

# UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DEL MOLISE



DIPARTIMENTO DI SCIENZE ANIMALI, VEGETALI E DELL'AMBIENTE  
DOTTORATO DI RICERCA IN  
“ANALISI E VALORIZZAZIONE DEL PAESAGGIO”  
(XXI CICLO)

TESI DI DOTTORATO

## PRINCIPI BIOCLIMATICI NELLE ARCHITETTURE RURALI DEL MOLISE: STRATEGIE DI RECUPERO NEL RISPETTO DELLA QUALITÀ ENERGETICA

Ing. Domenicantonio Fornaro

Il Coordinatore  
*Chiar.mo Prof. Arch. D. Cialdea*

Il Tutor  
*Chiar.mo Prof. Ing. F. Fucci*

---

Anno Accademico 2008 -2009

# Indice

<b>1</b>	<b>Premessa</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Architettura rurale e Bioclimatica: aspetti generali</b> .....	<b>4</b>
2.1	Sistemi solari passivi .....	6
2.2	Sistemi solari attivi .....	8
2.3	Sistemi e sottosistemi passivi tipici dell'architettura rurale.....	9
2.4	Strategie di recupero .....	16
<b>3</b>	<b>Il clima come elemento di progetto degli edifici</b> .....	<b>17</b>
3.1	Inquadramento climatico regionale .....	17
3.1.1	La temperatura.....	22
3.1.2	Il soleggiamento.....	24
3.1.3	Il vento .....	25
3.2	Le condizioni di confort ambientale e il diagramma bioclimatico dell'Olgyay .....	28
<b>4</b>	<b>Studio dei percorsi solari</b> .....	<b>34</b>
4.1	Analisi e Calcolo dei percorsi solari .....	34
4.2	La rappresentazione grafica dei percorsi solari .....	39
<b>5</b>	<b>Studio dell'orientamento e dell'esposizione</b> .....	<b>43</b>
5.1	Tecniche antiche.....	43
5.1.1	Architetture solari nell'antica Grecia.....	43
5.1.2	La Casa Sannitica di LN a Monte Vairano .....	46
5.1.3	Principi bioclimatici nel trattato <i>De Architettura</i> di Vitruvio .....	49
5.1.4	I fabbricati rurali del periodo romano: le ville rustiche. ....	56
5.1.5	L'urbanistica solare dei borghi medioevali .....	61
5.2	Metodi di calcolo della radiazione solare .....	64
5.2.1	L'irraggiamento solare .....	64
5.2.2	Flusso energetico solare su una superficie.....	67
5.2.3	Il metodo ASHRAE .....	70
5.2.4	Il metodo di Liu e Jordan.....	69
5.2.5	Osservazioni al metodo Liu e Jordan.....	77
5.3	Orientamento: applicazioni .....	78
5.3.1	Orientamento ottimale di una superficie.....	78
5.3.2	Approccio al metodo sole-aria.....	80
5.3.3	Ipotesi di massima per l'orientamento di un edificio di forma parallelepipedo.....	83
<b>6</b>	<b>Le murature d'ambito: un sottosistema bioclimatico</b> .....	<b>86</b>
6.1	Tipologie murarie.....	84
6.2	Comportamento termico delle murature massicce.....	91
6.2.1	Capacità termica .....	91
6.2.2	Diffusività termica.....	92
6.3	L'inerzia termica.....	93
6.3.1	La norma UNI ISO EN 13786.....	94
6.3.2	La norma UNI ISO EN 13786: elaborazioni .....	97

6.3.3	Le norma UNI 10375.....	104
6.4	Metodi numerici per l'analisi del flusso di calore attraverso una parete monostrato e pluristrato.....	106
6.4.1	Temperatura Sole-aria: sviluppo in serie di Fourier .....	106
6.4.2	I colori del costruito rurale.....	107
6.4.3	Determinazione del flusso di calore attraverso una parete monostrato .. .....	110
6.4.4	Metodo di Alford: applicazioni .....	111
<b>7</b>	<b>Le chiusure d'ambito: gli infissi .....</b>	<b>116</b>
7.1	Tipologie di finestre.....	117
7.2	Tipologie di porte .....	119
<b>8</b>	<b>Sottosistemi bioclimatici esterni: l'ombreggiamento. ....</b>	<b>122</b>
7.1	Sistemi pergolati .....	122
7.2	Ombre portate da alberature .....	124
<b>9</b>	<b>Schedatura di rilievo della qualità bioclimatica .....</b>	<b>126</b>
9.1	Esempio scheda di casa isolata.....	130
9.2	Esempio scheda di casa signorile.....	132
9.3	Esempio scheda di casa in aggregato.....	134
9.4	Esempio scheda di casa in linea.....	136
<b>10</b>	<b>ELABORAZIONE DI UNA CARTA DELLA RADIAZIONE SOLARE</b>	<b>138</b>
10.1	Considerazioni generali sul DEM.....	138
10.2	Elaborazione della carta della radiazione solare a partire da un DEM.....	139
10.3	Criteri per l'individuazione di aree "bioclimatiche".....	146
<b>11</b>	<b>La finestra solare .....</b>	<b>149</b>
11.1	Prime considerazioni energetiche.....	149
11.2	Calcolo della trasmittanza termica secondo la norma uni en iso 10077 .....	154
11.2.1	Considerazioni sul sistema vetrato .....	154
11.2.2	Applicazione si sistemi di chiusura tipici .....	157
<b>12</b>	<b>Sistemi solari passivi: la serra, il portico e il muro di Trombe</b>	<b>162</b>
12.1	La serra solare.....	162
12.1.1	Tipologia e forma della serra.....	165
12.2	Il metodo 5000.....	170
12.2.1	Applicazione del Metodo 5000 ad una serra solare addossata.....	174
12.2.2	Accorgimenti costruttivi per una migliore compatibilità architetonica della serra solare.....	179
12.3	Il portico solare .....	182
12.3.1	Ombreggiamento del portico.....	185
12.3.2	Applicazione del Metodo 5000 al portico solare.....	188
12.3.3	Accorgimenti costruttivi per una migliore compatibilità architettonica del portico solare.....	192
12.4	Il muro di Trombe.....	193

<b>13</b>	<b>Aspetti normativi sull'efficienza e la Certificazione energetica</b>	<b>195</b>
13.1	Normativa italiana di riferimento: Dlgs 192/05 e s.m.i. ....	195
13.2	Problemi normativi dovuti alla trasmittanza imposta .....	201
13.2.1	Problemi di condensa .....	209
13.3	Aspetti vincolistici e territoriali .....	212
13.4	Certificazione energetica.....	218
13.5	Valutazione della certificazione energetica, ad una tipologia di edificio isolato, con il software DOCET.....	223
<b>14</b>	<b>Ipotesi di linee guida per un recupero di tipo bioclimatico .....</b>	<b>227</b>
14.1	Proposta di un indice parametrico per l'individuazione della qualità bioclimatica.....	228
14.1.1	Calcolo dell'indice bioclimatico di struttura.....	228
14.1.2	Elencazione dei requisiti volontari incentivanti. ....	231
14.1.3	Ipotesi per il calcolo dell'Indice Bioclimatico di Ristrutturazione Ibr... ..	238
14.2	Osservazioni e conclusioni. ....	239
<b>15</b>	<b>Conclusioni .....</b>	<b>240</b>
	<b>Bibliografia .....</b>	<b>243</b>

