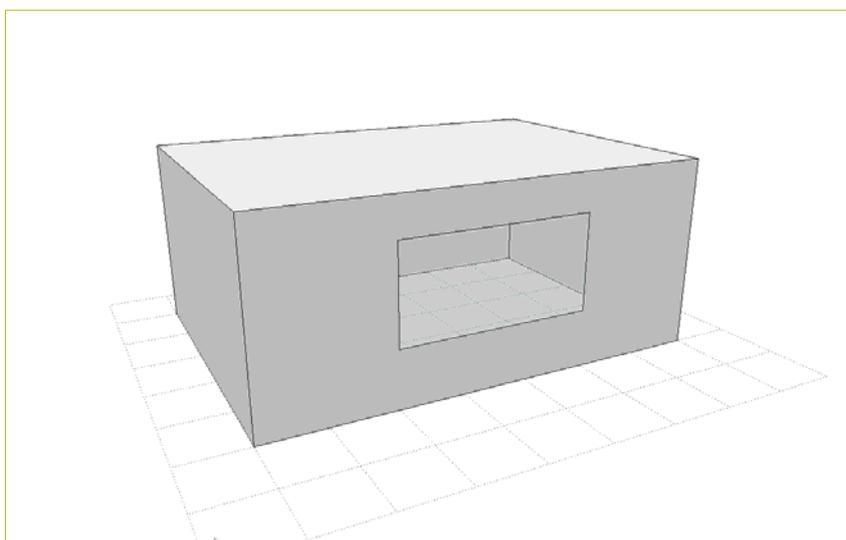
**$\alpha = 18.3^\circ$**



**21 dicembre  
ore 12.00**

**$Az = 152.3^\circ$**

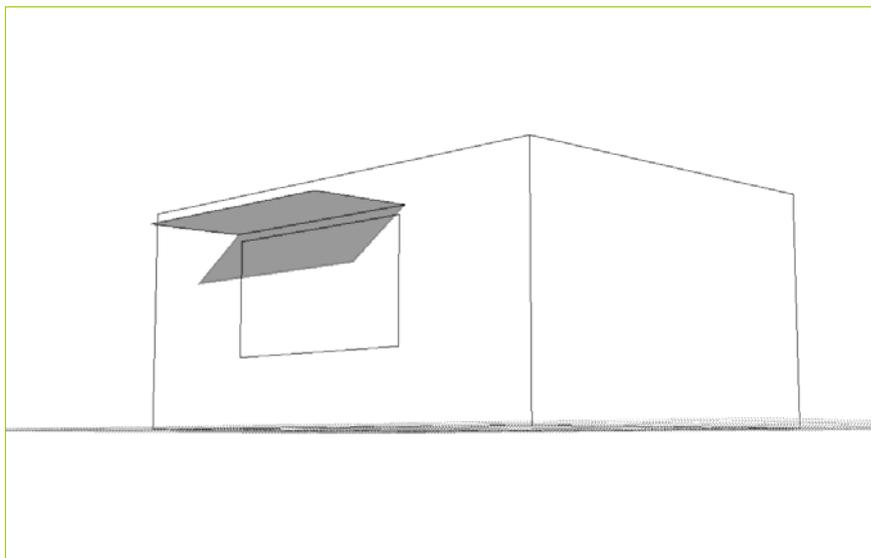
**$\alpha = 19.4^\circ$**



**21 dicembre  
ore 14.00**

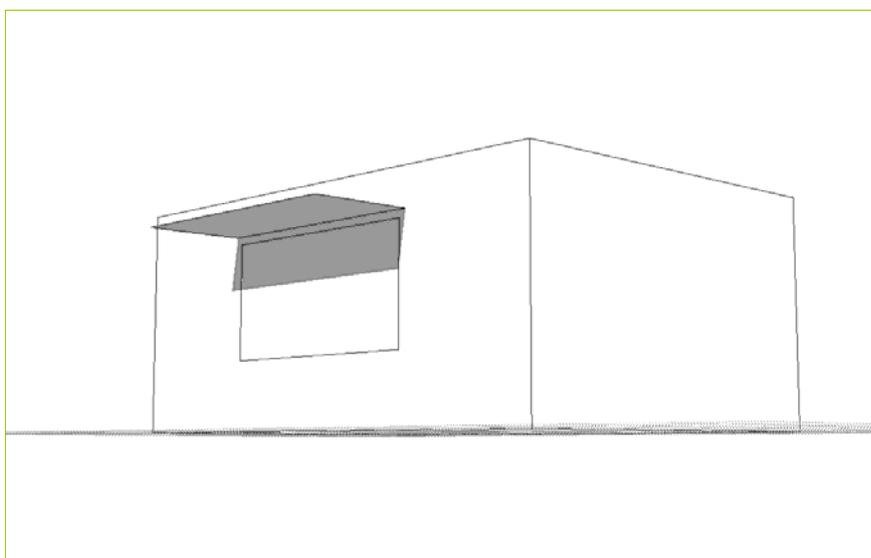
**$Az = 178.5^\circ$**

**$\alpha = 24.5^\circ$**



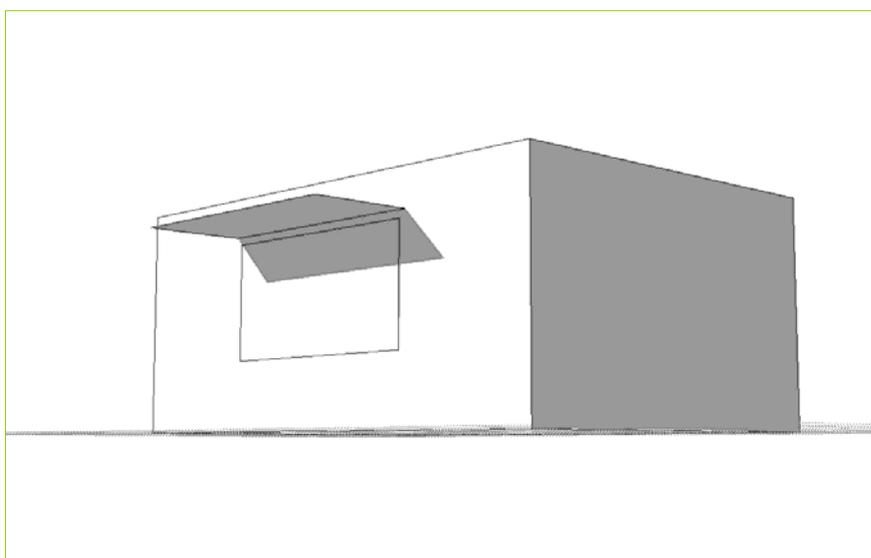
**21 dicembre  
ore 10.00**

**radiazione  
solare 70%**



**21 dicembre  
ore 12.00**

**radiazione  
solare 70%**



**21 dicembre  
ore 14.00**

**radiazione  
solare 70%**

## Verifica del fabbisogno termico invernale

Per un uso razionale delle risorse climatiche ed energetiche, gli edifici devono essere concepiti e realizzati in modo da consentire una riduzione del consumo di energia primaria per il riscaldamento invernale (**E<sub>pi</sub>**), intervenendo sull'involucro edilizio, sul rendimento dell'impianto di riscaldamento e favorendo gli apporti energetici gratuiti:

$$E_{pi} < E_{pi \text{ limite}} \text{ [kWh/m}^2\text{annuo]}$$

A tal fine è necessario adottare una forma dell'edificio che sia la più compatta possibile, evitando irregolarità dell'involucro come sporgenze, rientranze, etc. in modo da limitare il più possibile la superficie disperdente: quanto minore sarà il **rapporto S/V** (Superficie/Volume) tanto più si ridurranno le dispersioni.

I valori limite di **E<sub>pi</sub>** riportati nelle tabelle sono espressi in funzione della zona climatica, così come individuata dal DPR 412/93 e del rapporto di forma dell'edificio S/V, dove:

- **S** è la superficie (m<sup>2</sup>) che delimita verso l'esterno (ovvero verso ambienti non dotati di impianto di riscaldamento) il volume riscaldato V;
- **V** è il volume lordo (m<sup>3</sup>) delle parti di edificio riscaldate, definito dalle superfici che lo delimitano.

Per valori di S/V compresi nell'intervallo 0.2 e 0.9 e, analogamente, per gradi giorno (GG) intermedi ai limiti delle zone climatiche riportati in tabella, si procede mediante interpolazione lineare.

Durante il periodo di accensione dell'impianto di riscaldamento, al fine di contenere il consumo di energia, devono essere opportunamente limitate le dispersioni di calore per trasmissione attraverso le superfici che delimitano gli spazi chiusi e le immissioni d'aria dall'esterno, tenendo tuttavia presenti le esigenze di ventilazione e di benessere termico all'interno degli spazi di vita. È inoltre necessario sostituire parte dell'energia altrimenti prodotta da combustibili fossili con energia prodotta da fonti rinnovabili.

Con riferimento alle prescrizioni tecniche e procedurali previste dalle norme nazionali vigenti, (vedi riferimenti normativi sulla scheda requisiti) bisogna verificare che :

$$E_{pi} < E_{pi \text{ limite}}$$

Dove **E<sub>pi</sub>** rappresenta l'indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale, ed **E<sub>pi</sub> limite** è il limite calcolato come dalle tabelle riportate in eseguito ( 1.2, 1.3, 1.5, 1.6).

In alternativa se il rapporto tra superficie trasparente complessiva dell'edificio e la sua superficie utile è inferiore a 0.18 si può attribuire direttamente all'edificio un valore di  $E_{pi} = E_{pi \text{ limite}}$ , se in contemporanea si verificano le seguenti prescrizioni sugli impianti e sull'involucro:

- Rendimento termico utile (a carico pari al 100% di P<sub>n</sub>) > X + 2 log P<sub>n</sub>. Con X=90 per le zone climatiche A, B e C, e X=93 per le zone D, E e F. Se P<sub>n</sub> > 400 kW, si applica il limite massimo corrispondente a 400 Kw;
- T media fluido termovettore in condizione di progetto < 60°C;
- Installazione centralina di termoregolazione programmabile in ogni unità immobiliare e dispositivi per la regolazione della temperatura ambienti nei singoli locali o nelle singole zone con caratteristiche uniformi dell'edificio per prevenire il surriscaldamento dovuto agli apporti gratuiti
- Nel caso di installazione di pompe di calore elettriche o a gas: rendimento utile in condizioni nominale riferito all'en. primaria (η<sub>u</sub>) ≥(90+3logP<sub>n</sub>). La verifica è fatta utilizzando come fattore di conversione tra energia elettrica ed energia primaria il valore di riferimento per la conversione tra kWh elettrici e MJ definito con provvedimento dell'Autorità per l'energia elettrica e il gas, al fine di tener conto dell'efficienza media di produzione del parco termoelettrico, e suoi successivi aggiornamenti;

- Trasmittanza strutture opache verticali  $\leq$  valori Tab 2.1 (vedi pag 41-42);
- Trasmittanza strutture opache orizzontali  $\leq$  valori Tab 3.1 o .2 (escl. E8) (vedi pag 41-42);
- Trasmittanza chiusure trasparenti  $\leq$  valori Tab 4.a (escl. E8) (vedi pag 41-42);
- Trasmittanza vetri  $\leq$  valori Tab 4.b (escl. categoria E8) (vedi pag 41-42);

Per la zona **climatica D** in base ai valori prestazioni riportati nell'allegato C del D.Lgs 192/05 e successiva modifica con il D.Lgs. 311/06 e s.m.i., si ha:

**Edifici residenziali della classe E1**, esclusi collegi, conventi, case di pena, e caserme

<b>TABELLA 1.2</b>		<b>EPI limite dal 1 gennaio 2008</b> Valori limite per la climatizzazione invernale espressi in kWh/m <sup>2</sup> anno	
S/V	Zona climatica		
	D		
	1401 GG	2100 GG	
$\leq 0.2$	23	37	
$\geq 0.9$	78	100	

<b>TABELLA 1.3</b>		<b>EPI limite dal 1 gennaio 2010</b> Valori limite per la climatizzazione invernale espressi in kWh/m <sup>2</sup> anno	
S/V	Zona climatica		
	D		
	1401 GG	2100 GG	
$\leq 0.2$	21.3	34	
$\geq 0.9$	68	88	

Per tutti gli altri edifici

<b>TABELLA 1.5</b>		<b>EPI limite dal 1 gennaio 2008</b> Valori limite per la climatizzazione invernale espressi in kWh/m <sup>3</sup> anno	
S/V	Zona climatica		
	D		
	1401 GG	2100 GG	
$\leq 0.2$	6.5	10.5	
$\geq 0.9$	20	26	

<b>TABELLA 1.6</b>		<b>EPI limite dal 1 gennaio 2010</b> Valori limite per la climatizzazione invernale espressi in kWh/m <sup>3</sup> anno	
S/V	Zona climatica		
	D		
	1401 GG	2100 GG	
$\leq 0.2$	6	9.6	
$\geq 0.9$	17.3	22.5	

## Verifica dei livelli di luce naturale

Un edificio deve basare la sua illuminazione fundamentalmente sulla luce del giorno e deve essere adattata in modo da far sempre meno affidamento sull'illuminazione artificiale. Nello specifico deve essere soddisfatta la verifica **del Fattore di Luce Diurna medio (FLDm)** in tutti gli spazi di vita:

$$\text{FLDm} \geq 2\%$$

Per spazi di vita si intende: cucine, soggiorni, camere da letto. Sono esclusi dal calcolo tutti gli spazi accessori e di passaggio.

Per dimostrare il rispetto del livello di prestazione richiesto si possono usare due metodologie:

- **soluzione conforme;**
- **metodi di calcolo** di verifica progettuale.

Nel caso il progettista utilizzi metodi di verifica diversi da quelli proposti, può utilizzare qualunque altro metodo che ritiene opportuno purché venga dettagliatamente illustrato nella relazione tecnica da presentare obbligatoriamente per la richiesta dei titoli abilitativi.

Se è utilizzato un metodo di verifica del **FLDm** puntuale (come quello di seguito illustrato), il criterio per l'individuazione dei punti in cui effettuare la verifica con i calcoli è quello indicato per i metodi di verifica a lavori ultimati.

Per calcolare il **FLDm** occorre considerare anche il contesto naturale o antropizzato nel quale l'edificio è inserito (edifici prospicienti, ostruzioni, orografia, ecc.) tenendo presente anche le previsioni urbanistiche (edifici ammessi o previsti dagli strumenti urbanistici, ma non ancora realizzati).

**Le grandezze luminose che caratterizzano un ambiente di vita**\_ L'illuminazione naturale deve essere utilizzata nella maggiore misura possibile al fine di favorire il benessere psicofisico degli occupanti, permettendo possibilmente anche lo svolgimento del compito visivo in condizioni di sicurezza, e ridurre il consumo energetico.

Alle superfici vetrate è attribuita la duplice funzione di consentire il contatto visivo con l'ambiente esterno e di realizzare una soddisfacente distribuzione dell'illuminazione nell'ambiente interno.

I livelli di *illuminamento* e di *fattore di luce diurna* consentono di caratterizzare un ambiente dal punto di vista luminoso. La prima grandezza si riferisce a sorgenti di luce sia naturale che artificiale, mentre l'altra si riferisce esclusivamente all'illuminamento naturale in un punto all'interno dell'ambiente considerato.

**Il Fattore di luce diurna (FdL)**\_ E' un parametro introdotto per valutare l'illuminazione naturale all'interno di un ambiente confinato.

Tuttavia, poiché le sorgenti di luce naturale sono il sole ed il cielo, nella valutazione delle condizioni di illuminazione si fa riferimento al caso più sfavorevole ovvero di cielo coperto, che si verifica in assenza di radiazione solare diretta.

Pur escludendo la radiazione diretta, i valori di illuminamento all'interno di un locale mostrano una variabilità notevole in funzione delle condizioni meteorologiche e del periodo dell'anno considerato.

Proprio per evitare che l'aleatorietà delle sorgenti naturali renda poco significativo il calcolo dell'illuminamento interno se svolto in termini assoluti, si è preso in considerazione il fatto che, fissato un punto interno ad un ambiente di prefissate caratteristiche, vi è un rapporto costante tra il suo illuminamento e l'illuminamento esterno. Tutto ciò porta a valutare le condizioni relative

di illuminazione diurna degli ambienti, anziché quelle assolute.

Ciò può essere fatto mediante l'introduzione di opportuni fattori adimensionali, ed è proprio questo il caso del *fattore di luce diurna*. Esso, infatti, è un parametro adimensionale definito dal rapporto tra l'illuminamento  $E$  ricevuto dal punto in esame e l'illuminamento  $E_0$  ricevuto, nelle identiche condizioni di tempo e di luogo, da un punto su una superficie orizzontale illuminata dall'intera volta celeste senza irraggiamento diretto del sole:

$$\eta = \frac{E}{E_0}$$

Il valore dell'illuminamento  $E$  del punto all'interno dell'ambiente, risulta costituito da tre componenti: l'apporto dovuto alla porzione di cielo vista dal punto attraverso la finestra, l'apporto dovuto alle riflessioni delle superfici di eventuali ostruzioni urbane esterne viste dal punto attraverso la finestra, l'apporto dovuto alle riflessioni multiple che si verificano all'interno dell'ambiente. Il fattore complessivo di luce diurna può quindi essere espresso come rapporto tra la somma dei diversi apporti all'interno dell'ambiente e l'illuminamento esterno  $E_0$ . Per valutare le condizioni di illuminamento naturale all'interno di un ambiente si è soliti impiegare il **fattore medio di luce diurna (FdLm),  $\eta_m$** , definito come il rapporto tra la media dei valori di illuminamento all'interno dell'ambiente,  $E_m$ , e la media dei valori di illuminamento esterno rilevati durante le misurazioni,  $E_{0m}$ , sempre in assenza di irraggiamento solare diretto:

$$\eta_m = \frac{E_m}{E_{0m}}$$

Questo fattore, comparso inizialmente sulla Circolare del Ministero dei Lavori Pubblici n.3151 del 22/5/1967 e successivamente confermato dal D.L. che il Ministero della Sanità ha emanato nel 5/7/1975 riguardante i requisiti igienico-sanitari dei locali di abitazione, secondo la stessa Circolare può essere definito con la seguente formula di calcolo:

$$\eta_m = \frac{A_f \cdot t}{(1 - r_m) \cdot S_{tot}} \cdot \varepsilon \cdot \psi$$

- $A_f$  è l'area della superficie della finestra, escluso il telaio [m2];
- $t$  è il coefficiente di trasmissione luminosa del vetro [-];
- $r_m$  è il coefficiente medio di riflessione luminosa delle superfici interne dell'ambiente [-];
- $S_{tot}$  è l'area totale delle superfici che delimitano l'ambiente [m2];
- $\varepsilon$  è il *fattore finestra*, rappresentativo della porzione di volta celeste vista dal baricentro della finestra;
- $\psi$  è il coefficiente di riduzione del fattore finestra, in funzione dell'arretramento del piano della finestra rispetto al filo esterno della facciata [-];

Il fattore finestra  $\varepsilon$  assume i seguenti valori in funzione della posizione della superficie vetrata e della presenza di ostruzioni esterne:

- $\varepsilon = 100\%$  per superfici vetrate orizzontali prive di ostruzioni
- $\varepsilon = 50\%$  per superfici vetrate verticali prive di ostruzioni
- $\varepsilon < 50\%$  per superfici vetrate verticali in presenza di ostruzioni

Sia il fattore  $\epsilon$  che  $\psi$  possono essere dedotti da appositi grafici riportati dai decreti prima citati ed in letteratura.