# 1 Premessa

L'economia che guida la costruzione della casa rurale nel paesaggio molisano rende necessario utilizzare tutte le potenzialità dei materiali locali e tutte le risorse disponibili, servendosi di una serie di soluzioni bioclimatiche primigenie. In tal modo si fa fronte alle questioni connesse con le condizioni ambientali utilizzando tutte le riserve naturali e limitando dispendi energetici affinché la casa rurale, per quanto povera, risulti un sistema quasi autosufficiente nel rapporto tra requisiti necessari e prestazioni offerte. Ciò la rende non solo di grande attualità in termini di sostenibilità, ma la pone, rispetto a questa tematica, come un interessante prototipo anche se retaggio del passato e, nel contempo, offre la dimostrazione che i principi bioclimatici sono naturali e scaturiscono direttamente dall'ambiente.

Tuttavia dalla pubblicazione della direttiva 2002/91/CE, che rappresenta l'impegno della UE per la riduzione dei consumi energetici in edilizia, si è assistito ad un progressivo impoverimento delle soluzioni progettuali rispettose di principi che siano in grado di unire risparmio energetico e conservazione del patrimonio edilizio costruito con tecniche tradizionali. L'applicazione e la sostituzione di materiali tradizionali con altri energeticamente più competitivi comportano ripercussioni negative nel paesaggio che vede man mano scomparire quei segni caratteristici impressi dalle antiche architetture rurali ormai quasi del tutto scomparse o sostituite.

La necessità di ritrovare un equilibrio tra le esigenze di conservazione del patrimonio rurale e quelle di una migliore prestazione energetica dell'edificio, richiede di rivedere i modi di approccio per una riqualificazione energetica rispettosa delle qualità ambientali e che sia in grado, contemporaneamente, di salvaguardarne la conservazione stessa all'interno del contesto paesaggistico di riferimento. I processi di trasformazione rurale, infatti, hanno portato ad elaborare sistemi di mimetizzazione in modo da diminuire l'impatto visivo, nascondendo ciò che magari in origine era ben evidente nel paesaggio. La presente ricerca nasce quindi dall'esigenza di riappropriarsi di tutti quei principi bioclimatici insiti nell'edilizia rurale, e comunque tradizionale, al fine di poterli riutilizzare in un processo di recupero o comunque da tener presente nel caso di nuovi insediamenti rurali. Infatti taluni accorgimenti progettuali, relativamente semplici, come un corretto orientamento dell'edificio, il controllo solare tramite schermature fisse e/o mobili, l'utilizzo di sistemi passivi di riscaldamento e raffrescamento degli

ambienti, unitamente ad una saggia utilizzazione degli impianti di climatizzazione, oltre all'utilizzo di fonti di energia rinnovabile, possono ridurre drasticamente tali consumi. Tali accorgimenti progettuali, però, vanno valutati e contestualizzati nel giusto ambito paesaggistico in special modo in aree vincolate. Per questa ragione la ricerca ripercorre, attraverso la storia, la riscoperta di diversi espedienti bioclimatici che vogliono essere parte integrante di una metodologia, o comunque per un approccio bioclimatico, di progetto della riqualificazione energetica che qualitativamente sia rispettosa della qualità costruttiva preesistente.

L'approccio allo studio delle tematiche bioclimatiche applicate all'architettura rurale è stato avviato con la ricerca di un'adeguata bibliografia che permettesse di avere le conoscenze di base per gli opportuni sviluppi del tema di ricerca. Le prime letture, pertanto, hanno riguardato aspetti sia generali, che specifici, inerenti la bioclimatica allo scopo di centrare il problema del risparmio energetico e contemporaneamente di comfort psicofisico. Particolare importanza, nel seguito della ricerca, è data al contributo dell'Olgyay, *Costruire con il clima, un approccio bioclimatico al regionalismo architettonico*, che se pur riferito ad un contesto americano, costituisce una delle opere fondamentali all'approccio bioclimatico, di cui questa ricerca ricalca le linee fondamentali applicandole al contesto molisano. Contemporaneamente sono state individuate le grandezze meteorologiche utili allo scopo della ricerca scaturenti dalle osservazioni dei fenomeni climatici in Molise, in particolare quelli provenienti dall'archivio climatico dell'ENEA. Un'altra base fondamentale per lo studio dell'architettura bioclimatica è la conoscenza dei percorsi solari che variano, oltre che per la latitudine, durante le stagioni, cosa già nota ai popoli antichi. Premesso che la radiazione solare è la principale grandezza meteorologica utile allo scopo di questo studio, si sono studiate le relative metodologie di calcolo dell'incidenza su una superficie piana comunque inclinata e orientata. Il fine specifico, dal punto di vista del costruire bioclimatico, è, pertanto, quello dell'individuazione dell'orientamento ottimale di una superficie, oltre quella di analizzare il territorio per un'analisi di tipo insediativa e proporre una metodologia per la realizzazione di mappe della radiazione solare.

Gran parte della ricerca è stata destinata all'osservazione delle caratteristiche tecnologiche del costruito rurale al fine di poterne ricavare gli aspetti più prettamente bioclimatici. Così le murature d'ambito costituite da forti spessori che vanno ben oltre lo spessore richiesto da un'analisi di tipo statico, si sono studiate,

con opportuni accorgimenti sulla ricerca dei parametri di trasmissione termica, soprattutto in riferimento agli aspetti dell'inerzia termica. Così pure gli infissi e portoni erano studiati con uno scopo ben preciso, cioè quello di limitare le dispersioni termiche. Pertanto con una breve schedatura si sono riportati le principali tipologie di serramenti rinvenuti sul territorio. Sistemi, invece, che permettevano di attenuare l'onda di calore estiva, consistono principalmente in ombre portate dalla vegetazione. Viene perciò proposta una metodologia di indagine mediante una scheda di rilievo con particolare riguardo alle capacità bioclimatiche dell'edificio pensata soprattutto l'individuazione di un indice che ne potesse esprimere numericamente le qualità rilevate. Sono stati quindi presi in considerazione alcuni sistemi costruttivi e tecnologici, come serramenti e portici, e studiate soluzioni che pur reinterprestando le tipologie comuni riescono ad ottenere una certa valenza energetica. L'inserimento di elementi architettonici e tecnologici, in parte estranei alla tradizione del costruire in ambito rurale, viene analizzato per una migliore integrazione con l'esistente. Ma se il reinterpretare la tradizione potrebbe portare a qualche problema di contesto paesaggistico, la normativa termica sul miglioramento delle prestazioni energetiche non è certo generosa con le architetture rurali, imponendo parametri energetici da rispettare molto restrittivi. Le metodologie di indagine proposte, nonché quelle per la ricerca di soluzioni tecnologiche avanzate, hanno il comune obiettivo di salvaguardare le architetture della tradizione e nel contempo di renderle energeticamente sostenibili. Pertanto lo studio si chiude con una proposta di una base metodologica per l'elaborazione di linee guida da attuare in aree sottoposte a vincolo paesaggistico che possano, almeno in parte, coniugare l'esigenza di conservazione e quella del miglioramento delle prestazioni energetiche.

Infine tutto lo studio è stato integrato con un consistente supporto iconografico: schemi, disegni, immagini e fotografie sono strumenti necessari e non di corredo, per comprendere quanto più possibile gli aspetti propri della ricerca. Inoltre, la maggior parte dei risultati numerici ottenuti, presentati sotto forma di grafici e tabelle, scaturiscono dall'elaborazione di diversi fogli di calcolo appositamente costruiti per la presente ricerca.

## 2 Architettura rurale e Bioclimatica: aspetti generali.

Con il termine bioclimatica viene indicata una disciplina fondata da W. Koppen agli inizi del secolo scorso, finalizzata principalmente alla ricerca delle cause di una determinata distribuzione della vegetazione in varie regioni più o meno estese. Tale disciplina tende ad identificare il bioclimate come quel complesso di fattori climatici che regolano la distribuzione del bioma, cioè l'adattamento al clima delle forme vite sia animali che vegetali. La bioclimatologia, dunque, studia le connessioni tra il clima e la vita e definisce le modalità attraverso le quali l'uomo costruisce la propria abitazione tenendo conto delle peculiarità dei vari tipi di clima.

L'architettura bioclimatica, pertanto, si basa su un modello abitativo che soddisfa i requisiti di comfort con il controllo passivo del microclima, inteso come una strategia che, minimizzando l'uso di impianti meccanici, massimizza l'efficienza degli scambi tra edificio e ambiente. In altri termini un edificio così caratterizzato deve essere in grado di stabilire un rapporto particolarmente stretto con l'ambiente tale da essere



FIG. 2.1 L'edificio che vive con l'ambiente.

interdipendente con esso. Poiché le condizioni ambientali variano da regione a regione, e per un determinato sito tali condizioni variano anche nel tempo, l'edificio bioclimatico ideale deve vivere in simbiosi con l'ambiente circostante, come se fosse un elemento dell'ambiente naturale.

Il concetto di bioclimatica è legato profondamente alla consapevolezza che il progresso tecnologico possa trovare un limite nella capacità di sopportazione dell'ambiente e nell'esauribilità delle risorse naturali. I principali fenomeni che influiscono negativamente sullo stato dell'ambiente nascono dall'esigenza di disporre di grandi quantità di energia non rinnovabile. In questo senso un ruolo fondamentale è svolto appunto dalla progettazione architettonica bioclimatica e in particolare dall'efficienza energetica dell'ambiente costruito, poiché una grande quantità delle emissioni dei gas inquinanti proviene proprio dagli impianti di climatizzazione e di riscaldamento.

La tradizione del costruire oggi viene rivalutata, non solo per una questione di restauro e comunque di recupero, ma soprattutto per una questione bioclimatica.

Sappiamo tutti che in antico l'uomo ha sempre cercato di ottenere un minimo di confort, anche se legato ad abitudini di vita diverse, dalle proprie costruzioni. Attraverso la storia esso ha sviluppato, in forza della sua esperienza, diversi sistemi ed espedienti che potessero essere in grado di soddisfare il suo bisogno di confort. Diversi antichi subsistemi, infatti, mirano a disperdere calore quando le temperature sono elevate, a captare energia solare durante le ore diurne nei periodi invernali o a respingerla nei periodi caldi, così come altri sistemi tendono ad immagazzinare calore. L'architettura rurale, in particolare, è un'architettura povera, ma proprio per questo ha sviluppato quelle caratteristiche bioclimatiche che scaturiscono dagli stessi materiali costitutivi, oltre che dettati dallo stile di vita dell'uomo che le abitava.

Il recupero e il riuso di edifici rurali mediante componenti bioclimatici sia di antica provenienza che di moderna fattura, vuole essere una ricerca che mira a riappropriarsi di quelle tecniche ed espedienti del passato che la moderna tecnica costruttiva ha decisamente cancellato in forza di una cultura basata su fonti energetiche non rinnovabili. La consapevolezza che le energie non rinnovabili non sono illimitate nel tempo e che il loro uso produce un deciso inquinamento a discapito dell'ambiente, sta portando ad una consapevolezza sempre più diffusa che occorre costruire in modo sostenibile, utilizzando al meglio le risorse rinnovabili che l'ambiente, e in questo caso il clima, permette di sfruttare in un dato contesto regionale e ambientale.

La preminenza dei caratteri ambientali della forma costruita da un lato, e la di tecnologie solari integrate, dall'altra, sono gli aspetti fondamentali dell'architettura bioclimatica.

Particolare importanza, nel seguito della ricerca, è data al contributo dell'Olgyay, *Costruire con il clima, un approccio bioclimatico al regionalismo architettonico*, che se pur riferito ad un contesto americano, costituisce una delle opere fondamentali all'approccio bioclimatico, di cui questa ricerca ricalca le linee fondamentali applicandole al contesto molisano. Pur a distanza di un ventennio dall'ultima edizione, la valenza di tale studio è ancora attuale in quanto tutte le relazioni intercorrenti tra forma architettonica, orientamento e fattori climatici, rappresentano la base di partenza sia per un progetto ex-novo, o di recupero, attuato mediante sistemi solari passivi oltre che attivi.

Tali sistemi verranno analizzati in dettaglio in vista della conclusione della ricerca, avendo prima analizzato le componenti ambientali e architettoniche relative

all'approccio bioclimatico che risultano essere propedeutiche ad un riutilizzo di un qualsiasi sistema bioclimatico. Di seguito pertanto verranno esposti in breve i sistemi solari passivi e attivi, nonché i principi bioclimatici ad essi associati.

## 2.1 Sistemi solari passivi

Affinché un edificio possa essere considerato bioclimatico, oltre per quanto in precedenza detto, deve soddisfare alcuni semplici principi, sfruttando in modo naturale, attraverso espedienti architettonici, le risorse energetiche attribuitagli dal sito stesso e dall'ambiente climatico in cui l'edificio è inserito.

- per un edificio situato in un sito molto soleggiato, una delle esigenze più sentite è certamente rappresentata dalla riduzione dell'irraggiamento solare ottenibile con un elevato livello di ombreggiamento e di un sistema di ventilazione per il raffrescamento.