Il fattore **(FdLm)  $\eta_m$**  imposto dal decreto dipende sia dalla destinazione d'uso dell'edificio, sia dalla funzione propria ai singoli spazi all'interno di esso. Il D.L. emanato il 5/7/1975 prescrive che per ciascun locale di abitazione l'ampiezza della finestra deve essere proporzionata in modo da assicurare un valore del fattore medio di luce diurna non inferiore al 2%. Una proposta di norma UNI, U290040 (1998) "Illuminotecnica. Locali scolastici – Criteri generali per l'illuminazione artificiale e naturale", fa riferimento al concetto di fattore medio di luce diurna riportando le seguenti definizioni ad esso relative:

- **Fattore medio di luce diurna (FdL)  $\eta_m$** : rapporto espresso in percentuale, per l'illuminamento medio dell'ambiente **E<sub>m</sub>** e l'illuminamento che si ha nelle stesse condizioni di tempo e spazio, su una superficie orizzontale esterna che riceve luce dall'intera volta celeste, senza irraggiamento solare diretto **E<sub>0</sub>**.
- **Fattore puntuale massimo di luce diurna ( $\eta_{max}$ )**: rapporto tra l'illuminamento massimo in un punto interno all'ambiente **E<sub>max</sub>** e l'illuminamento che si ha nelle stesse condizioni di tempo e spazio, su una superficie orizzontale esterna che riceve luce dall'intera volta celeste, senza irraggiamento solare diretto **E<sub>0</sub>**.
- **Fattore puntuale minimo di luce diurna ( $\eta_{min}$ )**: rapporto tra l'illuminamento minimo in un punto interno all'ambiente **E<sub>min</sub>** e l'illuminamento che si ha nelle stesse condizioni di tempo e spazio, su una superficie orizzontale esterna che riceve luce dall'intera volta celeste, senza irraggiamento solare diretto **E<sub>0</sub>**.

Lo stesso documento sottolinea, anche per l'illuminazione naturale, la necessità di valutare l'uniformità di illuminamento precisando che "al fine di garantire un'adeguata uniformità dell'illuminazione naturale, all'interno degli ambienti, devono essere garantiti i seguenti rapporti relativi al fattore di luce diurna puntuale":

$$U = \frac{\eta_{min}}{\eta_{max}} > 0,16$$

Qui di seguito si riportano i valori del fattore medio di luce diurna raccomandati dai diversi decreti ministeriali per quanto concerne l'edilizia residenziale, scolastica ed ospedaliera:

	$\eta_m \geq 1 \%$	$\eta_m \geq 2 \%$	$\eta_m \geq 3 \%$
Edilizia residenziale [4]	-	Tutti i locali di abitazione	-
Edilizia scolastica [5]	Uffici, spazi di distribuzione, scale, servizi igienici	Palestre e refettori	Ambienti ad uso didattico, laboratori
Edilizia ospedaliera [6]	Uffici, spazi di distribuzione, scale, servizi igienici	Palestre e refettori	Ambienti di degenza, diagnostica, laboratori

## Verifica dell'indice di inerzia termica dell'involucro edilizio e contenimento dei consumi energetici per la climatizzazione estiva.

**Inerzia termica dell'involucro** \_ Al fine di mantenere condizioni di comfort negli ambienti interni nel periodo estivo e ridurre l'uso dei sistemi di condizionamento per ottenere risparmi energetici, è opportuno progettare l'involucro edilizio considerando sia la capacità di accumulo del calore (che dipende dalla **massa**), sia la **conduttività termica** dei materiali di cui è composto. La combinazione di questi due elementi costituisce l'**inerzia termica** che agisce sull'assorbimento della radiazione solare incidente diminuendo l'ampiezza dell'onda termica esterna (*smorzamento*) e ritardando il suo passaggio dall'esterno all'interno (*sfasamento*) attraverso l'involucro edilizio: un'elevata inerzia termica può fare in modo che le temperature esterne più elevate raggiunte durante il giorno siano percepite all'interno dell'involucro edilizio quando ormai la temperatura esterna è calata sensibilmente e il caldo risulta quindi più facilmente tollerabile.

La **massa termica** dell'edificio è un elemento importante per la determinazione dei fabbisogni energetici sia estivi che invernali: è quindi preferibile un involucro "pesante" ad elevata inerzia termica, cioè con buona capacità di accumulo del calore e bassa conduttività termica, ad un involucro leggero dotato solo di isolamento termico. Effetti positivi si ottengono anche con l'utilizzo di tecniche e materiali innovativi, in alternativa a involucri con grandi masse. Inoltre, il D.Lgs. 192/05 come modificato dal D.Lgs. 311/06 e s.m.i., prevede di verificare, nel caso di edifici di nuova costruzione in sede progettuale, che:

$$E_{pe, invol} \leq E_{pe, invol\ limite}$$

dove **E<sub>pe, invol</sub>**, rappresenta la **prestazione energetica per il raffrescamento estivo** dell'involucro edilizio, che è pari al rapporto tra il fabbisogno annuo di energia termica per il raffrescamento (calcolato secondo la norma UNI/TS 11300 part. 1) e la superficie utile, per gli edifici residenziali, oppure il volume per tutti gli altri edifici.

In particolare prevede di verificare che (**ad esclusione della zona F**), per le località in cui il valore medio mensile dell'irradianza sul piano orizzontale nel mese di massima insolazione è **Im,s ≥ 290 W/m<sup>2</sup>** che:

- **la massa superficiale (Ms) delle pareti opache (verticali, orizzontali e inclinate) sia maggiore di 230 kg/m<sup>2</sup>**
- **si ottengono gli effetti positivi di una parete opaca con Ms pari a 230 kg/m<sup>2</sup> pur utilizzando tecniche e materiali innovativi.**

In osservanza del D.Lgs. 192/05, si considera la massa superficiale **Ms** delle superfici opache (verticali, orizzontali e inclinate) ai fini della valutazione della prestazione richiesta e, dato che per il comune di Tocco Da Casauria il valore medio mensile dell'irradianza sul piano orizzontale nel mese di massima insolazione è uguale a **302 W/m<sup>2</sup>**, bisogna verificare che la massa superficiale **Ms** delle superfici opache sia **≥ 230 kg/m<sup>2</sup>**.

Il valore di **E<sub>pe, invol limite</sub>**, è pari a:

- a) per gli edifici residenziali di cui alla classe E1
  - 40 kWh/m<sup>2</sup> anno nelle zone climatiche A e B;
  - 30 kWh/m<sup>2</sup> anno nelle zone climatiche C, D, E, e F;
- b) per tutti gli altri edifici ai seguenti valori:
  - 14 kWh/m<sup>3</sup> anno nelle zone climatiche A e B;
  - 10 kWh/m<sup>3</sup> anno nelle zone climatiche C,D,E e F.

Un metodo di verifica utile al soddisfacimento di tale requisito è illustrato di seguito: noti gli spessori dei vari strati che compongono la superficie opaca, il valore della massa superficiale **Ms**, è calcolata come:

$$Ms = Mv \times S \text{ [Kg/m}^2\text{]} \geq 230 \text{ kg/m}^2$$

dove **Ms** è la massa della parete ottenuta come somma dei prodotti della **massa volumica Mv** di ciascuno strato per il relativo spessore.

Successivamente, nota la trasmittanza termica delle pareti (**k**), il suo spessore (**s**) e la massa volumica (**m<sub>v</sub>**) è possibile trovare i coefficienti di sfasamento (**φ**) ed attenuazione **f<sub>a</sub>** per mezzo delle tabelle 1 e 2.

U W / mq K	M Kg / mq					
	150	200	250	300	350	400
< 0,4	6	8	10	12	14	16
0,4 ÷ 0,6	6	8	9	10	12	14
0,6 ÷ 0,8	6	8	9	10	12	14
> 0,8	6	8	8	10	12	14

U è la trasmittanza termica della parete  
M è la massa fisica areica della parete ottenuta come somma dei prodotti della massa volumica di ciascuno strato per il relativo spessore

**Tabella 1-** Coefficiente di sfasamento (in ore) per pareti verticali con isolamento ripartito

Tipo di parete	Posizione isolamento	φ
muratura portante - con isolamento concentrato	interno	11
	intermedio	11
	esterno	11
muratura non portante - con isolamento concentrato	interno	8
	intermedio	8
	esterno	8
pareti di tamponamento - prefabbricate multistrato	isolante spessore cm 6	4
pareti di tamponamento - pareti finestrate	---	0

**Tabella 2-** Coefficiente di sfasamento (in ore) per pareti verticali con isolamento concentrato

**Comfort ambientale interno** Il comfort ambientale interno, dipende sia dalla qualità dell'aria che dai livelli di temperatura e umidità. La temperatura e l'umidità dell'aria vengono percepiti insieme e pertanto si parla di **comfort igrotermico**. Il comfort igrotermico dipende dall'intensità degli scambi termici fra l'uomo e l'ambiente circostante, dalla temperatura dell'aria e da quella delle superfici circostanti (pareti, soffitti, pavimenti). Le condizioni termiche in un ambiente sono da considerarsi buone quando la somma della temperatura dell'aria e quella delle pareti è uguale alla temperatura media del corpo (37°C). Trovandosi in un ambiente con superfici fredde, il corpo irradia più calore e si avverte una sensazione di freddo, anche se la temperatura dell'aria sembra sufficientemente alta. Il freddo che si sente dipende anche dal materiale della parete. Una parete di pietra assorbe il calore irradiato più rapidamente rispetto ad una parete di legno, perché il legno è un cattivo conduttore di calore.

Le condizioni igrotermiche sono più confortevoli quando la temperatura delle superfici circostanti supera leggermente quella dell'aria e l'umidità dell'aria è compresa tra il 40 e il 70%.

In queste condizioni il corpo umano non subisce notevoli perdite per irraggiamento. La questione del comfort igrotermico si pone soprattutto nel periodo invernale e in quello estivo, quando la temperatura esterna e quella desiderata all'interno sono molto differenti. In estate, le temperature interne si possono mantenere facilmente nel campo del benessere termico, senza ricorrere al climatizzatore, con l'ombreggiatura delle finestre durante il giorno e la ventilazione naturale nelle ore notturne. Già una temperatura interna inferiore di pochi gradi (3-5°C) a quell'esterna viene percepita come gradevole. In inverno il problema si pone inversamente: il mantenimento del comfort termico, cioè il mantenimento di una temperatura tra 16 e 20°C, indipendentemente dalla temperatura esterna, richiede la fornitura di calore con la conseguenza di doverlo produrre. La quantità di calore che deve essere prodotta in una casa dipende dalle sue prestazioni termiche: se queste sono buone il consumo di energia per la produzione di calore è modesto.

<b>AMBIENTI</b>	<b>TEMPERATURA</b>	<b>UMIDITA'</b>
<b>soggiorno</b>	<b>16-20</b>	<b>40-50</b>
<b>camere da letto</b>	<b>12-16</b>	<b>50-70</b>
<b>cucina</b>	<b>12-14</b>	<b>50-70</b>
<b>bagno</b>	<b>20-22</b>	<b>50-70</b>
<b>corridoio</b>	<b>12-14</b>	<b>40-60</b>
<b>scale, pianerottoli</b>	<b>10-12</b>	<b>60</b>

**Temperatura e umidità relativa ideale nei vari ambienti della casa**

## Controllo dell'apporto solare termico estivo

La luce che attraversa i vetri, una volta all'interno si trasforma in calore e questo fenomeno se in inverno giova, in estate causa il surriscaldamento degli ambienti e il calore dovrà poi essere asportato con l'impianto di ventilazione o di climatizzazione. Ambedue i sistemi comportano consumi energetici, inammissibili in edifici ad alta efficienza energetica.

Al fine di ottimizzare l'efficienza energetica degli edifici nel periodo estivo, è necessario prevedere **sistemi di schermatura** dal sole, per evitare il surriscaldamento degli ambienti di vita nelle ore centrali del giorno, senza compromettere il guadagno energetico passivo nella stagione invernale e l'illuminazione naturale.

I sistemi di schermatura sono sei dispositivi che fungono da barriera regolatrice della radiazione solare, in quanto oltre a schermare la luce, ne graduano la luminosità senza creare fenomeni di abbagliamento e senza impedire l'illuminazione e la ventilazione degli ambienti interni; sono ottimi sistemi oscuranti ma anche elementi compositivi veri e propri capaci di caratterizzare l'architettura stessa dell'edificio.

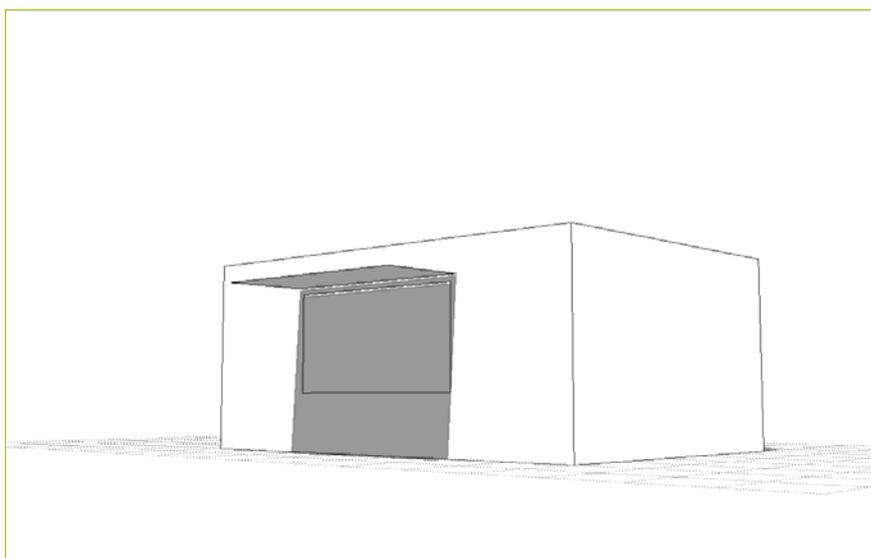
L'efficacia di un sistema di schermatura dipende da tre parametri importanti, il clima locale nei vari periodi dell'anno, la cui conoscenza ci permette di capire quali sono i periodi in cui è opportuno schermare e viceversa; il percorso solare, che ci permette di conoscere l'angolazione del sole nei vari periodi e alle diverse ore della giornata, così da poter dimensionare e orientare in maniera ottimale le schermature; le caratteristiche dell'edificio, ovvero la sua collocazione, dimensione, destinazione d'uso, orientamento, divisione interna, ecc... .

Per essere efficaci, le schermature dovrebbero inoltre trovarsi all'esterno delle superfici finestrate così da impedire il passaggio dei raggi solari diretti, quelle interne lasciano passare il calore con conseguente surriscaldamento degli ambienti.

Per una finestra rivolta a **sud** la schermatura ideale è quella **orizzontale**, in quanto in estate il sole è alto, ottenibile o con uno sporto posizionato sopra la finestra (pensiline, pergolati, aggetti, balconi, ecc.), oppure con un sistema di **brisoleil (frangisole)** posto davanti la superficie finestrata; anche un arretramento delle superfici finestrate stesse rispetto al filo di facciata permette di ottenere lo stesso effetto degli elementi schermanti. Per le finestre rivolte ad **est** e **ovest**, devono essere usati schermi **verticali**, ancora meglio se regolabili, in quanto, nelle prime ore della giornata e nelle ore pomeridiane, la radiazione solare è più bassa rispetto a quella delle ore centrali e quindi non schermabile con un sistema di schermatura orizzontale. I dispositivi più semplici e più economici da poter utilizzare, sono gli aggetti ed i frangisole di tipo "fisso". Quelli orientabili, consentono di posizionare le lamelle rispetto al raggio di incidenza della luce, schermando così i raggi dannosi ma permettendo comunque l'ingresso e la diffusione della luce naturale.

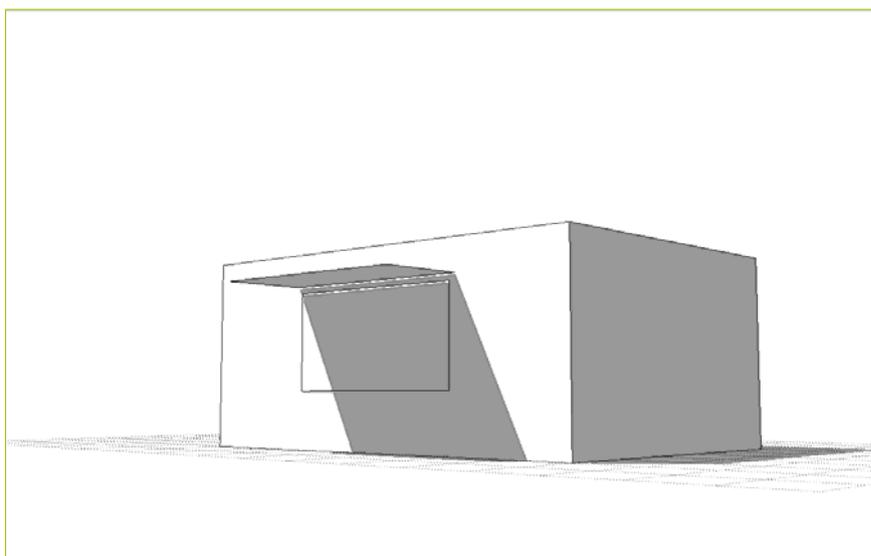
L'utilizzo dei sistemi schermanti, deve garantire un ombreggiamento uguale o maggiore dell'80% dell'intera superficie, e vanno verificati per il giorno considerato più caldo ovvero al 21 luglio, alle seguenti ore: 12, 14 e 16 ora solare.

Di seguito riportiamo un esempio di ombreggiatura di una finestra con uno sporto opportunamente dimensionato, che verifica il suddetto requisito.