- Viceversa, se l'esigenza termica locale sarà rappresentata dalla protezione dal freddo, occorrerà dotare l'edificio dispositivi di captazione solare e di conservazione del calore, dotarlo di un buon isolamento termico, difenderlo dai venti freddi.

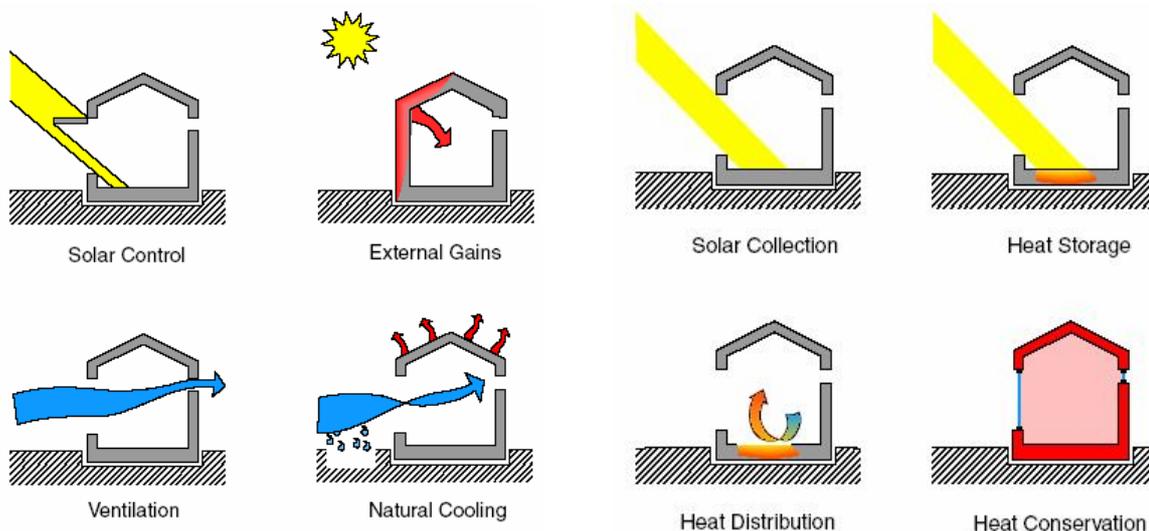


FIG. 2.2 Schemi di principali schemi bioclimatici.

I sistemi e subsistemi solari passivi pertanto sfruttano le risorse ambientali a prescindere dall'utilizzo di soluzioni impiantistiche, bensì esclusivamente attraverso forme ed espedienti architettonici e tecnologici.

La captazione della radiazione solare potrà avvenire quindi attraverso finestre rivolte appositamente verso il sole in modo da potervi penetrare all'interno e

riscaldare le pareti e pavimenti, che a loro volta diventano accumulatori di calore e quindi reirradiano l'ambiente successivamente. L'intercettazione della radiazione solare può avvenire anche mediante delle apposite *serre solari* da cui, attraverso sistemi di ventilazione naturale, riscaldare gli ambienti circostanti. Anche in questo caso si potranno disporre nella serra pareti di confine ad alta inerzia termica con scopo di accumulare il calore e restituirlo all'ambiente, sempre per irraggiamento, con uno sfasamento temporale. In particolare il muro di *Trombe*, costituito da una intercapedine ottenuta da un lato con un vetro e dall'altra con un muro ad alta inerzia termica, permette di creare una corrente calda ascensionale che può essere convogliata all'interno dell'ambiente mediante apposite bocchette di aerazione.

Altri sistemi come il Barra-Costantini, invece, prevedono la realizzazione di una controparete nell'ambiente, in modo che nell'intercapedine vi possa viaggiare aria calda, in modo che le pareti stesse possano riscaldare l'ambiente per irraggiamento.

Altri sistemi di accumulo di calore possono essere costituiti dal roof-pond, ossia una massa d'acqua esposta al sole accumula calore per cederlo successivamente all'ambiente sottostante. Tuttavia è proprio la forma dell'edificio, soprattutto attraverso particolari architettonici, attraverso cui si realizzano schermature solari, ossia delle zone d'ombra. Tali sistemi, se correttamente dimensionati in funzione dei percorsi solari, possono evitare il surriscaldamento delle pareti più esposte in determinate ore e in determinati periodi stagionali.

Diversi sistemi passivi sono presenti nelle architetture rurali del Molise, costituite, in prevalenza, da una massa muraria calcarea di notevole spessore che funge da accumulo di calore. Ma anche le aperture non sono disposte a caso, così come la disposizione dei portici che funge da schermatura in estate e da dispositivo di captazione solare in inverno.

I sistemi schermati risultano essere costituiti da specie vegetali. Diversi edifici rurali, infatti, si presentano in adiacenza ad alberi di querce (latifoglie) verso sud-ovest che producono ombra solo in estate. Esistono anche piante rampicanti appartenenti alla famiglia delle latifoglie, che oltre a schermare la parete, ne sottraggono calore per evaporazione.

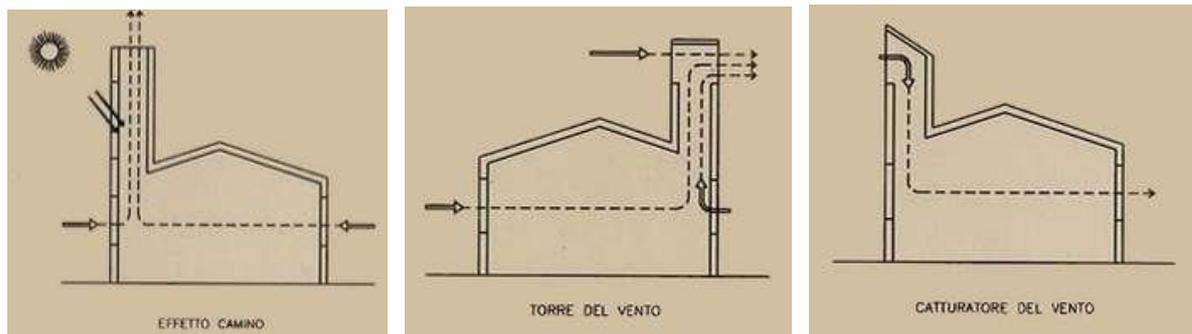


FIG. 2.3 Schemi di funzionamento delle torri del vento.

Per il raffrescamento esistono sistemi di estrazione dell'aria basati sull'effetto camino, cioè l'effetto determinato dall'azione combinata della differenza di temperatura tra aria interna e aria esterna e della differenza di quota fra le aperture alla base dell'edificio e quelle alla sommità della torre. La corrente d'aria che si genera, quindi sottrae calore per convezione alle pareti dell'edificio.

Altri sistemi capaci di generare una ventilazione naturale sono le torri del vento, che possono sia creare una depressione in sommità e quindi fungono da aspiratore, oppure possono catturare il vento e indirizzarlo all'interno dell'edificio. Le torri del vento rappresentano un normale espediente bioclimatico nelle tipiche costruzioni dell'Iran.

## 2.2 Sistemi solari attivi

I sistemi attivi sono costituiti prevalentemente da componenti impiantistici in parte o totalmente funzionanti con energie rinnovabili, quali la radiazione solare, l'energia eolica e l'energia geotermica.

Le soluzioni impiantistiche che sfruttano l'energia geotermica si basano sul concetto di sottrarre calore al sottosuolo in inverno, di cedere calore in estate. Allo scopo vengono inserite nel terreno delle sonde che si comportano come scambiatori di calore con il terreno e l'apporto energetico è direttamente proporzionale alla lunghezza delle sonde. A tale sonda ovviamente va collegata una pompa di calore. Tali applicazioni sono spesso usate con per impianti di riscaldamento di tipo radiante a bassa temperatura, come ad esempio quelli a pavimento.

Per il raffrescamento, invece, occorre cedere calore al terreno che si trova ad una temperatura decisamente inferiore a quella dell'aria, o delle costruzioni in generale. In questo caso occorrono sistemi che evitano o eliminano la condensa. Altri sistemi prevedono il passaggio forzato dell'aria in una serpentina di tubi in pvc interrati, per poi immetterla nell'edificio.

L'energia solare, può essere captata tramite collettori solari o celle fotovoltaiche.

Un impianto solare termico utilizza pannelli solari (detti collettori) all'interno dei quali viene fatta passare l'acqua. Il collettore è composto da lamiere di rame o altri materiali, spesso trattati con una speciale verniciatura o laccatura, sotto ai quali passano tubazioni di rame, attraverso le quali scorre il fluido termovettore che assorbe il calore del sole. Il liquido caldo confluisce in uno scambiatore di calore all'interno di un serbatoio di accumulo, dove scalda l'acqua utilizzata per impieghi domestici o per il riscaldamento.

La tecnologia fotovoltaica, invece, consente di trasformare direttamente l'energia associata alla radiazione solare in energia elettrica. Essa sfrutta il cosiddetto effetto fotovoltaico che è basato sulle proprietà di alcuni materiali semiconduttori che se opportunamente trattati sono in grado di produrre elettricità senza l'uso di alcun combustibile. Infatti, l'effetto fotovoltaico consiste nella generazione di una differenza di potenziale elettrico, grazie all'integrazione di un flusso di energia radiante con la materia.

Infine la tanto discussa energia eolica, dopo aver deturpato diversi contesti paesaggistici, ritrova di nuovo affermazione per ciò che attiene i piccoli impianti domestici. Infatti generatori eolici ad asse verticale, risultano essere sicuramente meno impattanti in quanto le dimensioni ridotte non segnano, in modo innaturale ed evidente, la skyline del paesaggio.

### **2.3 Sistemi e sottosistemi passivi tipici dell'architettura rurale**

Di seguito verranno mostrati, in via del tutto generale, alcuni principali sistemi ed espedienti bioclimatici presenti nelle architetture rurali, sia molisane che dialtri puoghi.

La massa termica - La maggioranza degli edifici rurali esaminati è realizzata in muratura di calcare di notevoli spessori. L'enorme quantità di materiale, quindi, fa sì che l'onda di calore abbia una sfasatura di diverse ore specialmente in estate.

Abitazioni Rupestri - La grotta è sicuramente una tra le prime dimore che l'uomo ha abitato. In questo caso però siamo di fronte a grotte che risultano essere scavate dall'uomo stesso all'interno della roccia. La morgia dei Briganti di Salcito risulta essere stata abitata ben prima del XIX sec. La grande massa termica offerta dalla roccia calcarea, specialmente in estate, risultava un ottimo espediente per evitare la calura, in quanto il calore assorbito praticamente arrivava all'interno in modo molto

attenuato. Viceversa, durante l'inverno, la temperatura delle pareti è sempre superiore a quella dell'aria esterna.



FIG. 2.4 La Morgia dei Briganti a Salcito (CB).

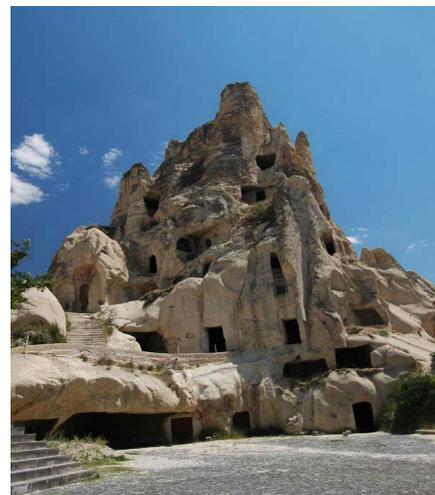


FIG. 2.5 Abitazioni rupestri in Cappadocia.

Tale espediente, forse raro in Molise, ma usuale in altre parti del mondo come la Spagna. In Cappadocia, in Turchia si riscontrano abitazioni rupestri molto simili a quelle della suddetta Morgia.

Le case in terra cruda - Ad esclusione dello strato superficiale, (humus), qualsiasi terra costituita in massima parte da sabbie di varia natura, leggermente argillose e ricche di sostanze colloidali, costituiscono un ottimo materiale da costruzione.

Gli impasti di terra sono assolutamente inerti dal punto di vista chimico; la terra ha una straordinaria inerzia termica che si traduce in grande potere coibente e nella capacità di autoregolazione dell'umidità interna.

#### Tecniche costruttive

- Pisè. All'impasto base di terra e acqua viene aggiunto un materiale con funzione antiritiro, come la paglia, la pula di riso, setole animali. L'impasto può essere compresso e pestato quasi asciutto entro casseforme lignee con l'aiuto di un mazzuolo di 5 kg.
- Adobe Impasto più umido del precedente e spalmato in micro casseforme delle dimensioni di un mattone. E' questo il mattone crudo, la cui posa in opera come un normale laterizio.
- Maltone (omassone) è un impasto molto plastico, tanto da poter essere posto in opera, sempre per filari come nel caso del pisè, ma sottoforma di grossi grumi o "palate", accostati e plasmati direttamente sul posto. Generalmente questa tecnica presenta aggiunte di paglia non triturrata che

sporge dai grumi e pertanto occorre rasare e rifilare la parete appena dopo la posa di uno strato.

Gli accorgimenti costruttivi necessari alla conservazione di queste particolari tipologie sono tre:

1. Eseguire una fondazione con materiale diverso dalla terra;
2. Realizzare il tetto con notevole sporgenza rispetto al contorno delle pareti perimetrali;
3. Realizzare un intonaco non rigido, che possa ben legarsi ad una parete di terra;

Queste case hanno la fondazione che può essere sia in mattoni che in materiale lapideo locale cementati fra loro. Tale fondazione sporge al di sopra del piano di campagna di circa 70 cm e serve come elemento di separazione tra il terreno e la muratura in terra cruda soprastate. Tale barriera serve quindi principalmente ad evitare l'umidità di risalita, oltre ad evitare il contatto con acque di ruscellamento con la parete stessa.