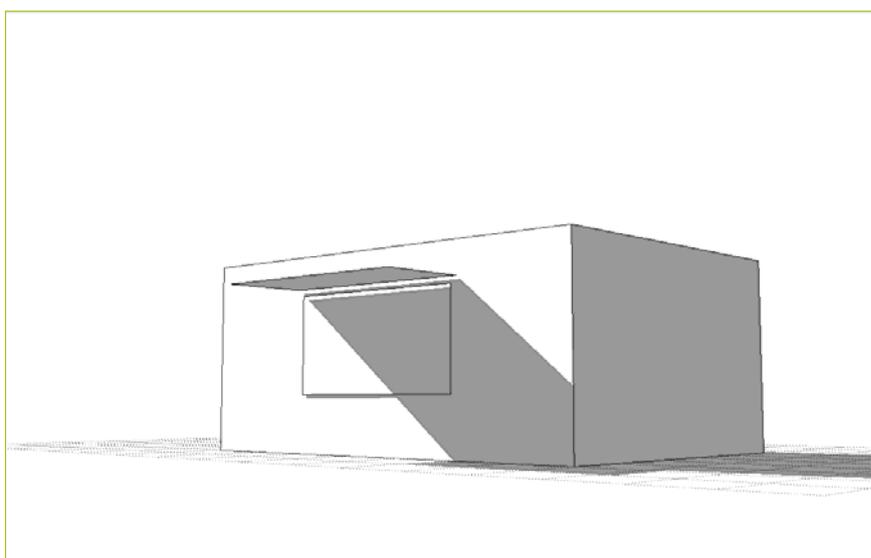
**21 luglio  
ore 12.00**

**ombreggiamento  
100%**



**21 luglio  
ore 14.00**

**ombreggiamento  
90%**



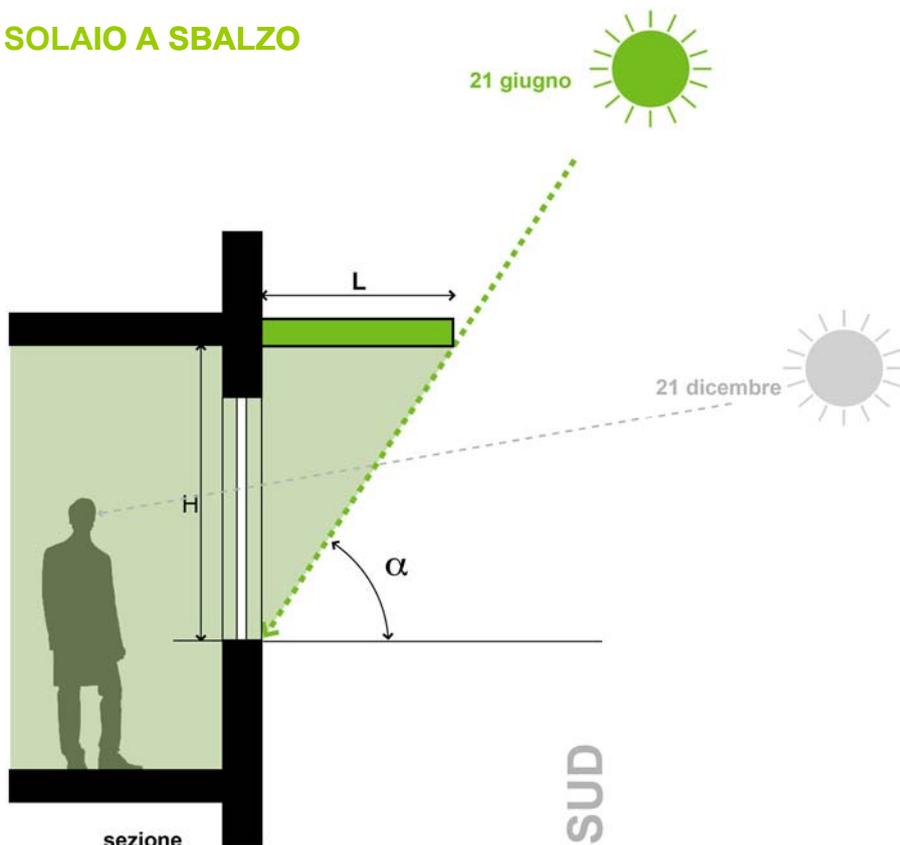
**21 luglio  
ore 16.00**

**ombreggiamento  
80%**

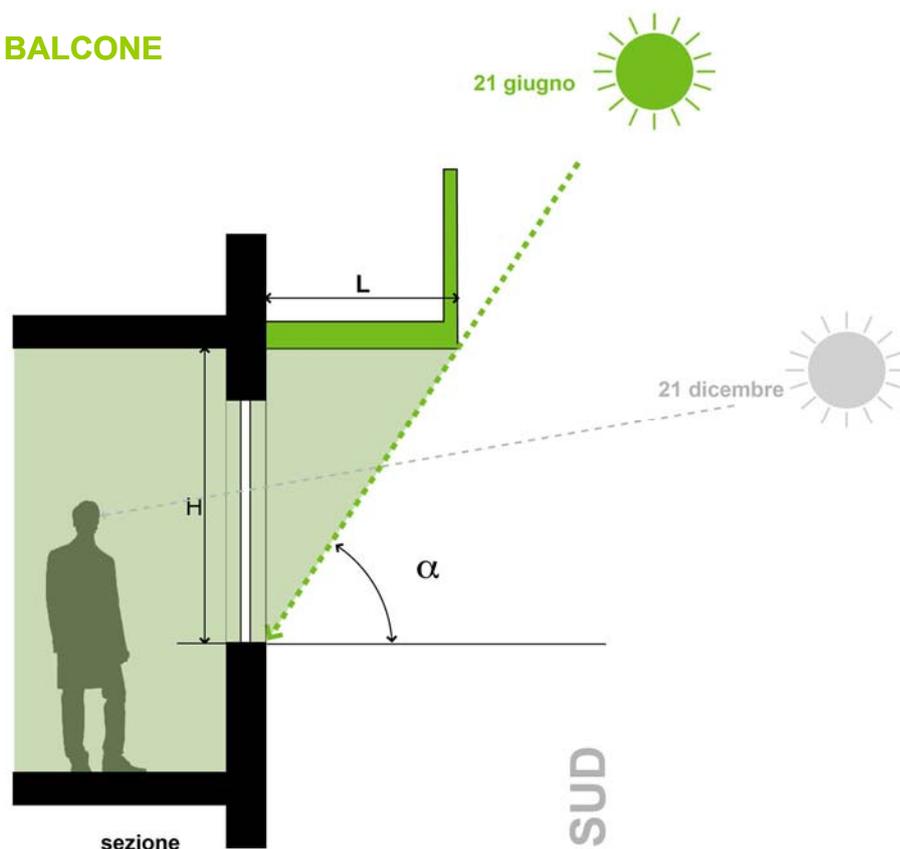
**Principali sistemi di schermatura**

- *elementi strutturali orizzontali come aggetti, balconi o pensiline:*  
 orientamento **SUD**;

**SOLAIO A SBALZO**



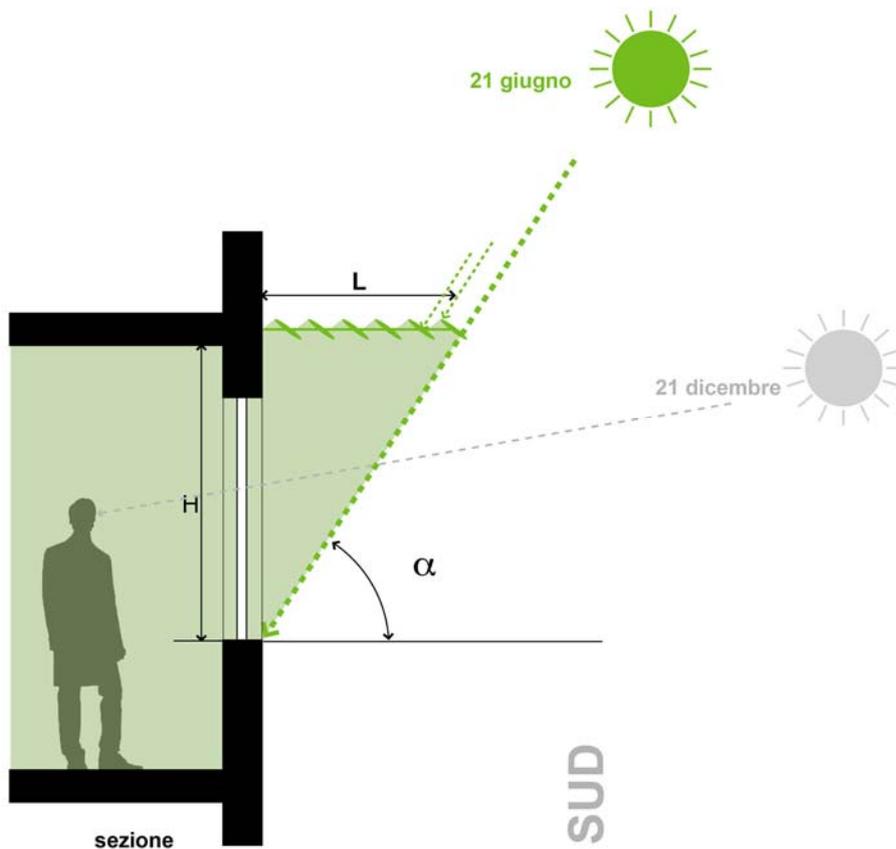
**BALCONE**



I sistemi di schermatura con elementi strutturali orizzontali, sono efficaci principalmente per le vetrate esposte a Sud, ma anche per quelle esposte a SUD-EST o SUD-OVEST.

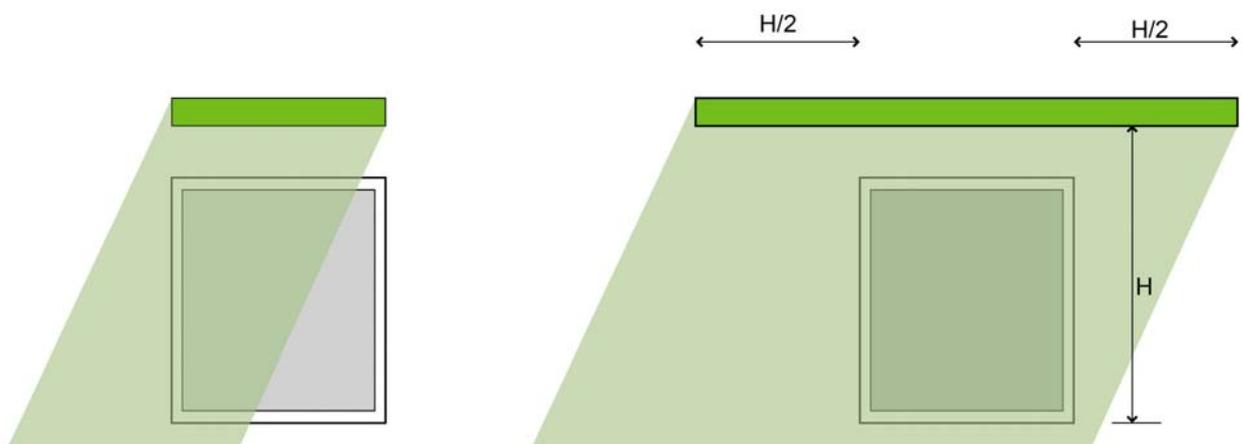
La dimensione di un elemento di schermatura può essere calcolata con l'uso di software oppure graficamente: la lunghezza **L** dell'elemento schermante, è determinata dall'angolo  $\alpha$  (vedi tabelle pag xxxxx), compreso tra la l'asse orizzontale perpendicolare alla finestra e passante per la sua base, e la retta di inclinazione massima del sole calcolata al 21 giugno, il giorno di massima altitudine del sole. Questo sistema è efficace per schermare la radiazione nel periodo più caldo dell'anno, ma allo stesso tempo consente di avere la visuale libera verso l'esterno e non impedisce il guadagno termico invernale, perché un aggetto così calcolato non scherma il sole invernale in quanto ha un altitudine minore rispetto a quello estivo.

**PENSILINA CON FRANGISOLE**



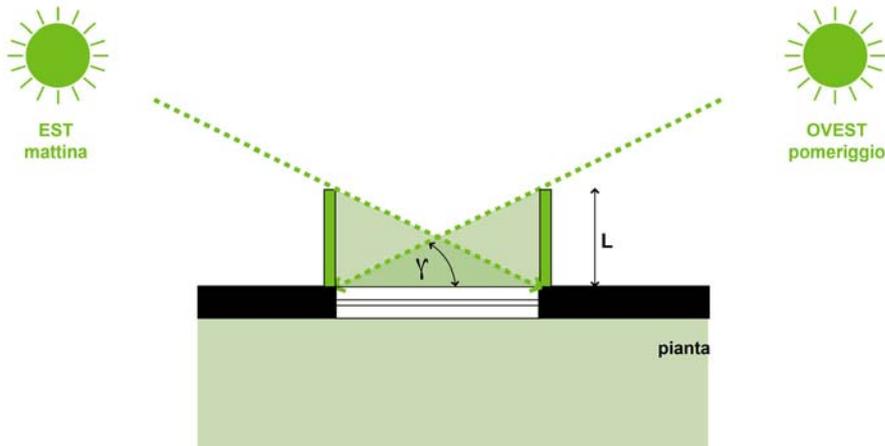
L'utilizzo di una pensilina con lamelle frangisole è ugualmente efficace di un elemento strutturale: è composta da una serie di lamelle schermanti inclinate, le cui dimensioni e distanza sono tali da impedire il passaggio della radiazione diretta, permettendo inoltre il passaggio del vento, riducendo l'accumulo di aria calda che si verifica quando si ha un aggetto continuo. Può essere utilizzata quando non è possibile l'uso di elementi strutturali, o perché la tipologia di edificio non lo prevede o quando si preferisce usare elementi più leggeri e non permanenti.

Se l'aggetto è della stessa larghezza della finestra, non riuscirà ad ombreggiarla completamente. Questo perché il sole prima e dopo mezzogiorno si trova a sud-est e sud-ovest, quindi per ottenere una schermatura totale, l'elemento schermante orizzontale deve essere più largo della finestra.

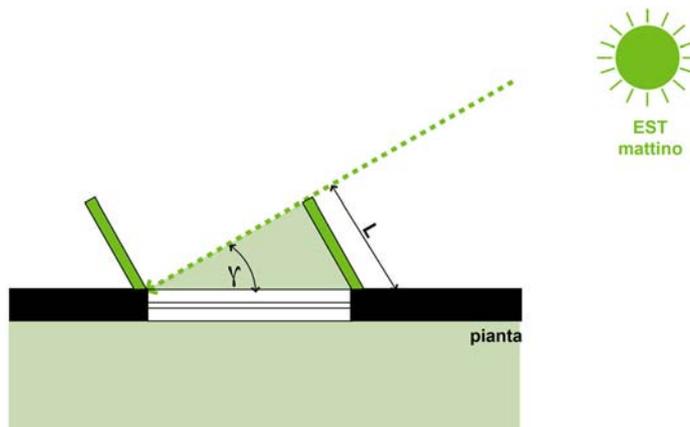
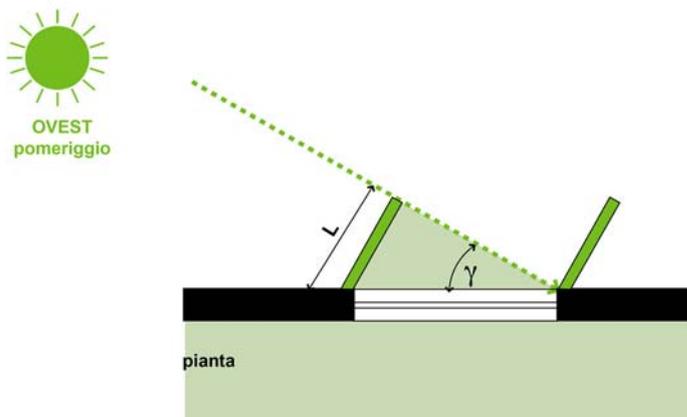


- *elementi strutturali verticali*: orientamento **EST**, **OVEST**;

### AGGETTI PERPENDICOLARI



### AGGETTI INCLINATI



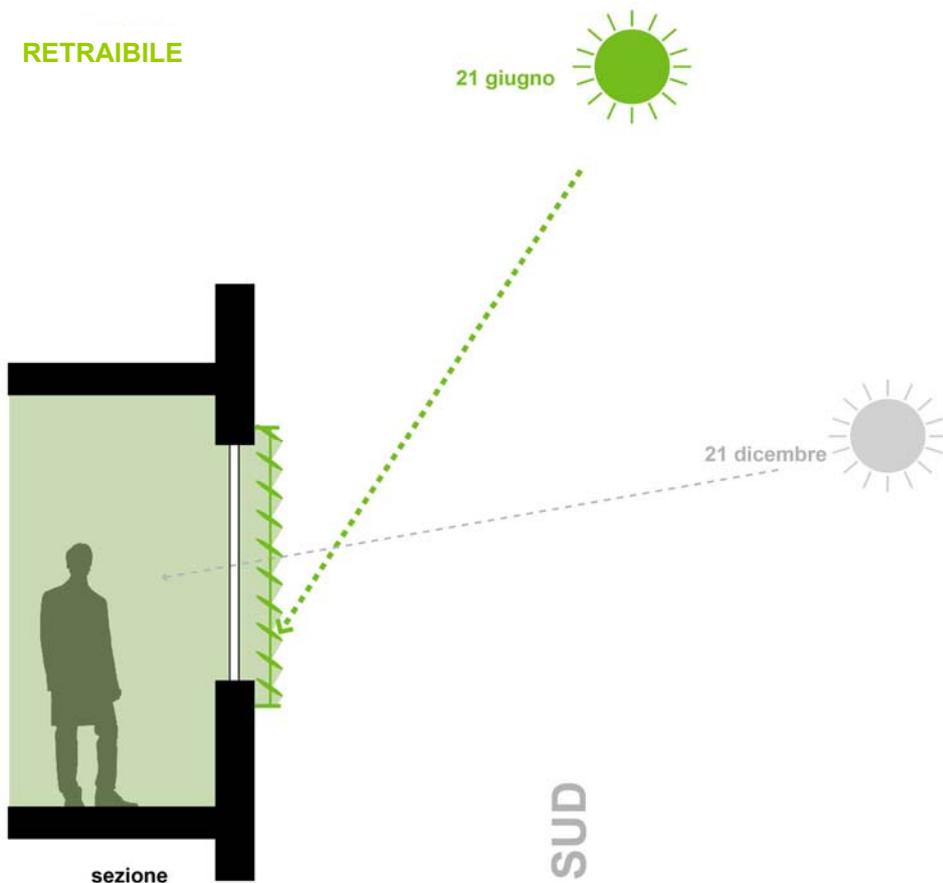
I sistemi di schermatura con elementi strutturali verticali sono efficaci per le vetrate esposte a **EST** e **OVEST**, in quanto il sole al mattino e nel pomeriggio è basso, e una schermatura orizzontale sarebbe inutile.

La lunghezza **L** dell'elemento schermante, è determinata dall'angolo  $\gamma$  (vedi tabelle pag xxxxx), che rappresenta l'angolo orario del sole, ovvero l'azimut (vedi C2 c pag xxxxx).

Gli aggetti verticali possono essere perpendicolari o inclinati, così da fornire una zona d'ombra maggiore, orientati a EST o ad OVEST a seconda di come è orientata la facciata.

- frangisole a lamelle orizzontali: orientamento **SUD**

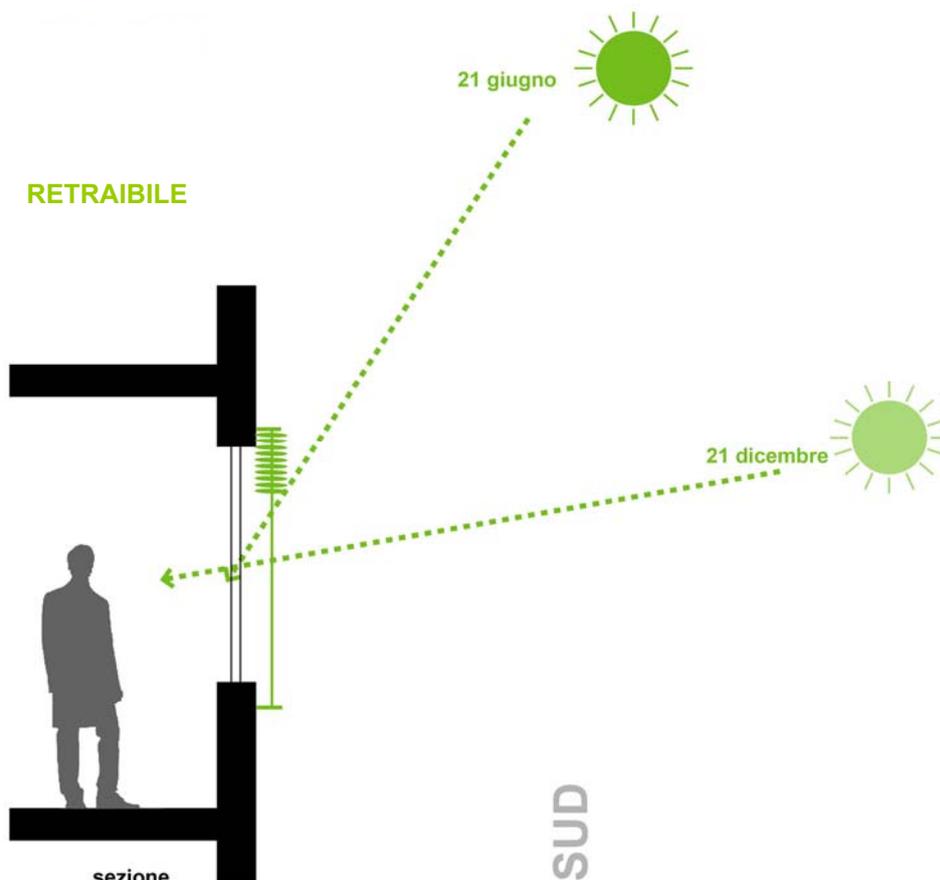
**RETRAIBILE**



sezione

SUD

**RETRAIBILE**



sezione

SUD

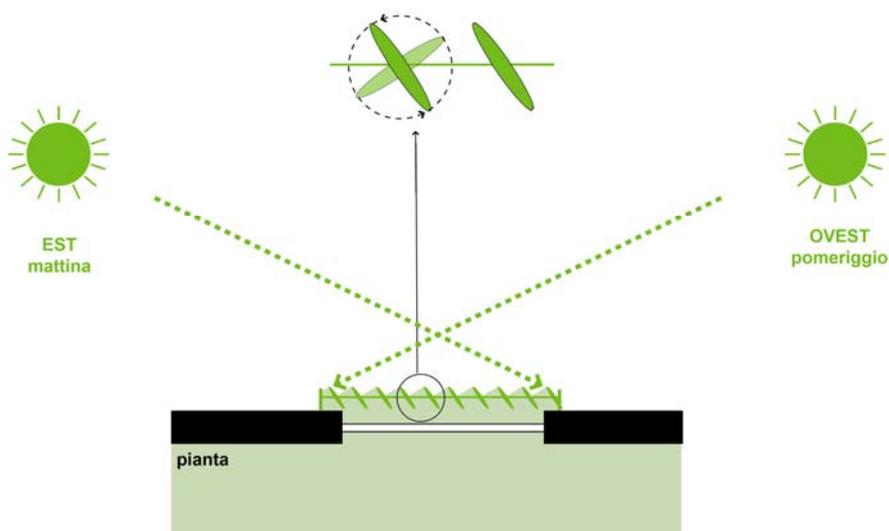
I frangisole a lamelle posizionati davanti la superficie finestrata, sono ottimi sistemi schermanti sia per la radiazione diretta che per quella diffusa. Possono essere fissi o mobili: nel primo caso l'orientamento delle lamelle va determinato in base all'orientamento della facciata e del percorso solare stagionale della località, così da garantire sempre la luminosità degli ambienti.

Quelli mobili invece, consentono di posizionare le lamelle rispetto al raggio di incidenza della luce, schermando così i raggi dannosi ma permettendo comunque l'ingresso e la diffusione della luce naturale. Oppure retraibili in modo da poter essere completamente aperti in inverno.

Nelle facciate esposte a sud, dove il sole in estate è più alto e quindi arriva a colpire la finestra in maniera radente, è utile usare il frangisole a lamelle orizzontali.

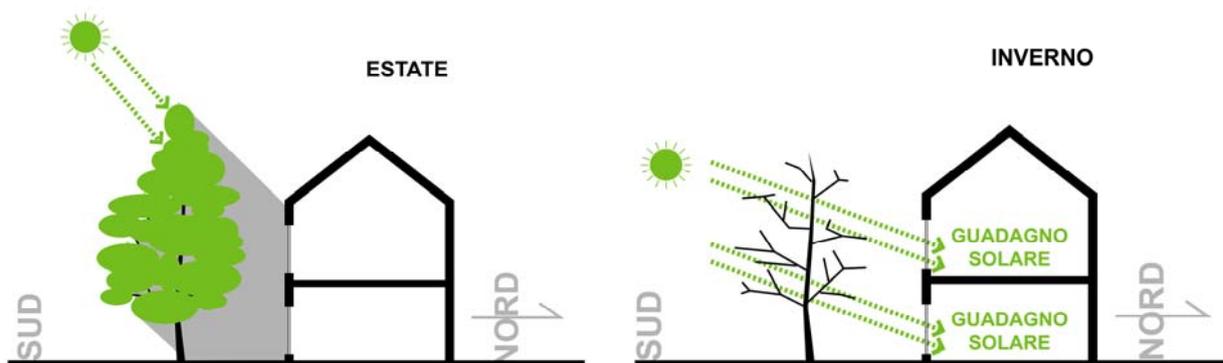
- *frangisole a lamelle verticali*: orientamento EST, OVEST;

**ORIENTABILE**



Nelle facciate esposte ad EST o OVEST, essendo i raggi solari più inclinati, le lamelle devono essere verticali, orientate a est o ad ovest a seconda di come è orientata la facciata.

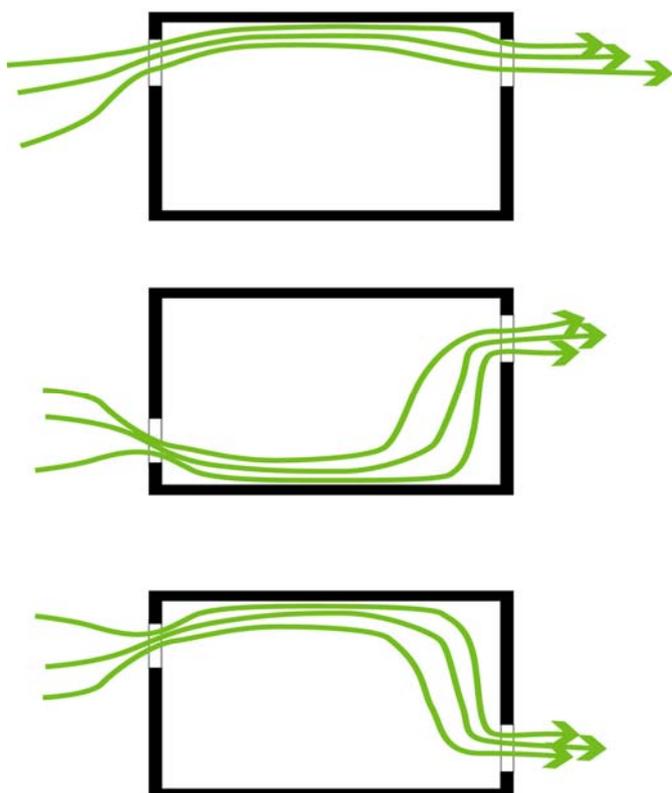
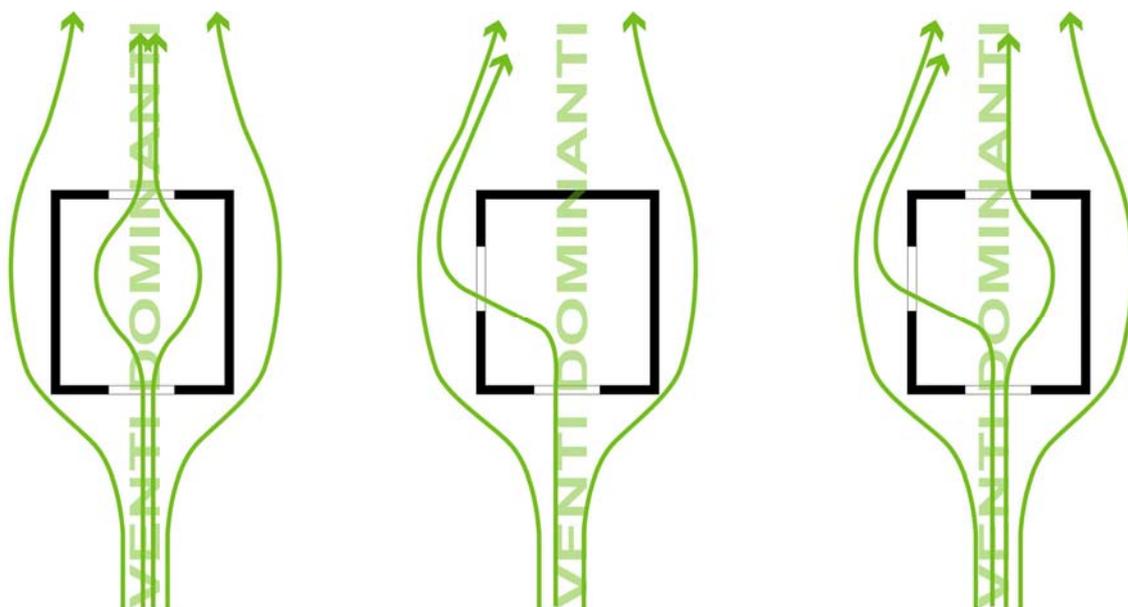
- *schermatura con alberi a foglia caduca*: orientamento EST, OVEST, SUD-EST, SUD-OVEST;



## Controllo della ventilazione naturale

Per migliorare la qualità dell'aria interna e il comfort ambientale nel periodo estivo, è necessario controllare la ventilazione naturale interna sfruttando le condizioni ambientali esterne e le caratteristiche distributive degli ambienti interni, limitando il ricorso ai sistemi di climatizzazione per non gravare sui consumi energetici. Al fine di una ottimale ventilazione naturale che permetta l'immissione di aria fresca esterna e l'estrazione di aria interna viziata, è opportuno tenere in considerazione le seguenti strategie progettuali:

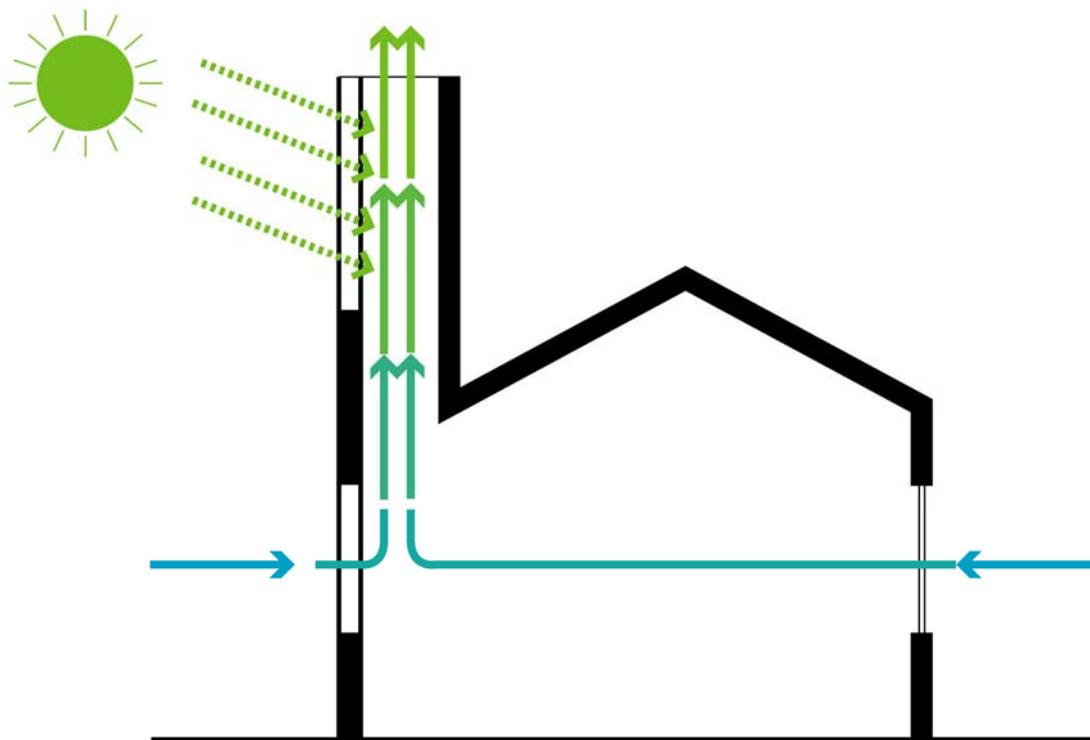
- *Disporre le aperture dell'edificio su fronti opposti o adiacenti, così da formare, all'interno delle abitazioni, un angolo di circa 90° utile a generare una ventilazione di tipo incrociata.*



SOPRA\_In pianta, le aperture vanno posizionate inoltre, assecondando la direzione prevalente dei venti estivi.

A FIANCO\_In sezione, flussi d'aria interni per il raffreddamento di solai, pavimenti e pareti: si ottengono con l'introduzione di aria nelle ore serali e notturne, tramite aperture posizionate in modo da creare un flusso d'aria che lambisce le superfici interne grazie a, escursione termica giornaliera, posizione della aperture, velocità dell'aria.

- Realizzazione di sistemi ad hoc in grado di combinare sia l'azione del vento che la differenza di temperatura dell'aria tra esterno e interno, così da permettere l'evacuazione dell'aria calda attraverso l'"**effetto camino**", mitigando gli effetti negativi degli eccessi di calore ed umidità nel periodo estivo. In tal caso, considerando che l'aria calda tende sempre a salire, deve essere prevista la sua uscita naturale da un'apertura posta più in alto, all'estremità di un condotto o vano verticale nel locale da ventilare. Il camino, la cui capacità di favorire la ventilazione dipende da quanto l'aria sia libera di ascendere, può essere sia un elemento architettonico, sia uno spazio con altre funzioni, quale un vanoscala o un atrio con aperture apribili in copertura.



Nel caso si utilizzi un impianto di estrazione dell'aria:

- deve essere calcolata la portata dell'impianto di estrazione dell'aria  $Q$  [m<sup>3</sup>/h]. È possibile quindi ricavare il numero di ricambi d'aria orari  $n$  garantiti dall'impianto mediante la seguente formula:

$$n = Q / V$$

dove:  $V$  = volume dell'ambiente considerato [m<sup>3</sup>].

Il livello di prestazione è espresso in numero di ricambi d'aria orario " $n$ " [m<sup>3</sup>/hm<sup>3</sup>]. Il numero di ricambi d'aria orario " $n$ " rappresenta il rapporto tra il volume dello spazio e il volume d'aria rinnovato in un'ora all'interno del medesimo spazio.

### **Per le nuove costruzioni**

#### **Spazi per attività principale:**

- $n \geq 0,5 \text{ m}^3/\text{hm}^3$  in particolare per le cucine, comprese quelle in nicchia, o zona cottura:
  - superficie apribile  $\geq 1/8$  della superficie di pavimento (compresa la superficie della zona cottura);
  - $n \geq 0,5 \text{ m}^3/\text{hm}^3$  e, in aggiunta,  $n \geq 3 \text{ m}^3/\text{hm}^3$  (ricambio discontinuo) da ubicare in corrispondenza dei punti di cottura, con collegamento esterno tramite canna di esalazione.

**Bagni, servizi igienici:**

- $n \geq 0,5 \text{ m}^3/\text{hm}^3$  se dotati di apertura all'esterno;
- $n \geq 5 \text{ m}^3/\text{hm}^3$  se non dotati di apertura all'esterno, assicurata da di impianto di estrazione forzata (ricambi discontinui).

**Spazi di circolazione e collegamento ad uso comune:**

- $n \geq 0,5 \text{ m}^3/\text{hm}^3$ ;
- nelle scale i ricambi discontinui devono essere garantiti dalla presenza di finestre apribili ovvero devono essere garantite adeguate condizioni di sicurezza e di igiene <sup>(1)</sup>.

**Spazi ad uso comune per attività collettive (es. sale condominiali):**

- $n \geq 0,5 \text{ m}^3/\text{hm}^3$ ;

**Spazi di pertinenza dell'unità immobiliare o dell'organismo abitativo (autorimesse):**

vedere la normativa specifica <sup>(2)</sup>.

---

<sup>1</sup> Vedere l'art.19 della L. 27/5/1975 n. 166, l'art.5 del DM 5/7/1/75 e la Circ. del Min. dell'Interno n. 23271/4122 del 15/10/1975 che ritiene che le condizioni di sicurezza siano quelle antincendio. Vedere anche il DM 9/4/1994.

<sup>2</sup> DM 1/2/1986 - Norme di sicurezza antincendio per la costruzione e l'esercizio di autorimesse e simili.