FIG. 2.6 - Casa in terra nelle Marche



FIG. 2.7 - Casa in terra cruda in Abruzzo

L'utilizzo di queste tecniche è relativo a diverse zone d'Italia, principalmente Emilia Romagna e Marche. Anche in Abruzzo, nella provincia di Chieti, ancora è possibile vedere diverse abitazioni in terra. In Molise, invece, allo stato delle conoscenze, non si hanno notizie di case in terra. Tuttavia da una statistica del 1934 del Regio Istituto Centrale di Statistica inerenti lo stato delle case rurali in Italia, mostra come in Molise fossero presenti diverse abitazioni costruite in *“terra, fagliame, ecc.* (domanda di statistica), di cui 227 da demolire, 31 che abbisognavano di grandi riparazioni, 69 con piccole riparazioni, e 136 senza riparazioni. La formulazione della domanda, però,

“terra, fogliame, ecc.” può darsi che abbia portato in errore alcuni medici di allora (compilatori del questionario) che avrebbero potuto indicare anche le “pagliare” come abitazioni in fogliame. Non si hanno a disposizione altri dati per la loro identificazione.

I trulli - Il trullo molisano, completamente diverso dalle note tipologie pugliesi, è costituito da un sistema a *tholos* e si trova ubicato soprattutto nell’alto Molise lungo le direttici tratturali. Non mancano però esempi che adottano la stessa tecnica costruttiva anche in altre parti dell’Europa, come le antiche celle monastiche irlandesi.

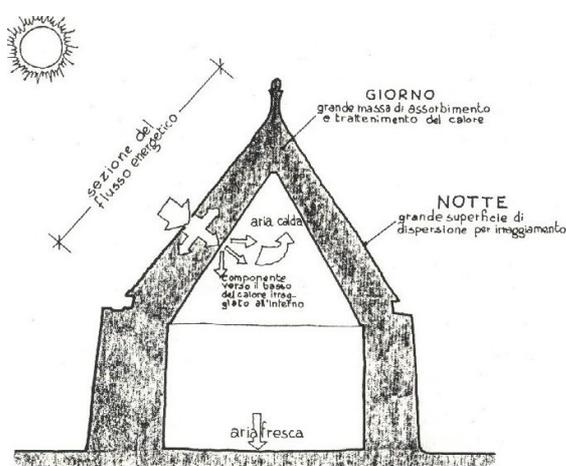


FIG. 2.8 – Schema del trullo



FIG. 2.9 - Trullo molisano, interno della tholos



FIG. 2.10 – Agnone (IS): trullo per ricovero pastorizio



FIG. 2.11 – Tholos irlandese: cella monastica.

Così come il *Nuraghe* sardo o il *DAmmuso* di Pantelleria, il trullo sfrutta l’inerzia termica della massa muraria, di circa 1m di spessore per le pareti e poco meno per il cono, in modo tale da provocare una *smorzatura* ed una *sfasatura* della funzione che esprime la variazione di temperatura. Il meccanismo di termoregolazione si basa sul

fatto che lo spessore del cono, durante il giorno, permette alla muratura di assorbire molto calore e di trattenerlo per poi disperderlo per irraggiamento durante la notte; tale dispersione risulta molto efficace in quanto la superficie esterna del cono é molto estesa. Una parte del calore assorbito dalla muratura di copertura riesce, tuttavia, ad arrivare alla faccia interna e ad irraggiarsi.

Il Portico - Il sistema bioclimatico portico è sicuramente il più utilizzato nell'architettura rurale molisana. Esso serviva soprattutto per eseguire lavori all'asciutto durante i periodi freddi, oltre che come luogo di riparo o di rimessa, nei periodi caldi. Il portico sfrutta, come si vedrà nel seguito, l'apporto solare che scaturisce dagli stessi percorsi solari. Infatti in inverno il sole che si mantiene basso sull'orizzonte penetra in profondità del portico, in estate lo mantiene sempre in ombra. Ovviamente un portico di tipo bioclimatico deve essere orientato a perfettamente a sud. Varie sono le tipologie di portico, quelli realizzati mediante colonne su cui si sovrappone il tetto, a quelli realizzati con arconi nella muratura che aprono verso spazi interni.



FIG. 2.12 – Loc. Castellone, Boiano (CB)



FIG. 2.13 – Torella del Sannio (CB).



FIG. 2.14 – Branello (CB), loc. Largo Zullo.



FIG. 2.15 – Macchia d'Isernia (IS)

La pagliara – Questa costruzione quasi interamente realizzata con materiali vegetali (canne, ristoppie, ecc.) era usata un tempo, soprattutto in estate, per i ripari soggiorni temporanei, cioè durante i periodi in cui si dovevano effettuare le lavorazioni agricole. Se di sistema bioclimatico si può parlare, l'espedito utilizzato per difendersi dal caldo è quello dell'ottimo isolamento termico che i materiali vegetali e legnosi potevano offrire.



FIG. 1.26 – Dipinto Convitto Pagano- CB



FIG. 1.27 Catropignano (CB):Pagliara in costruzione.

Seppure in Molise tale copertura, oggi praticamente introvabile, in altri paesi dell'Europa viene ancora sfruttata efficacemente. Diverse zone dell'Inghilterra e dell'Irlanda presentano ancora i tipici cottage coperti con materiale vegetale. La maestria nell'opera di posa del tetto deve garantire la perfetta impermeabilizzazione, in modo che lo strato vegetale, anche di 50 cm di spessore, deve garantire un ottimo isolamento termico all'edificio sottostante. Ovviamente la manutenzione di un tale sistema costruttivo è abbastanza onerosa.



FIG. 1.18 Cottage irlandese

Le Malghe - Costruzioni tipiche di tutto l'arco Alpino. Tale sistema costruttivo era caratterizzato dal fienile posto in sommità dell'abitazione. Infatti oltre alla corretta conservazione del foraggio in un luogo fresco e ventilato, si realizzava un cappello dotato di un notevole potere isolante. Lo schema è quello riportato nella figura di seguito. Nei territori dell'alto Molise, invece si rilevano sistemi quasi analoghi. Il fienile, a cui si accede dalla parte posteriore, è generalmente sovrapposto a stalle. Il potere isolante in questo modo è sfruttato per il benessere degli animali.

Viceversa in diverse abitazioni rurali erano dotate della stalla al piano terra in modo che il calore sviluppato dagli animali, principalmente bovini, riscaldasse in parte il solaio interposto, in modo che questo si comportasse come un sistema di riscaldamento a pavimento.