## Riduzione dei consumi di acqua per usi interni

Il consumo medio previsto, per la funzione abitativa, è stimato in circa **200 l/giorno/abitante**; può essere proposta, se dimostrata, una diversa stima dei consumi idrici. Per le funzioni non abitative si può far riferimento a consumi medi stimati in fase di progetto, se opportunamente dimostrati. L'esigenza è soddisfatta se gli impianti idrico-sanitario e di riscaldamento prevedono una serie di dispositivi, tra loro compatibili, capaci di assicurare una riduzione del consumo di acqua di almeno il 30% rispetto al consumo medio previsto.

Esistono svariati metodi per risparmiare acqua all'interno di un edificio; qui se ne elencano solo alcuni:

- i rubinetti dotati di **frangigetto** consentono di aggiungere aria all'acqua riducendo i consumi idrici del 30-50%. Il sistema è formato da una spirale che imprime all'acqua un movimento circolare, studiato per potenziarne la velocità di uscita, e da un insieme di retine, che sfruttando questa velocità, addizionano l'aria all'acqua aumentando il volume del getto;
- i **miscelatori** che contengono una speciale cartuccia per limitare la portata. In base alle necessità la leva di apertura si può disporre in due zone. La prima, detta di economia, eroga al massimo 5 litri al minuto di acqua con un risparmio del 50%. Quando il fabbisogno idrico è maggiore, basta superare l'azione frenante opposta dalla leva per ottenere 13 litri al minuto;
- i rubinetti e le **cassette di risciacquo a risparmio idrico** consentono di regolare la portata d'acqua necessaria in base alla necessità del momento. Con questo metodo anziché consumare circa 9 litri di acqua si ha l'opportunità di scegliere, grazie al doppio tasto di erogazione, quanta acqua scaricare.

## Recupero per usi compatibili delle acque meteoriche

Il recupero delle acque piovane crea le basi per un uso razionale delle risorse primarie. I molteplici utilizzi compatibili delle acque recuperate, possono essere:

- irrigazione di fioriere e zone verdi
- lavaggio di animali domestici e da cortile
- lavaggio di pavimenti, terrazze e auto
- raffreddamento di processi industriali
- condizionatori e pompe di calore
- reintegro di scorte antincendio
- sciacquoni WC
- lavatrice

Soluzione tecnica conforme per il sistema di captazione, filtro e accumulo \_ Salvo diverse disposizioni delle norme igienico-sanitarie:

- manto di copertura esente dal rilascio di sostanze nocive;
- collettori di raccolta e di scarico impermeabili, idoneamente dimensionati e collegati al manto di copertura esenti dal rilascio di sostanze nocive;
- sistema di esclusione dell'acqua di prima pioggia;
- pozzetto ispezionabile con sistema di filtrazione meccanica;
- vasca di accumulo ispezionabile, collegata ai collettori di raccolta, esente da emissione di sostanze nocive, preferibilmente interrata;
- sistema antisvuotamento, collegato alla rete idrica principale, con relativo disgiuntore;
- valvole e conduttura di sfogo per il troppo pieno delle vasche, collegate alla rete fognaria delle acque chiare;
- pompe di adduzione dell'acqua tipo auto adescante;
- rete autonoma di adduzione e distribuzione collegata alla vasca d'accumulo idoneamente dimensionata e separata dalla rete idrica principale a norma UNI 9182, con adeguate segnalazioni visive delle tubature e dicitura «non potabile» e relativo contatore omologato in entrata;
- eventuale conduttura di immissione nella rete duale di uso pubblico a norma UNI 9182 con relativo disgiuntore e contatore.

Dimensionamento del volume minimo della vasca d'accumulo \_ Occorre calcolare:

- 1) Il **volume di acqua meteorica captabile (VC)** in un anno, dalla copertura dell'edificio e/o dalle pertinenze esterne (espresso in m<sup>3</sup>), calcolato in base alla seguente relazione:

$$VC = SuC \times PC$$

dove:

**SuC**, superficie utile di captazione (espressa in m<sup>2</sup>): è la superficie del coperto dell'organismo edilizio e delle pertinenze esterne considerate;

**PC**, valore medio delle precipitazioni meteoriche (espresso in mm di pioggia annui): è pari a circa **850 mm/anno per il territorio comunale di Tocco da Casauria**.

- 2) Il **fabbisogno idrico (FI)** per gli usi compatibili selezionati (espresso in m<sup>3</sup>), calcolato in base alla seguente relazione:

$$FI = N. Ab. Eq. \times CS$$

dove:

**N. Ab. Eq.** è il numero degli abitanti equivalenti;

**CS**, consumo stimato di acqua non potabile per usi compatibili (espresso in l/g): è pari a circa **50 l/g** per le nuove costruzioni.

- 3) Il volume del bacino o vasca di accumulo (**VA**) delle acque meteoriche captate, (espresso in m<sup>3</sup>), calcolato in base alla seguente relazione:

$$VA = FI \times PS$$

dove:

**PS**, periodo di secca (espresso in gg): è pari a **25 gg** (stima per difetto).

Il volume della vasca d'accumulo da considerare per il dimensionamento è quello minore ottenuto fra i valori di **VC** e **VA**.

## Requisiti acustici passivi

I requisiti acustici passivi degli edifici sono gli indicatori della loro capacità di ostacolare l'ingresso del rumore in ambienti interni. Il DPCM 5/12/1997 "Determinazione dei requisiti acustici passivi degli edifici", fissa i requisiti di prestazione acustica degli edifici in termini di: abbattimento dei rumori che provengono dall'esterno, abbattimento dei rumori tra diverse unità nello stesso edificio e silenziosità delle sorgenti sonore interne.

Ai fini dell'applicazione del decreto, gli ambienti abitativi sono distinti nelle categorie indicate nella tabella 1 allegata al decreto e qui sotto riportata, direttamente collegata alla tabella 2 nella quale sono elencati i valori dei requisiti acustici passivi degli edifici.

Categoria A: edifici adibiti a residenza o assimilabili
Categoria B: edifici adibiti ad uffici e assimilabili
Categoria C: edifici adibiti ad alberghi, pensioni ed attività assimilabili
Categoria D: edifici adibiti ad ospedali, cliniche, case di cura e assimilabili
Categoria E: edifici adibiti ad attività scolastiche a tutti i livelli e assimilabili
Categoria F: edifici adibiti ad attività ricreative o di culto o assimilabili
Categoria G: edifici adibiti ad attività commerciali o assimilabili

Tabella 1 – categorie d'intervento

Categorie	$R^1$	$D_{2m,nt}$	$L_{n,w}$
1.D	55	45	58
2.A, C	50	40	63
3.E	50	48	58
4.B, F, G	50	42	55

Tabella 2 – requisiti acustici passivi

I metodi di verifica indicati sono differenziati a seconda che siano finalizzati a verificare l'indice di valutazione del potere fonoisolante delle **partizioni interne** o l'isolamento acustico di facciata di **chiusure esterne**.

L'utilizzo dei metodi di verifica progettuale indicati (metodi di calcolo, soluzioni tecniche certificate, soluzioni tecniche conformi) esenta dall'obbligo di verificare il livello di prestazione anche con la prova in opera.

Grandezze di riferimento (i logaritmi s'intendono in base 10):

R	=	potere fonoisolante misurato in laboratorio
R'	=	potere fonoisolante apparente <sup>(1)</sup> , misurato in opera (generalmente inferiore a R principalmente a causa delle trasmissioni laterali)
R <sub>w</sub>	=	indice di valutazione del potere fonoisolante <sup>(1)</sup>
R' <sub>w</sub>	=	indice di valutazione del potere fonoisolante apparente <sup>(1)</sup>
T	=	tempo di riverbero nell'ambiente ricevente <sup>(1)</sup>
L <sub>1</sub> ed L <sub>2</sub>	=	livelli equivalenti medi di pressione sonora
D <sub>nw</sub>	=	indice di valutazione dell'isolamento acustico di facciata

## METODO DI VERIFICA PROGETTUALE

### ***PARTIZIONI INTERNE (indice di valutazione del potere fonoisolante apparente $R'_w$ )***

#### **1. SOLUZIONE TECNICA CERTIFICATA**

Il tecnico competente evidenzia e descrive le soluzioni da realizzare, che devono essere conformi (per materiali e modalità di esecuzione) ad un campione che, a seguito di prove di laboratorio, abbia conseguito un valore di  $R_w$  superiore di almeno 3 dB rispetto al valore dell'indice di valutazione del potere fonoisolante apparente  $R'_w$  prescritto al punto precedente.

Nel caso manchino specifiche certificazioni di laboratorio (o soluzioni tecniche certificate) il requisito è soddisfatto se sono utilizzati (relativamente alla tipologia di partizione) i seguenti metodi di verifica.

#### **2. METODO DI CALCOLO A** (per partizioni interne omogenee aventi massa superficiale $>150 \text{ kg/m}^2$ ) <sup>(3)</sup>

1. Si determina  $R_w$  mediante la relazione:

$$R_w = 37,5 \lg m' - 42$$

dove:

$R_w$  = indice di valutazione del potere fonoisolante, in decibel <sup>(4)</sup>

$m'$  = densità superficiale di una parete semplice ( $\text{Kg/m}^2$  del muro)

Il valore dell'indice di valutazione del potere fonoisolante  $R_w$  così ottenuto si riferisce al comportamento acustico **teorico** della parete. Nelle condizioni di reale impiego, il parametro di riferimento da realizzare è l'indice di valutazione del potere fonoisolante apparente <sup>(5)</sup>  $R'_w$  (inferiore a quello sopra calcolato, principalmente a causa delle trasmissioni laterali).

2. Calcolare  $R'_w$  con la relazione <sup>(6)</sup>:

$$R'_w = R_w - 3$$

3. Confrontare  $R'_w$  così ottenuto col livello di prestazione prescritto per la partizione in oggetto.

#### **3. SOLUZIONE TECNICA CONFORME**

Questa soluzione garantisce un valore di  $R'_w$  superiore o uguale a 50 dB ma non garantisce il raggiungimento di valori di  $R'_w$  uguali a 55 dB, pertanto è applicabile solo alla progettazione delle partizioni relative alle categorie diverse dalla categoria D.

1° soluzione Parete in mattoni pieni, o semipieni formato UNI, dello spessore almeno di 28 cm (pareti a due teste), intonacati con cm 1,5 di malta M 3 su entrambi i lati o in ogni modo con muratura di massa superiore a  $440 \text{ kg/m}^2$ .

2° soluzione Parete ad intercapedine, composta da uno strato di mattoni forati da 8 cm (8 x 25 x 25) e da uno strato di forati da 12 cm (12 x 25 x 25), intercapedine con isolante acustico dello spessore di 4 cm (e densità non inferiore a  $100 \text{ kg/m}^3$ ), con intonaco su entrambi i lati.

#### **4. METODO DI CALCOLO B** (per partizioni interne composte) <sup>(7)</sup>

I valori di  $R_w$  determinati secondo i metodi precedentemente illustrati possono essere utilizzati per determinare il valore di  $R'_w$  risultante da più elementi associati fra loro, secondo i criteri di seguito definiti.

<sup>3</sup> Per pareti omogenee si intendono quelle a singolo strato in muratura di laterizio, in blocchi di calcestruzzo o simili ed in assenza di apertura. Si escludono invece le pareti in cartongesso e quelle a più strati sconnessi (cfr. Pr EN 12354-1).

<sup>4</sup> La categoria di destinazioni d'uso riferimento sono ospedali, cliniche, case di cura e assimilabili.

<sup>5</sup> Il termine tecnico "apparente" viene usato per indicare la situazione di reale impiego.

<sup>6</sup> Questa relazione, pur essendo approssimata, è ritenuta sufficientemente valida dai risultati sperimentali.

<sup>7</sup> Per pareti composte si intende composta da pareti, infissi, aperture, ecc.

Qualora siano disponibili separatamente  $R_{1w}$  della parte opaca di superficie  $S_1$  ed  $R_{2w}$  dell'infisso di superficie  $S_2$ , e  $D_{nw}$  (che è indice di valutazione dell'isolamento acustico di un "piccolo elemento" <sup>(8)</sup>), è possibile calcolare l'indice di valutazione del potere fonoisolante apparente  $R'_w$  della chiusura o della partizione di superficie  $S = S_1 + S_2$  con la formula <sup>(9)</sup>:

$$R'_w = -10 \cdot \lg \left( \frac{S_1}{S} \cdot 10^{-R_{1w}/10} + \frac{S_2}{S} \cdot 10^{-R_{2w}/10} + \frac{A_0}{S} \cdot 10^{-D_{nw}/10} \right) - K$$

dove:

$A_0 = 10 \text{ m}^2$ ;

$K = 2$  (contributo peggiorativo dovuto alla trasmissione laterale).

Nel caso di più infissi o più "piccoli elementi" il secondo e il terzo termine della formula saranno costituiti da sommatorie.

### CHIUSURE ESTERNE (isolamento acustico di facciata)

La prestazione è misurata dall'indice dell'isolamento acustico normalizzato di facciata,  $D_{2m,nT,w}$  dove il significato dei pedici è:

- **2m**, indica che il rumore esterno è misurato a 2 m dalla facciata;
- **nT**, indica che il parametro è normalizzato rispetto al tempo di riverberazione;
- **W**, indica che il parametro è un indice <sup>(10)</sup>.

Il requisito è soddisfatto se si utilizza uno dei seguenti metodi di calcolo:

#### 5. METODO DI CALCOLO C (per chiusure semplici) <sup>(11)</sup>

Nota il potere fonoisolante  $R_w$  della parete (dedotto da certificazione o da calcolo), si determina l'indice dell'isolamento acustico di facciata  $D_{2m,nT,w}$  come segue:

- calcolare  $R'_w$  della parete in opera con la formula <sup>(12)</sup>:  $R'_w = R_w - 3$
- calcolare l'indice dell'isolamento acustico di facciata:

$$D_{2m,nT,w} = R'_w + 10 \lg V / 6 T_0 S$$

dove:

$V$  = volume dell'ambiente ricevente ( $\text{m}^3$ )

$T_0 = 0.5$  (s)

$S$  = superficie di facciata vista dall'interno ( $\text{m}^2$ )

Verificare che il valore ottenuto sia uguale o superiore al livello di prestazione richiesto <sup>(13)</sup>.

#### 6. METODO DI CALCOLO D (per chiusure composte)

Nel caso di chiusura composta da elementi "normali" (come parete ed infissi) e da "piccoli elementi" <sup>(19)</sup>.

1. si calcola dapprima l'indice di valutazione del potere fonoisolante della facciata  $R'_w$  con la formula definita nel METODO DI CALCOLO B per le partizioni interne;
2. quindi si calcola  $D_{2m,nT,w}$  come indicato nel METODO DI CALCOLO C.
3. si verifica che il valore ottenuto sia uguale o superiore al livello di prestazione richiesto <sup>(14)</sup>.

<sup>8</sup> Si intende per piccolo elemento quello avente superficie  $< 1 \text{ m}^2$ , ad es. bocchetta di ventilazione, presa d'aria, ecc., (secondo la ISO 140-10).

<sup>9</sup> Formula ricavata dalla Pr. EN 12354-3:99.

<sup>10</sup> Da calcolare secondo la norma UNI EN ISO 717-1.

<sup>11</sup> Sono chiusure semplici le chiusure omogenee, cioè senza elementi di discontinuità come porte, finestre, ecc. e con spessore costante.

<sup>12</sup>  $R'_w$  è inferiore a  $R_w$  principalmente a causa delle trasmissioni laterali; vedere anche il metodo di calcolo A. La formula è ricavata dalla Pr EN 12354-3.

<sup>13</sup> Vedere i livelli del precedente punto 3.3.1 e il DPCM 5/12/97 per l'ambiente abitativo in oggetto.

<sup>14</sup> Vedere i livelli indicati dal DPCM 5/12/97 per l'ambiente abitativo in oggetto.

## Asetticità dei materiali

Per una progettazione ecosostenibile e per una maggiore salubrità degli ambienti interni ed esterni, si consiglia, nella realizzazione degli edifici, l'uso di tecnologie e materiali ecocompatibili, che abbiano un limitato impatto ambientale lungo tutto il ciclo di vita, dalla produzione, alla messa in opera, fino all'eventuale demolizione o smaltimento.

Vengono considerati ecocompatibili quei materiali che:

- sono dotati di certificazione che attesti il basso impatto ambientale per l'intero ciclo di vita;
- sono accompagnati, in qualità di prodotti artigianali, da autocertificazione della ditta produttrice attestante l'origine e la provenienza dei materiali, l'assenza di emissioni nocive in fase di esercizio e la possibilità di riciclo.

Al fine del soddisfacimento del requisito, è necessario prevedere, nella definizione delle soluzioni tecnologiche, l'utilizzo di materiali ecocompatibili.

Numerosi sono i materiali che possono essere definiti ecocompatibili. I più usati sono:

- *Inerti minerali*: pozzolana, argilla espansa, pietrisco, ghiaia, sabbia;
- *Leganti*: calce, calci aeree ed idrauliche, gesso;
- *Malte e intonaci*: a base di calce, gesso, polveri di marmo o altri materiali naturali;
- *Murature perimetrali e divisorie*: laterizio, laterizio porizzato, pietra naturale; i laterizi devono essere di argilla e non mescolati con altre sostanze e la loro eventuale porizzazione deve essere fatta con materiali di origine naturale;
- *Isolanti termo-acustici*: perlite, vermiculite, sughero naturale, pannelli in fibra di legno, fibre di cocco o altre fibre vegetali, lana di pecora o altri materiali naturali non di origine chimica;
- *Guaine*: fibra di cellulosa e carta;
- *Armature*: rete in polipropilene, acciaio diamagnetico;
- *Solventi*: a base di sostanze naturali;
- *Pitture murali interne*: a base di calce, di caseina, di tempera, di silicati;
- *Pavimenti*: legno, cotto, marmo, pietra, linoleum naturale etc.;
- *Legno*: massiccio o lamellare, comunque derivante da essenze nazionali e/o di riforestazione;
- *Trattamenti del legno*: cere, olio, mordenti di origine naturale.



## PRESTAZIONE ENERGETICA PASSIVA

<i>Produzione di ACS da impianto solare termico</i>	<i>73</i>
<i>Predisposizione per l'installazione di pannelli solari per la produzione di ACS</i>	<i>81</i>
<i>Produzione di energia elettrica da impianto fotovoltaico</i>	<i>83</i>
<i>Predisposizione per l'installazione di pannelli fotovoltaici</i>	<i>91</i>

## Produzione ACS da impianto solare termico

### Progettazione<sup>1</sup>.

**Introduzione** Per un impianto domestico non è necessario effettuare un accurato dimensionamento dell'impianto per il riscaldamento dell'acqua sanitaria. È infatti possibile calcolarlo con formule 'spannometriche' e valori di riferimento. Prima di passare alla progettazione vera e propria bisogna innanzitutto eseguire un rilievo e verificare a livello generale la fattibilità dell'impianto. L'elemento più importante per il dimensionamento è la definizione del fabbisogno di acqua calda, in riferimento al quale si determina la dimensione dell'impianto solare, cioè la superficie dei collettori e il volume del serbatoio. I passi successivi sono costituiti dalla definizione della portata e del diametro delle tubature nel circuito del collettore, dalla scelta della pompa di circolazione e dal dimensionamento del vaso di espansione e della valvola di sicurezza.

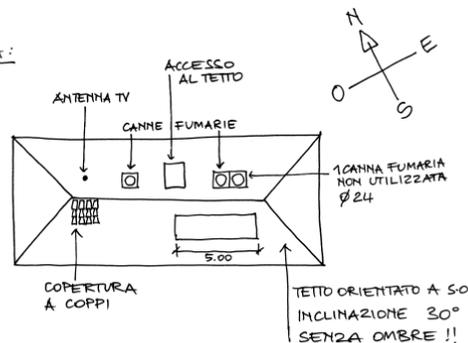


**Rilievo** È sempre di grande aiuto avere il rilievo, cioè un disegno fatto a mano che riporti le dimensioni essenziali e le caratteristiche del manufatto.

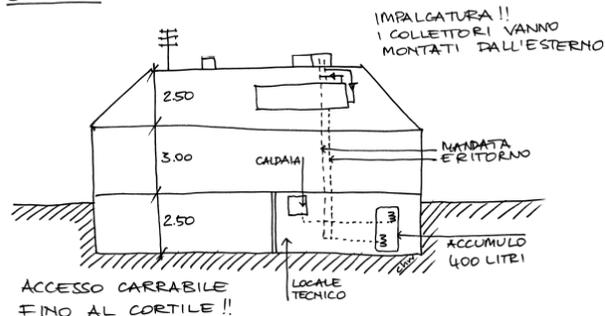
I criteri più importanti per verificare la possibilità di installazione di un impianto solare sono riportati qui di seguito:

- Esiste un impianto centrale per il riscaldamento dell'acqua sanitaria, oppure si può pensare di installare un impianto simile?
- La superficie del tetto a disposizione è sufficiente?
- Il tetto ha un orientamento adeguato?
- Il tetto viene messo in ombra da parti di edificio, alberi o altro?
- Lo stato del tetto rende possibile l'installazione dei collettori?
- Il tetto lascia la possibilità di accesso ai collettori per una successiva manutenzione?
- Le dimensioni di porte, scale e cantina permettono il trasporto e il passaggio del serbatoio?
- Esistono vincoli della soprintendenza?
- Sono necessari altri permessi per poter installare l'impianto solare?

PIANTA:



SEZIONE:



<sup>1</sup> Il presente metodo, è tratto da "Impianti solari termici. Manuale per la progettazione e costruzione", a cura di Thomas Pauschinger (Ambiente Italia) con contributi di Martin Ménard (Ambiente Italia) e Monika Schulz (Ambiente Italia).

**Analisi del fabbisogno di acqua calda**\_ Negli edifici residenziali il fabbisogno termico per la produzione di acqua calda rimane costante nel corso dell'anno. Un'indicazione sul fabbisogno di acqua calda è data dal numero di persone che abitano l'edificio.

Solitamente il consumo giornaliero pro capite di acqua calda a 45 °C viene stimato intorno a queste cifre:

- *comfort basso 35 l/(persona/giorno)*
- *comfort medio 50 l/(persona/giorno)*
- *comfort alto 75 l/(persona/giorno)*

Nel caso si vogliano collegare all'impianto solare anche la lavatrice e la lavastoviglie, il fabbisogno deve essere aumentato di:

- *lavatrice 20 l/giorno (1 lavaggio al giorno)*
- *lavastoviglie 20 l/giorno (1 lavaggio al giorno)*

#### Esempio:

Una famiglia di quattro persone necessita, per avere un comfort medio, di circa **50 litri x 4=200 l/giorno** di acqua calda. Considerando anche la lavatrice si calcolano circa 230 l/giorno. Negli edifici con funzione ricettiva il fabbisogno di acqua calda è strettamente dipendente dalla presenza di clienti. Il calcolo del fabbisogno giornaliero viene eseguito sulla presenza media di persone nel periodo compreso tra maggio e agosto, e su questo dato si effettua il dimensionamento dell'impianto. I valori di riferimento per il fabbisogno giornaliero medio pro capite sono qui riportati:

- *ostello della gioventù 35 l/(persone e giorno)*
- *standard semplice 40 l/(persone e giorno)*
- *standard alto 50 l/(persone e giorno)*
- *standard molto alto 80 l/(persone e giorno)*

Se la struttura offre anche servizio cucina, il fabbisogno di acqua calda aumenta indicativamente in questo modo:

- *pasto semplice 10 l/(giorno e pasto)*
- *pasto a più portate 15 l/(giorno e pasto)*

#### Esempio:

Un agriturismo viene gestito da una famiglia di quattro persone. Durante il periodo estivo da maggio ad agosto la presenza media di ospiti è di circa 15 pernottamenti al giorno. Per gli ospiti vengono preparati due pasti al giorno. La lavatrice fa cinque lavaggi al giorno.

- *Fabbisogno per la famiglia 4 x 50 l =200 l/giorno*
- *Fabbisogno per gli ospiti 15 x 50 l =750 l/giorno*
- *Cucina 30 x 10 l =300 l/giorno*
- *Lavastoviglie 5 x 30 l =150 l/giorno*
- *Totale 1400 l/giorno*

Se è previsto un circuito di ricircolo per la distribuzione dell'acqua calda nell'impianto, allora anche le sue dispersioni devono essere considerate come fabbisogno di acqua calda. È importante calcolare questo dato perché anche la sua dispersione può essere coperta dall'impianto solare. La quantità di questo surplus di calore dipende strettamente dalla lunghezza del circuito di ricircolo, dalla sua coibentazione e dal tipo di funzionamento (gestione a timer o a temperatura), e deve quindi essere accuratamente stimato caso per caso.

Il fabbisogno di acqua calda dipende direttamente dal comportamento individuale. Per un calcolo più preciso si possono utilizzare i dati delle bollette del gas o dell'elettricità. Il fabbisogno può essere calcolato anche montando un semplice contatore di flusso nella tubatura dell'acqua calda.

**Dimensionamento della superficie dei collettori** Per una situazione con orientamento ideale (sud, inclinazione 30°) si utilizzano i valori di riferimento di seguito riportati per dimensionare la superficie del collettore. Questa viene quindi calcolata in relazione al fabbisogno giornaliero di acqua calda.

Valori di riferimento per il dimensionamento per zone:

- Nord 1,2 m<sup>2</sup>/ (50 l/giorno)
- Centro 1,0 m<sup>2</sup>/ (50 l/giorno)
- Sud 0,8 m<sup>2</sup>/ (50 l/giorno)

Questi valori di dimensionamento permettono di coprire completamente il fabbisogno durante i mesi estivi, cioè in estate tutta l'acqua calda sanitaria viene riscaldata dall'impianto solare. Calcolato su tutto l'anno, il risparmio energetico ottenuto è di circa 50-80%. I valori in tabella devono essere ridotti del 30 % nel caso in cui si usino collettori a tubi sottovuoto.

- *I valori riportati sono valori indicativi. La superficie reale dei collettori è da calcolare effettivamente sulle dimensioni dei moduli esistenti. Differenze di ±20 % possono essere considerate non problematiche.*
- *I valori di riferimento valgono per collettori piani. Per collettori a tubo sottovuoto sono sufficienti i 2/3 della superficie calcolata.*
- *Per il dimensionamento dei collettori nelle strutture ricettive bisogna utilizzare il valore medio del fabbisogno giornaliero di acqua calda calcolato nei mesi da maggio ad agosto.*

Orientamenti diversi da quello ideale riducono la prestazione dell'impianto molto meno di quanto normalmente si pensi. Nella maggior parte dei casi questo può essere compensato da un minimo aumento della superficie dei collettori. Una struttura di supporto per ottenere un migliore orientamento del collettore è, ove possibile, da evitare per motivi estetici. Nella tabella 4.2 sono indicati i valori di correzione per i diversi orientamenti. **La superficie del collettore calcolata come descritto finora deve essere quindi divisa per il fattore di correzione.**

orientamento Sud: 0° Est/Ovest: 90°	angolo di inclinazione						
	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
0	0,89	0,97	1	0,99	0,93	0,83	0,69
15	0,89	0,96	1	0,98	0,93	0,83	0,69
30	0,89	0,96	0,99	0,97	0,92	0,82	0,70
45	0,89	0,94	0,97	0,95	0,9	0,81	0,70
60	0,89	0,93	0,94	0,92	0,87	0,79	0,69
75	0,89	0,91	0,91	0,88	0,83	0,76	0,66
90	0,89	0,88	0,87	0,83	0,78	0,71	0,62

**Fattori di correzione per l'orientamento dei collettori (questi valori valgono solo per impianti solari impiegati per il riscaldamento dell'acqua sanitaria)**

Per le strutture ricettive un angolo di inclinazione minore, nell'ordine di 20° – 40°, ha un effetto positivo, poiché il maggiore fabbisogno di acqua calda viene registrato in estate.

**Dimensionamento del serbatoio**\_ Il serbatoio serve a equilibrare la differenza temporale tra la presenza dell'irraggiamento e l'utilizzo dell'acqua calda. Serbatoi dall'ampio volume permettono di superare periodi anche lunghi di brutto tempo, tuttavia causano anche maggiori dispersioni di calore. Il volume del serbatoio corrisponderà circa a 50 - 70 l/m<sup>2</sup> superficie di collettore piano.

Negli impianti con riscaldamento ausiliare integrato nel serbatoio il volume in temperatura, cioè la parte di serbatoio che viene mantenuta sempre alla temperatura desiderata per l'acqua calda, viene sempre calcolato secondo il fabbisogno giornaliero di acqua calda. Dovrebbe aggirarsi sui 20 l/persona.

Quando si effettua il dimensionamento di grandi impianti, bisogna calcolare il volume da tenere in temperatura (spesso si tratta di un secondo serbatoio più piccolo) tenendo conto anche della potenza della caldaia.



**Scambiatori di calore del circuito solare**\_ Negli impianti semplici, come di norma sono quelli delle case unifamiliari, si preferisce solitamente impiegare all'interno del serbatoio scambiatori di calore a tubi lisci o corrugati. Negli impianti più grandi si utilizzano scambiatori di calore esterni a piastre o a fasci di tubi. La superficie dello scambiatore di calore dovrebbe essere circa 0,4 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup> superficie del collettore. Per gli impianti più grandi si calcola la potenza massima che i collettori possono trasmettere e a seconda di questa potenza si sceglie un adeguato scambiatore di calore esterno.

### **Circuito solare**

**Fluido termovettore**\_ Dove non vi è pericolo di gelo si utilizza l'acqua come liquido termovettore all'interno del circuito solare. In questo caso per evitare corrosioni bisogna aggiungere gli inibitori indicati dal produttore.

Nelle zone a rischio di gelo si usa invece una miscela di acqua e di propilenglicolo atossico. La concentrazione del glicolo deve essere definita secondo le indicazioni del produttore in modo che la sicurezza antigelo ci sia fino a una temperatura che sia di 10 °C inferiore alla temperatura minima media su cui si esegue il calcolo di progettazione dell'impianto di riscaldamento. Per esempio se il riscaldamento viene dimensionato per una temperatura minima media di -5 °C, la concentrazione del glicolo dovrebbe essere sufficiente a garantire l'antigelo per una temperatura di -15 °C. Gli inibitori di corrosione sopra citati sono di norma già miscelati con la maggior parte dei liquidi antigelo per impianti solari reperibili sul mercato.

**Portata del flusso**\_ La portata del flusso all'interno del circuito solare deve essere abbastanza grande da garantire un buon asporto del calore dal collettore. Se la portata del flusso è troppo alta, però, aumenta di conseguenza la perdita di pressione nelle tubature e quindi anche l'impegno di energia che deve essere fornito da parte della pompa di circolazione.

La portata del flusso deve essere di circa 30 - 40 l/m<sup>2</sup> h per ogni metro quadrato di collettore solare. Se si impiegano prefiniti collettori bisogna seguire le indicazioni del produttore.

Negli impianti di dimensioni maggiori è possibile, con un montaggio continuo in serie delle strisce di assorbimento all'interno del collettore, ottenere da una parte che in ognuna delle strip passi una quantità sufficiente di acqua per garantire un buon asporto del calore, e dall'altra che il flusso specifico attraverso tutto il collettore possa essere tenuto piuttosto basso (per esempio 12 -20 l/m<sup>2</sup> h) riducendo così decisamente le spese per le tubature del circuito solare e per la pompa.

**Tubature** Per le tubature del circuito solare si possono usare tubi di rame oppure tubi corrugati flessibili di acciaio inossidabile. Il diametro dei tubi di rame viene dimensionato in relazione al flusso scelto, come si può evincere dai dati della tabella 4.3.

Sia i tubi flessibili in rame, sia i tubi corrugati in acciaio inox sono reperibili già coibentati e a coppie con il cavo per il sensore della temperatura del collettore già montato.

La perdita di pressione è maggiore con i tubi corrugati inox rispetto a tubi dalle pareti interne lisce, quindi la sezione deve essere maggiore, come indicato nei dati forniti dal produttore.



flusso [l/h]	diametro esterno x spessore [mm]
< 240	16 x 1
240 – 410	18 x 1
410 – 570	22 x 1
570 – 880	28 x 1,5
880 – 1450	35 x 1,5

#### Diametro consigliato per i tubi del circuito solare

**Calcolo della perdita di pressione e scelta della pompa** La pompa di circolazione del circuito solare deve essere dimensionata con molta cura. Se la potenza della pompa è troppo bassa si possono generare grandi escursioni termiche all'interno del circuito del collettore, causando quindi un rendimento troppo basso del collettore. Una pompa troppo potente causa invece un consumo energetico inutilmente grande.

Nei piccoli impianti, fino a 12 m<sup>2</sup> di superficie dei collettori e fino a 50 metri di tubature, possono essere impiegate piccole pompe da riscaldamento a tre posizioni (per esempio Grundfos UPS 25-40).

Negli impianti più grandi è inevitabile procedere al calcolo della perdita di pressione e quindi alla scelta di una pompa adeguata. In questo caso, infatti, i valori di perdita di pressione sono da calcolare per le tubature e per tutte le componenti (collettori, fluido termovettore, raccordi, valvola di non ritorno, valvole ecc.). I dati sono indicati nella documentazione tecnica delle diverse componenti e nelle tabelle e diagrammi riportati nei manuali per installatori. I diagrammi della perdita di pressione per le miscele di acqua e glicolo sono messi a disposizione dai produttori di glicolo.

**Pressione d'esercizio, vaso d'espansione e valvola di sicurezza** Le seguenti raccomandazioni devono assolutamente essere seguite, perché l'errata impostazione della pressione di esercizio e un calcolo impreciso delle dimensioni del vaso di espansione sono una frequente fonte di malfunzionamento negli impianti solari. Un dimensionamento poco accurato può portare in estate, in conseguenza a una fermata dell'impianto per surriscaldamento, alla perdita di fluido termovettore, impedendo all'impianto di rientrare automaticamente in funzione.

La pressione di esercizio deve essere determinata come segue:

- *La pressione iniziale  $p_l$  è la pressione (differenza di pressione rispetto all'ambiente) all'interno del circuito solare che deve essere raggiunta durante il riempimento del circuito a freddo. È la stessa pressione che si raggiunge anche di notte quando la*

*pompa di circolazione del circuito solare non è in funzione. Dipende dal dislivello tra il punto più alto del circuito solare e la sede del vaso di espansione. Se la differenza di quota è per esempio di 10 m, ciò corrisponde a 10 m di colonna d'acqua = 1 bar. La pressione iniziale dovrebbe quindi, con un supplemento di sicurezza di 0,5 bar, raggiungere almeno il valore  $p_l = 1,5$  bar. Il valore consigliato è:  $p_l = 2$  bar fino a 15 m di dislivello.*

- *La pressione finale  $p_F$  è la pressione teorica (differenza rispetto alla pressione dell'ambiente) all'interno del circuito solare, che non viene mai superata se l'esecuzione è corretta. Si calcola sulla tenuta a pressione delle componenti (per esempio collettori), ma non dovrebbe mai superare 5,5 bar. Il valore consigliato è:  $p_F = 5$  bar, se le componenti lo permettono.*
- *La pressione predefinita nel vaso d'espansione  $p_{VE}$  dovrebbe essere di circa 0,3 – 0,5 bar al di sotto della pressione iniziale  $p_l$ , in modo che anche a freddo la membrana del vaso d'espansione sia leggermente in tensione. Il vaso d'espansione può essere acquistato con questa pressione a riposo oppure si può impostare il valore desiderato direttamente sulla valvola. A questo scopo si può utilizzare un semplice manometro per pneumatici. Valore consigliato:  $p_{VE} = 1,5$  bar.*
- *La pressione d'intervento della valvola di sicurezza  $p_{VS}$  (differenza rispetto alla pressione dell'ambiente) dovrebbe essere almeno 0,5 bar al di sopra della pressione finale, in modo che la valvola di sicurezza, se l'esecuzione è corretta, non entri mai in gioco. Valore consigliato:  $p_{VS} = 6$  bar, se le componenti lo permettono.*
- *Inoltre il fattore di pressione  $D_f = (p_F - p_l) / (p_F + 1)$  del vaso d'espansione non deve essere maggiore di 0,5 perché altrimenti la membrana al suo interno si logora inutilmente.*

Il vaso di espansione serve a recepire l'aumento di volume all'aumento della temperatura del fluido termovettore "e" in caso di stagnazione dell'impianto serve a recepire tutto il fluido contenuto all'interno del collettore.

Il contenuto di fluido VFI all'interno del circuito solare si calcola in questo modo:

*contenuto di fluido del circuito  
 $VFI =$   
 contenuto di fluido nel collettore  $VC$   
 + contenuto di fluido nelle tubature  
 + contenuto di fluido nello scambiatore di calore  
 + contenuto di fluido in altre componenti*

La dilatazione del volume del fluido viene così calcolata:

**$DV = e \times VFI$**

col coefficiente di dilatazione  $e = 0,045$  per l'acqua,  $e = 0,07$  per miscela acquaglicolo Il volume utile del vaso d'espansione viene calcolato con una ulteriore sicurezza del 10%

**$VU = (DV + VC) \times 1,1$**

Il volume nominale, cioè il volume che viene riportato nei cataloghi dei prodotti deve essere calcolato utilizzando le pressioni determinate in precedenza.