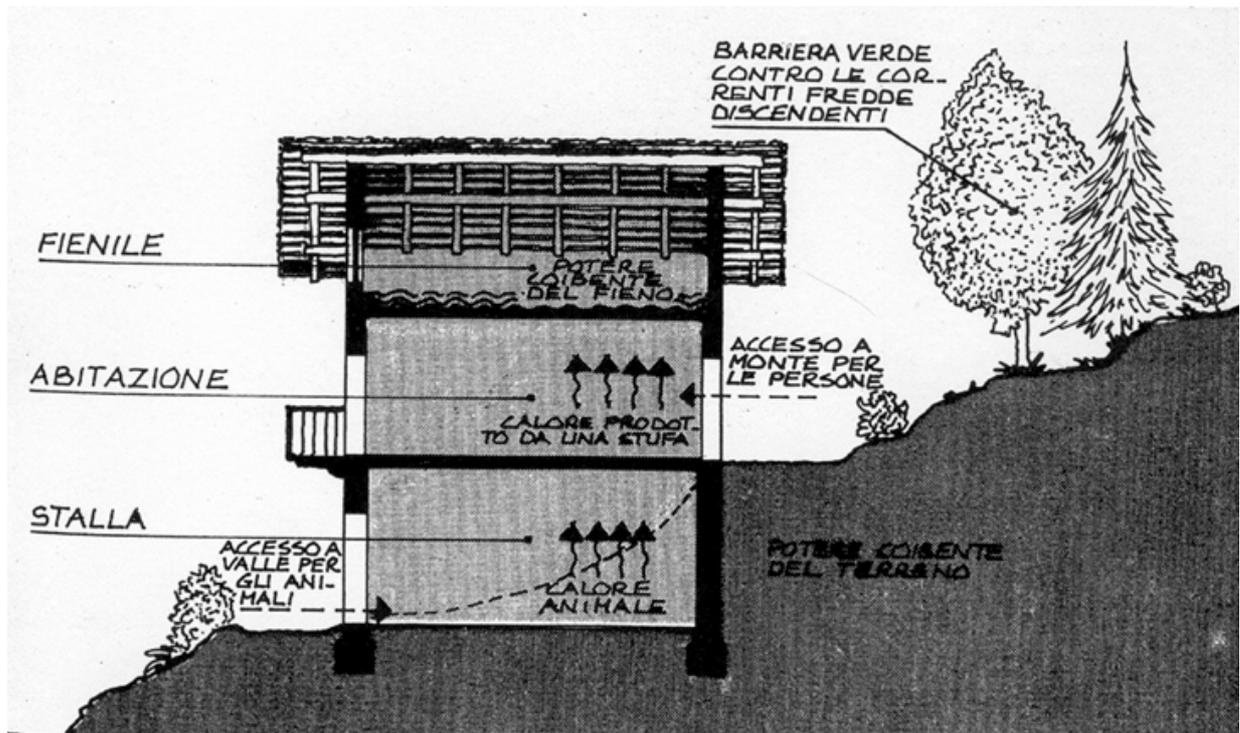


FIG. 2.19 Schema della malga valdostana

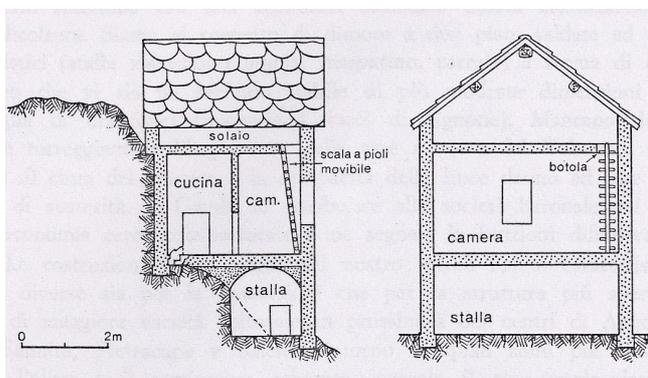


Fig. 1.20 Agnone (IS) – Casa che presenta caratteristiche della malga valdostana.

Sistemi di ventilazione - A Costozza, sulle pendici dei monti Berici, a sud di Vicenza, diverse ville rinascimentali sfruttano il sistema di raffreddamento degli edifici iraniani, con condotti di ventilazione, collegati a cavità sotterranee. Si tratta in parte di caverne naturali e in parte di cantine artificiali (còvoli), la cui temperatura è costante, intorno agli 11-12°C, durante tutto l'anno. L'aria fresca filtra nelle stanze dai pavimenti, attraverso rosoni di marmo traforati. Tale sistema, non risulta, allo stato delle conoscenze attuali, utilizzato in Molise. Tuttavia in diversi fabbricati, rurali e

non, è possibile notare il collegamento verticale con le cantine sottostanti da un foro sul pavimento. Generalmente le cantine coperte con volta, nel punto più alto presentano un foro di aerazione collegato con l'ambiente soprastante. In questo modo si genera un moto convettivo dell'aria verso i piani alti.



FIG. 1.21 – Termoli (CB) Casino Don Guglielmo.

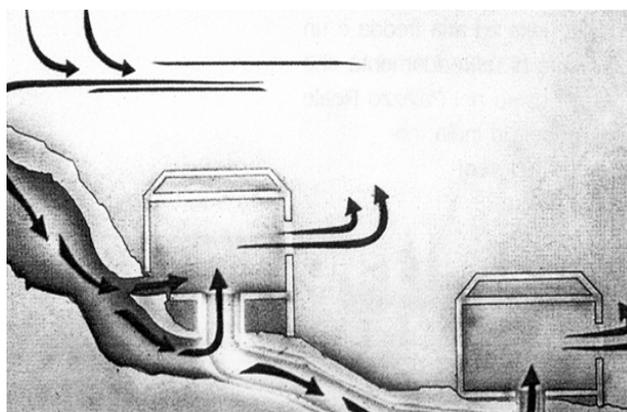


FIG. 1.22 – Costozza (VC): Canali di areazione sotterranei.

Un sistema simile a quello delle torri iraniane è paragonabile la torretta al culmine del tetto del Casino Don Guglielmo a Termoli. L'intenzionalità progettuale di realizzare una torre del vento non è chiaramente dimostrabile, però le diverse aperture sulle facce della torretta possono essere utilizzate come dispositivi di aerazione per la creazione di correnti, ascensionali o discendenti all'interno dell'edificio.

## 2.4 Strategie di recupero

Il riappropriarsi, attraverso lo studio delle forme costruite, della identità, della memoria e delle valenze bioecologiche delle antiche forme architettoniche rurali in generale, e del Molise in particolare, e delle loro potenzialità rappresenta una strategia di recupero di tipo bioclimatico, non solo per il riuso dello stesso patrimonio ma anche per la realizzazione di nuovi assetti insediativi rurali. Il progetto di recupero pertanto verrà indirizzato verso il riuso e il ripristino di tutti i sistemi e sottosistemi bioclimatici appartenenti all'edilizia tradizionale, prevalentemente quella rurale molisana. Altri sistemi, quali quelli attivi, pur sicuramente estranei all'edilizia tradizionale, verranno analizzati per essere inseriti nel contesto rurale nell'ottica della compatibilità architettonica, ambientale e paesaggistica.