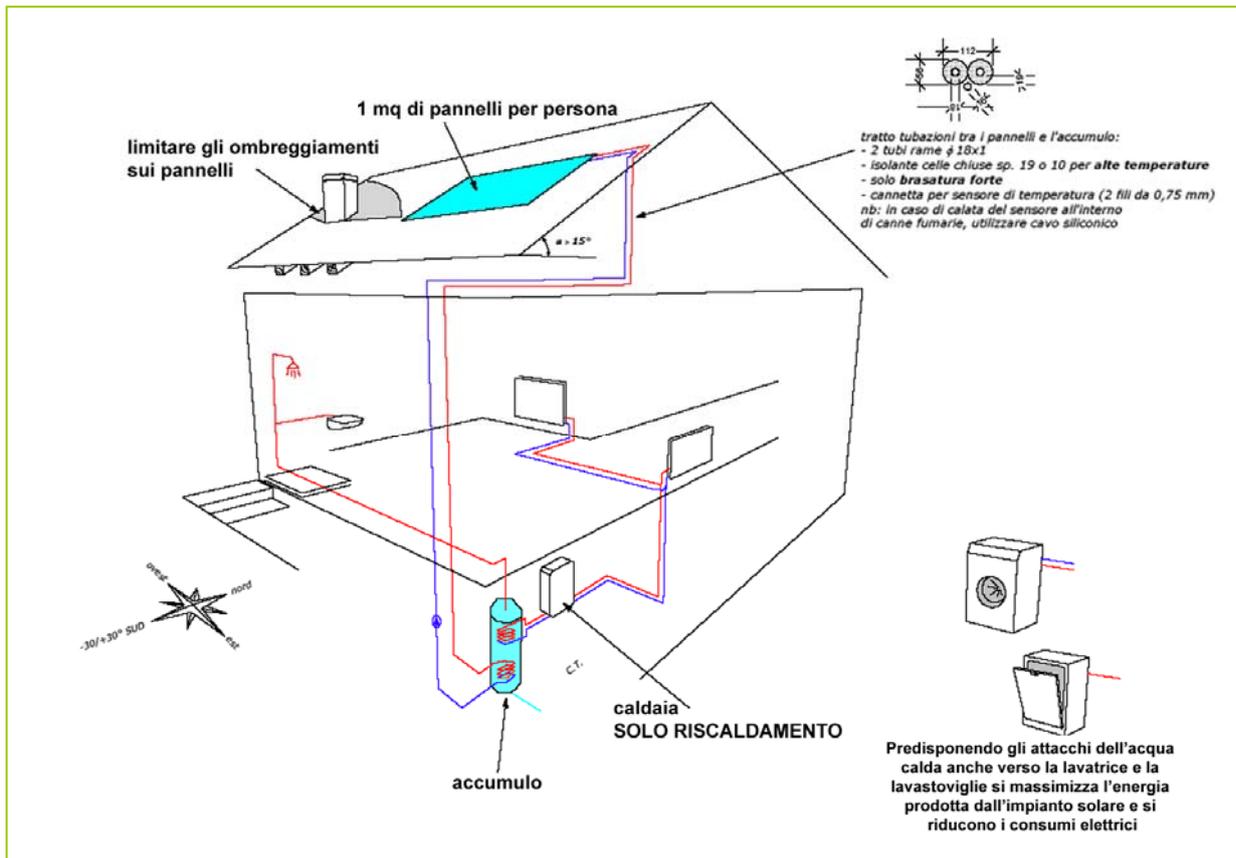
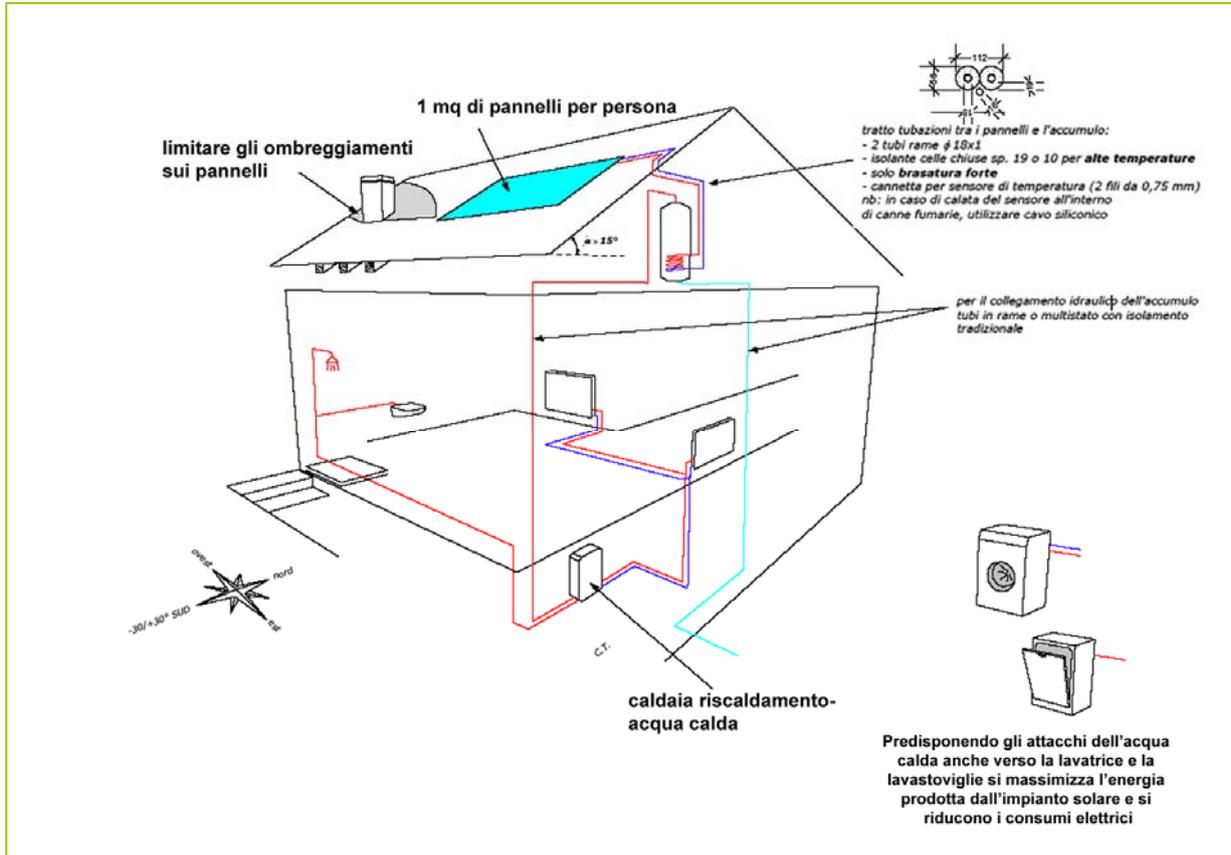
$$VN = VU \times (pF + 1) / (pF - pI)$$

Il vaso d'espansione deve avere almeno questo volume nominale.

superficie collettore [m <sup>2</sup> ]	pressione iniziale	
	p <sub>I</sub> = 1,5 bar	p <sub>I</sub> = 2,5 bar
5	12 l	18 l
7,5	18 l	25 l
10	25 l	35 l
15	35 l	50 l

Valori di riferimento per la scelta del vaso d'espansione. (volume nominale)

Funzionamento di un impianto solare termico per la produzione di acqua calda sanitaria



## Predisposizione per l'installazione di pannelli solari per la produzione di ACS

I componenti di un impianto solare per la produzione di acqua calda sanitaria sono generalmente questi:

- **pannelli solari e relative staffe di fissaggio:** normalmente fissati sopra le tegole, grazie appunto alle staffe di fissaggio che garantiscono un ottimo ancoraggio dei pannelli alla struttura del tetto ed evitano pericolose infiltrazioni d'acqua piovana.
- **tubo in rame coibentato** per il circuito solare: componente molto delicato di tutto l'impianto solare, visto che nel scegliere questo componente è indispensabile assicurarsi che la coibentazione di cui il tubo deve essere dotato resista almeno a 150 gradi! altrimenti rischiamo di trovare la coibentazione fusa dopo la prima estate di esercizio dell'impianto solare.
- **serbatoio di accumulo** dell'acqua calda sanitaria solare.
- **componenti** necessari al funzionamento degli impianti quali: pompa di circolazione, centralina, regolatore di portata, ecc.
- **caldaia di integrazione:** è la caldaia o lo scaldabagno di cui normalmente già disponiamo, essa interviene nei periodi più freddi, quando cioè l'acqua calda solare non riesce a raggiungere temperature superiori ai 40 gradi e quindi per un piacevole comfort occorre portare l'acqua calda alla giusta temperatura facendo intervenire la caldaia o lo scaldabagno.



**Per predisporre quindi la tua abitazione** ad ospitare in seguito un impianto solare per la produzione di acqua calda sanitaria da usare per igiene personale, per le stoviglie o anche per i vestiti consigliamo di:

- **Prevedere di installare i pannelli solari SOPRA le tegole**, senza quindi prevedere di installarli al posto delle tegole, in quanto questa procedura, sicuramente esteticamente più valida, comporta purtroppo dei costi di installazione molto più alti e in caso di problemi ad un pannello richiede di nuovo costi molto alti per l'eventuale sostituzione del pannello. L'operazione di fissaggio di un pannello sopra le tegole comporta dei semplici passaggi tali da poter fissare 3 pannelli in meno di 4 ore, mentre nel caso si vogliano integrare i pannelli nel tetto occorre togliere le tegole e smaltirle, preparare un piano con assi di legno su cui andranno appoggiati i pannelli dopo avere steso dei fogli di catrame sul legno per impermealizzarlo, ed infine rivolgersi ad un lattoniere per preparare delle scossaline in rame o in alluminio verniciato per rendere impermeabile il tutto. In ogni caso quindi sconsigliamo di fissare in anticipo le staffe sul tetto come predisposizione, in quanto sarebbe un lavoro abbastanza inutile da fare in anticipo rispetto all'impianto solare. Occorre inoltre assicurarsi che la struttura del tetto sia dimensionata per far fronte ad un ulteriore carico permanente pari al peso dei pannelli e dell'acqua che essi contengono.
- 
- **Capire dove posizionare il serbatoio solare**: questo serbatoio ha spesso delle dimensioni abbastanza elevate, per es: 1,7 mt di altezza e 60-80 cm. di diametro ed un peso quando pieno di acqua di circa 400-700 kg. devi quindi trovare uno spazio idoneo ad ospitarlo (tenere in considerazione anche il carico gravante sul solaio), il più vicino possibile alla caldaia, in modo che nei periodi più freddi l'acqua tiepida ottenuta dai pannelli solari venga portata in temperatura dalla normale caldaia.
  - **Stendere due tubi di rame coibentato** che partendo dal sottotetto vadano sino al locale caldaia o al locale prescelto per ospitare il serbatoio solare.

## Produzione di energia elettrica da impianto fotovoltaico

### Progettazione

**Concetti preliminari**\_ Un impianto fotovoltaico trasforma direttamente l'energia solare in energia elettrica.

Esso è composto essenzialmente da:

- *moduli fotovoltaici e struttura di fissaggio e sostegno;*
- *inverter, che trasforma la corrente continua generata dai moduli in corrente alternata ;*
- *quadri elettrici e cavi di collegamento.*

I moduli sono costituiti da celle in materiale semiconduttore, il più utilizzato dei quali è il silicio cristallino. Essi rappresentano la parte attiva del sistema perché convertono la radiazione solare in energia elettrica.

Gli impianti fotovoltaici possono essere connessi alla rete elettrica di distribuzione (gridconnected) o direttamente a utenze isolate (stand-alone), tipicamente per assicurare la disponibilità di energia elettrica in zone isolate.

Gli impianti fotovoltaici, così come gli impianti solari termici utilizzano il sole come fonte energetica, catturandone la radiazione attraverso superfici captanti: mentre i moduli fotovoltaici trasformano direttamente la radiazione solare in energia elettrica, i pannelli solari termici utilizzano l'energia termica del sole per riscaldare l'acqua da utilizzare per uso igienico sanitario o per il riscaldamento degli ambienti.

I vantaggi degli impianti fotovoltaici possono riassumersi in:

- *assenza di qualsiasi tipo di emissione inquinante;*
- *risparmio di combustibili fossili;*
- *affidabilità degli impianti poiché non esistono parti in movimento;*
- *costi di esercizio e manutenzione ridotti al minimo;*
- *modularità del sistema (per aumentare la potenza dell'impianto è sufficiente aumentare il numero dei moduli).*



E' da tener presente che l'impianto fotovoltaico è caratterizzato da un elevato costo iniziale (dovuto essenzialmente all'elevato costo dei moduli) e da una produzione discontinua a causa della variabilità della fonte energetica (il sole).

La produzione elettrica annua di un impianto fotovoltaico dipende da diversi fattori:

- *radiazione solare incidente sul sito d'installazione;*
- *orientamento ed inclinazione della superficie dei moduli;*
- *assenza/presenza di ombreggiamenti;*
- *prestazioni tecniche dei componenti dell'impianto (moduli, inverter ed altre apparecchiature).*

Prendendo come riferimento un impianto da 1 kWp di potenza nominale, con orientamento ed inclinazione ottimali ed assenza di ombreggiamento, non dotato di dispositivo di “inseguimento” del sole, in Italia è possibile stimare le seguenti producibilità annue massime:

- *regioni settentrionali 1.000 – 1.100 kWh/anno;*
- *regioni centrali 1.200 – 1.300 kWh/anno;*
- *regioni meridionali 1.400 – 1.500 kWh/anno.*

Si tenga conto che per impianti fotovoltaici tradizionali ed a moduli di silicio cristallino, è possibile raggiungere in circa 7 mq di pannelli 1kWp di potenza nominale, intendendo per potenza nominale (o di picco) la potenza elettrica dell'impianto determinata dalla somma delle singole potenze nominali (o massime, o di picco, o di targa) di ciascun modulo fotovoltaico facente parte del medesimo impianto, misurate alle condizioni standard (temperatura pari a 25 °C e radiazione pari a 1.000 W/m<sup>2</sup>).

Lo schema di connessione dell'impianto alla rete è definito dal gestore di rete a cui l'impianto deve essere connesso; è necessario pertanto fare riferimento alle norme tecniche rese disponibili dal gestore di rete locale.

**La progettazione dell'impianto\_** Il progetto di un sistema fotovoltaico raccoglie l'insieme delle elaborazioni tecniche necessarie per passare dalla sua ideazione alla sua realizzazione esecutiva. In esso confluiscono i dati e le informazioni che devono servire da premessa alle fasi di dimensionamento e selezione dei componenti, di messa in opera, gestione e manutenzione dell'impianto.

Si noti che la progettazione di un impianto fotovoltaico si distingue per molti fattori dalle classiche progettazioni impiantistiche, innanzitutto a causa della variabilità della fonte principale, cioè l'energia solare, la quale non può in nessun modo essere prevista con precisione e senza applicare margini di tolleranza, ma anche per il fatto che i moduli fotovoltaici svolgono oltre alla primaria funzione di “generazione”, anche quella di “componenti edilizi architettonici”, per cui sono tenuti a soddisfare un duplice ordine di esigenze, di tipo energetico e di tipo architettonico.

Inoltre, occorre ricordare come gli impianti fotovoltaici abbiano anche la funzione integrativa rispetto ad altri sistemi di approvvigionamento energetico, cosicché la definizione delle loro specifiche funzionali e prestazionali non risulta mai univoca, dipendendo dall'interazione di differenti fattori economici e tecnici.

Le differenti fasi su cui devono essere articolate le operazioni di pianificazione per la realizzazione di un impianto fotovoltaico sono riportate di seguito:

- *calcolo del fabbisogno dell'utenza da servire;*
- *determinazione della risorsa solare annua;*
- *dimensionamento e verifica del generatore;*
- *dimensionamento dei sistemi di accumulo;*
- *dimensionamento degli inverter;*
- *progetto degli altri elementi costituenti l'impianto e delle interazioni con altri impianti*

**Stima del fabbisogno dell'utenza\_** L'impianto fotovoltaico va sempre dimensionato in funzione della tipologia di utenza e dei suoi consumi. A tal fine, diviene necessario determinare con precisione la natura e consistenza dei fabbisogni da soddisfare con l'impianto fotovoltaico, oltre alla loro distribuzione giornaliera ed anche annua.

Infatti, risulta particolarmente utile capire se può essere sfruttato un certo parallelismo tra necessità di consumo e disponibilità di radiazione solare; in caso affermativo l'efficienza del sistema migliora notevolmente, limitando le perdite di stoccaggio e di distribuzione.

Un metodo sicuramente valido per conoscere il consumo energetico di un'utenza elettrica è quello di analizzare le bollette energetiche relative ad un periodo temporale pari ad un anno,

nel caso ciò non sia possibile (es. nuove abitazioni) il consumo energetico può essere espresso nella seguente forma:

$$E = \sum_I P_i \cdot \tau_i$$

essendo  **$P_i$**  e  **$\tau_i$**  rispettivamente la potenza elettrica espressa in W e il tempo di funzionamento annuo dell'*i*-esimo apparecchio.

Generalmente i dati che più interessano nella progettazione dell'impianto fotovoltaico riguardano l'entità del carico complessivo nei giorni medi mensili (kWh/giorno) e su base annua (kWh/anno).

**Stima dell'energia producibile** L'energia annua producibile  **$E_{pv}$**  dell'impianto fotovoltaico viene fornita dalla seguente espressione analitica:

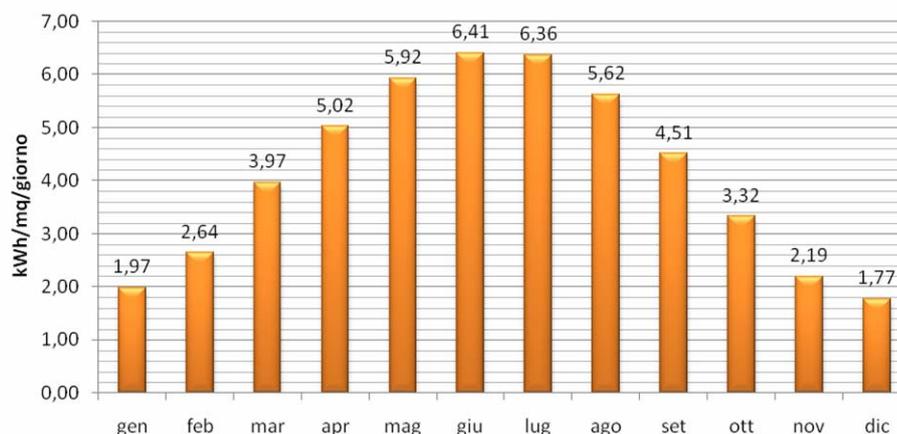
$$E_{pv} = \eta_{pv} \cdot A_{pv} \cdot H$$

essendo:

- **$\eta_{pv}$**  l'efficienza complessiva di conversione dell'impianto fotovoltaico;
- **$A_{pv}$**  l'area occupata dall'insieme dei moduli che compongono il generatore, espressa in  $m^2$ ;
- **$H$**  l'irradiazione solare annua incidente sulla superficie dei moduli, espressa in  $kWh/m^2$ .

La medesima relazione può essere scritta per un periodo temporale diverso dall'anno, ad esempio per il singolo giorno, esprimendo  **$E_{pv}$**  in kWh/giorno e  **$H$**  in  $kWh/(m^2 \times \text{giorno})$ .

La disponibilità di energia solare subisce notevoli variazioni giornaliere, mensili ed annuali; a tale scopo è necessario ricorrere a dati climatici relativi alla località in cui è situato l'impianto.



Inoltre, la quantità dell'energia prodotta varia con gli angoli di inclinazione e di orientamento delle superfici captanti dei singoli moduli, oltre che da eventuali fenomeni di ombreggiamento artificiale.

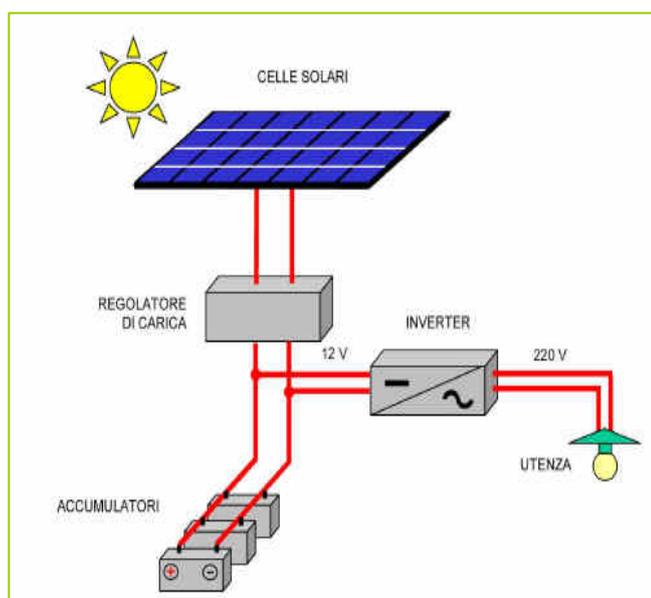
Si noti che, a sua volta, l'efficienza complessiva di conversione dell'impianto fotovoltaico  **$\eta_{pv}$**  dipende dall'efficienza della componentistica non fotovoltaica del sistema (cablaggi, inverter, ecc), dei fenomeni di surriscaldamento dei pannelli, dalla riflessione parziale della radiazione incidente, dall'efficienza di conversione, dalla formazione di depositi di polveri sui pannelli ed, infine, dall'efficienza del singolo modulo  **$\eta_{mod}$** .

Allo stato attuale, con le tecnologie dei moduli al silicio cristallino, si può supporre che l'efficienza complessiva di conversione dell'impianto fotovoltaico  $\eta_{pv}$  vari tra 0,09 e 0,11; per cui è lecito scrivere:

$$E_{pv} = 0.10 \cdot A_{pv} \cdot H$$

Ciò significa che, nel caso di stime preliminari e non dettagliate, si può considerare che l'intero sistema produca una quantità di energia elettrica pari al 10% della radiazione solare intercettata dai suoi moduli.

**Dimensionamento di un impianto fotovoltaico "stand alone"** \_ Nel caso di **impianti fotovoltaici isolati stand alone** (in cui l'utenza fa dipendere il proprio fabbisogno completamente o parzialmente dall'impianto stesso), il corretto dimensionamento è particolarmente importante, in quanto da esso dipende in maniera significativa il fabbisogno elettrico delle utenze servite. In tal caso, la determinazione della taglia del sistema fotovoltaico viene effettuata analizzando il profilo del carico e la specifiche di soleggiamento del sito in cui andranno collocati i pannelli.



Per tale tipologia di impianto conviene eseguire il dimensionamento in relazione a situazioni sfavorevoli di irraggiamento (ad esempio in inverno prevedendo un certo numero di giorni di nuvolosità); il generatore viene utilmente dimensionato in modo che l'energia prodotta giornalmente e quella consumata al più si equivalgano, ed il sistema di accumulo viene progettato in modo tale da garantire la fornitura di energia per un certo numero di giorni, nell'ipotesi sfavorevole che i moduli per tale intervallo temporale non riescano a produrre l'energia necessaria a compensare il consumo:

$$E_{pv} \geq E_c$$

essendo:

- **E<sub>pv</sub>** l'energia giornaliera media mensile prodotta dal generatore, espressa in kWh/giorno;
- **E<sub>c</sub>** l'energia corrispondente richiesta dal carico, anch'essa espressa in kWh/giorno.

A sua volta, l'energia corrispondente richiesta dal carico può esprimersi in funzione dell'energia elettrica realmente consumata dall'utenza giornalmente e dei rendimenti dell'impianto di accumulo:

$$E_c = \frac{E_u}{\eta_b \cdot \eta_c \cdot \eta_{rc}} \quad (E_c > E_u)$$

essendo:

- $\eta_b$  il rendimento di carica e scarica della batteria (circa 0.90);
- $\eta_c$  il rendimento dei circuiti (circa 0.90);
- $\eta_{rc}$  il rendimento del regolatore di carica (circa 0.85).

Per cui risulta approssimativamente:

$$E_c = 1.45 \cdot E_u$$

cioè il fabbisogno di energia elettrica da prevedere deve essere maggiorato di circa il 45% rispetto al consumo da parte dell'utenza.

Ragionando con l'irradiazione solare giornaliera media mensile incidente sul piano dei moduli fotovoltaici nel mese caratterizzato dalla minor disponibilità di soleggiamento ( $H_{min}$ ), ed uguagliando l'energia prodotta con quella richiesta, si ottiene che:

$$0.10 \cdot A_{pv} \cdot H_{min} = 1.45 \cdot E_u$$

dalla cui formula è facile ottenere l'area dei pannelli fotovoltaici minima:

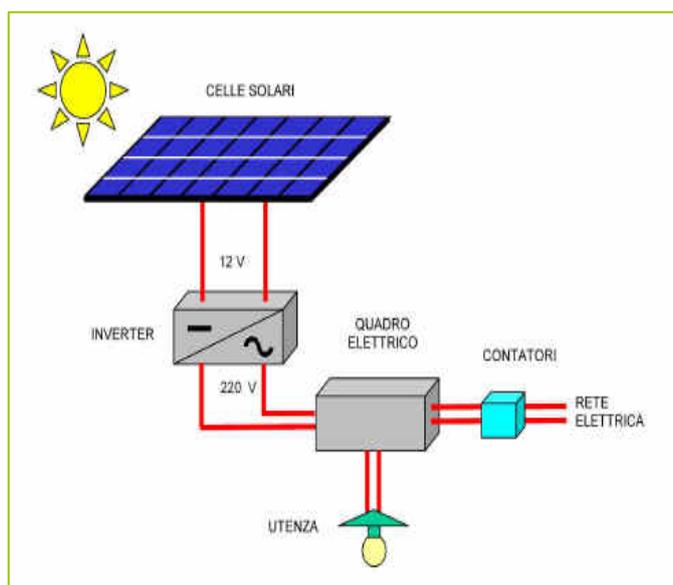
$$A_{pv\_min} = \frac{14.5 \cdot E_u}{H_{min}}$$

### **Dimensionamento di un impianto fotovoltaico ad utilizzo diretto**

**ad utilizzo diretto** Nel caso di impianti ad utilizzo diretto con il generatore fotovoltaico che alimenta direttamente il carico, il dimensionamento dell'impianto avviene o in funzione della potenza che è possibile installare o in funzione dell'energia che si desidera ottenere, accettando la dipendenza dalle condizioni climatiche del sito oggetto dell'installazione.

Valgono a tal proposito le stesse formule esposte per la tipologia di impianto stand alone, ma in questo caso non essendoci parti di accumulo ma solo circuiti risulta:

$$E_c = 1.10 \cdot E_u$$



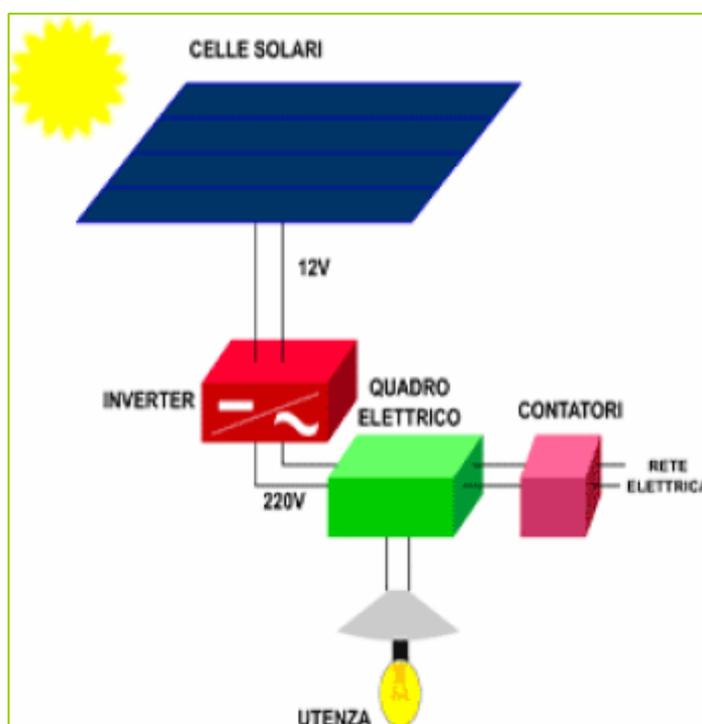
Per cui, uguagliando l'energia prodotta con quella richiesta, si ottiene che:

$$0.10 \cdot A_{pv} \cdot H_{min} = 1.10 \cdot E_u$$

dalla cui formula è facile ottenere l'area dei pannelli fotovoltaici minima:

$$A_{pv\_min} = \frac{11 \cdot E_u}{H_{min}}$$

**Dimensionamento di un impianto fotovoltaico connesso alla rete** Nel caso di connessione alla rete del Gestore, l'impianto fotovoltaico non rappresenta più l'unica fonte di approvvigionamento di energia per l'utenza, bensì un sistema integrativo ed una fonte di guadagno.



La “taglia” dell'impianto, in tal caso, può essere definita liberamente sulla base di considerazioni economiche, energetiche ed ambientali, nonché in funzione delle tariffe incentivanti e conto energia.

Il sistema “grid connected” rappresenta la soluzione indubbiamente migliore per il fotovoltaico, in quanto viene caratterizzata da costi inferiori per l'assenza di sistemi di accumulo e dalla massima flessibilità di impiego.

L'energia prodotta può essere utilizzata direttamente in loco oppure, se in eccesso rispetto al fabbisogno del momento, immessa in rete; quando il sistema fotovoltaico non supplisce

interamente alle necessità o è inattivo (ore notturne), l'utenza preleva normalmente elettricità dalla rete.

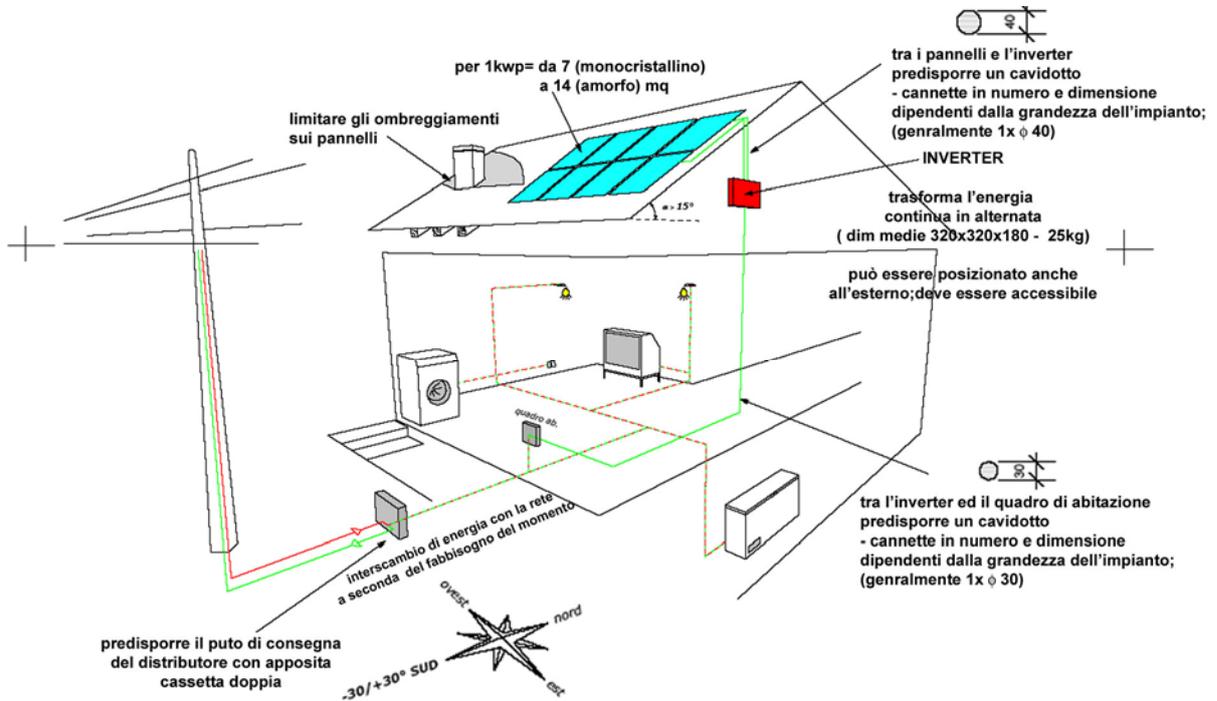
Dunque, si nota come i criteri di dimensionamento dell'impianto sono molto meno rigidi, essendo condizionati più che dalla potenza nominale necessaria, dalla disponibilità economica o dalla disponibilità di superficie di installazione dei pannelli e moduli fotovoltaici.

Se la priorità del progetto è rappresentata dal "quanta" energia si vuol produrre, allora l'incognita del problema è rappresentata dalla superficie necessaria per produrla:

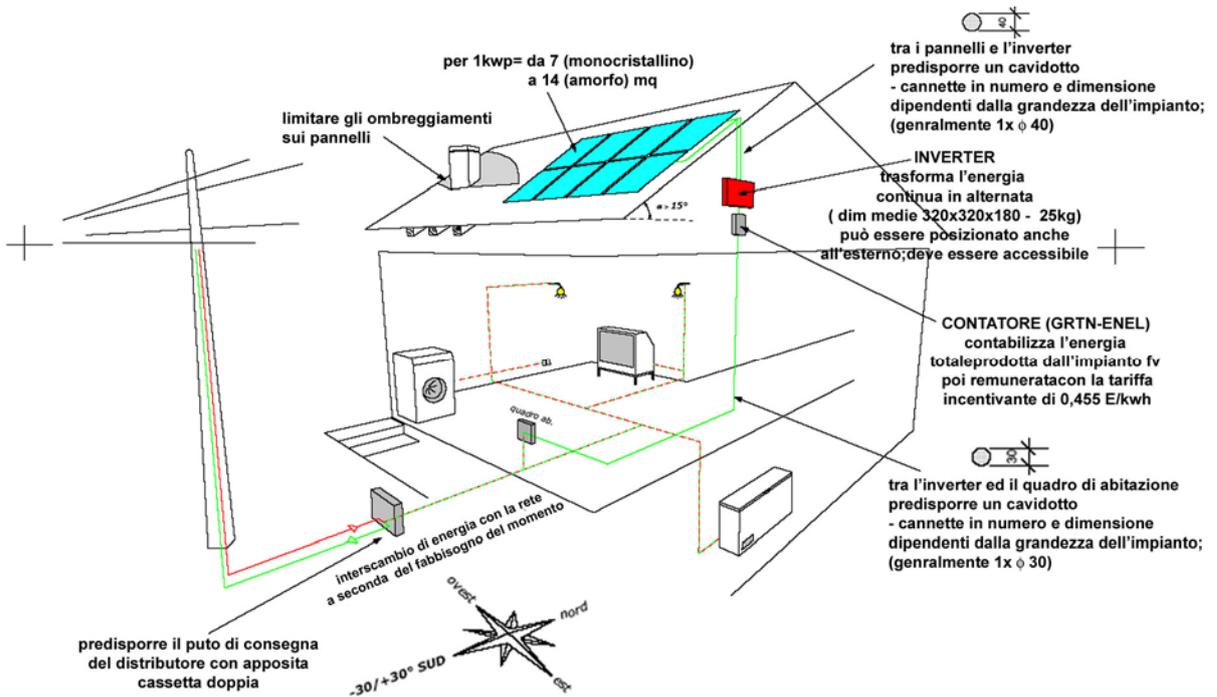
$$A_{pv\_min} = \frac{11 \cdot E_u}{H_{min}}$$

Se, al contrario, prevalgono considerazioni economiche, si determina la taglia dell'impianto valutando dai costi unitari a (€/kW) la potenza nominale che può essere prodotta con l'investimento economico prefissato.

### Funzionamento di un impianto fotovoltaico connesso in CONTO CAPITALE



### Funzionamento di un impianto fotovoltaico connesso in CONTO ENERGIA



## Predisposizione per l'installazione di pannelli fotovoltaici

La **predisposizione** di un impianto fotovoltaico si può realizzare attraverso il montaggio di un semplice canale portacavi in materiale plastico (o tubo corrugato sottotraccia) disposto dal tetto (falda in cui si prevede il montaggio dei moduli) fino al locale dove si prevede vengano installati i quadri di parallelo stringhe e l'inverter.

Questo canale deve avere adeguata sezione in quanto esso conterrà i numerosi cavi in continua (due per ogni stringa) che collegano le stringhe ai quadri di parallelo stringhe o direttamente all'inverter.

Nel caso di edifici nuovi in cui si prevede di montare l'impianto fotovoltaico in integrazione parziale<sup>2</sup> sulla falda del tetto, conviene inoltre montare le staffe sulle quali andranno successivamente fissate le guide metalliche di supporto ai moduli fotovoltaici.



### Fasi di montaggio dei moduli fotovoltaici

Il locale inverter deve essere individuato possibilmente all'interno dell'edificio, preferibilmente vicino il quadro elettrico generale e, deve avere aperture verso l'esterno in grado di garantire un'adeguata ventilazione degli inverter.

---

<sup>2</sup> Moduli fotovoltaici installati su tetti, coperture, facciate, balaustre o parapetti di edifici e fabbricati in modo complanare alla superficie di appoggio senza la sostituzione dei materiali che costituiscono le superfici d'appoggio stesse.