### **3 Il clima come elemento di progetto degli edifici**

Lo studio dei sistemi bioclimatici, o comunque il riuso di quelli antichi, presuppone un'attenta analisi, e quindi la conoscenza, delle caratteristiche del microclima locale. In ogni determinato momento il clima si presenta come una combinazione di diversi parametri meteorologici, quali, principalmente, la temperatura dell'aria, la radiazione solare, gli effetti del vento, l'umidità. Difficile risulta il controllo simultaneo di tanti fattori, spesso imprevedibili, per poter definire un metodo di calcolo esatto che tenga conto della reciprocità di detti i fattori climatici ai fini del raggiungimento del comfort ambientale, e che di riflesso, condiziona anche le scelte architettoniche. Di seguito verrà proposto il metodo dell'Olgay per l'individuazione locale delle condizioni di comfort ambientale. Tuttavia, come si vedrà, il problema del reperimento dei dati climatici non sempre risulta di facile attuazione. In letteratura, infatti, si trovano soprattutto dati che risultano essere mediati nell'intero giorno, il quale giorno descrive le condizioni medie nell'intero mese. Si vedrà come la conoscenza dettagliata, soprattutto oraria, di qualsiasi parametro meteorologico risulta indispensabile ai fini di una corretta progettazione bioclimatica.

I dati climatici utilizzati nella ricerca, fondamentalmente, fanno capo alla banca dati dell'ENEA-DBT, nonché al CNR.

#### **3.1 Inquadramento climatico regionale**

I dati climatici utilizzati (fonte ENEA-DBT) sono relativi ad osservazioni effettuate in 10 anni per ciò che riguarda la temperatura ed almeno in 5 anni per ciò che attiene a tutte le altre grandezze meteorologiche.

L'Enea, elaborando i dati climatici, produce dei profili climatici riportati in TAB. 3.1.

Con il termine profilo climatico si intende un numero, normalmente composto di 5 cifre, che riassume il numero complessivo di mesi di ciascun tipo presenti nell'anno: la prima cifra indica il numero di quelli molto freddi, la seconda di quelli freddi, e così via fino ai mesi molto caldi. Pertanto se le prime due cifre risultano essere alte, significa che ci si trova in situazioni climatiche caratterizzate da inverni rigidi; le ultime due cifre alte, invece, indicano estati calde.

Ad esempio al comune di Capracotta è associato un profilo 62400, cioè di sei mesi molto freddi e due freddi, viceversa per il comune di Venafro il profilo climatico corrisponde a 33330, in cui si registrano tre mesi caldi.

	sigla	significato	caratteristiche	Tmax	Media delle temperature massime del mese
1	MFRED	molto freddo	$T_{max} \leq 19\text{ }^{\circ}\text{C}$ $T_{min} \leq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ e/o $T_{med} \leq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$	Tmin	Media delle temperature minime del mese
2	FREDD	freddo	$T_{max} \leq 19\text{ }^{\circ}\text{C}$ $T_{min} > 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ $T_{med} > 10\text{ }^{\circ}\text{C}$		
3	COMFO	confortevole	$19\text{ }^{\circ}\text{C} < T_{max} \leq 27\text{ }^{\circ}\text{C}$	Tmed	Media delle temperature medie del mese
4	CALDO	caldo	$27\text{ }^{\circ}\text{C} < T_{max} \leq 32\text{ }^{\circ}\text{C}$		
5	MCALD	molto caldo	$T_{max} > 32\text{ }^{\circ}\text{C}$		

TAB. 3.1 Classificazione climatica.

Un'altra classificazione, in base al comfort, è chiamata *area climatica*, classificata con un numero ed una lettera: la prima cifra corrisponde al numero di mesi confortevoli, la lettera, invece, invece, risulta essere o una C oppure una F. Si indica la lettera F se la somma dei mesi freddi e molto freddi è superiore a 6, oppure la lettera C se la somma dei mesi caldi o molto caldi è superiore a 6.

Tale classificazione, pertanto, risulta essere una schematizzazione immediata delle caratteristiche climatiche della zona di riferimento.

Ad esempio la sigla 4F significa che i mesi confortevoli sono 4 e che la somma di mesi freddi e molto freddi è superiore a 6; la lettera C indica il caso contrario.

Tale classificazione prescinde da altri parametri climatici per la definizione del comfort ambientale, bensì tiene in considerazione soltanto la temperatura. Per quanto riguarda il Molise è stata elaborata la seguente tabella TAB 3.2 per i comuni per i quali è stato possibile rilevare i dati climatici.

Il profilo climatico di Campobasso è pari a 62400 per cui durante l'anno, mediamente, si registrano 6 mesi molto freddi, 2 freddi, 4 confortevoli e nessun mese caldo o molto caldo, il che corrisponde ad un'area climatica 4F.

Tali dati, però, vanno visti sempre in rapporto alle aree limitrofe perché essendo mediati potrebbero portare anche ad errori. Infatti dalla tabella se si analizzano i dati relativi ai comuni limitrofi a Campobasso, si nota che a Campolieto corrisponde un'area 3F e un profilo 52320, cioè con due mesi caldi, mentre per Guardiaregia, sulle pendici del Matese, area 3F e profilo 43320, si registra un mese freddo in meno di Campobasso. Inoltre il profilo climatico di Campobasso è identico a quello di Capracotta, comune più alto d'Italia a 1421 s.m.l.

Prov	Denominazione	Comune			Gradi-giorni	profilo mensile	classif	area clim
		Lat.	Long.	Altitud				
CB	Campobasso	41°34'	14°40'	701	2346	11123333211	62400	4F
CB	Campolieto	41°38'	14°46'	735	2305	111233443211	52320	3F
CB	Gambatesa	41°31'	14°55'	468	1979	111233443221	43320	3F
CB	Guardiaregia	41°26'	14°32'	730	2316	111233443211	52320	3F
CB	Larino	41°48'	14°55'	341	1605	111234443321	42330	3C
CB	Palata	41°54'	14°47'	520	2016	111233443221	43320	3F
CB	Sant'Elia a Pianisi	41°37'	14°53'	666	2266	111233443211	52320	3F
CB	Termoli	42°00'	15°00'	15	1350	112233443321	33420	4C
CB	Trivento	41°47'	14°33'	599	2140	111233443211	52320	3F
IS	Agnone	41°48'	14°22'	830	2457	111223333211	53400	4F
IS	Capracotta	41°50'	14°16'	1421	4004	111233333211	62400	4F
IS	Chiauci	41°41'	14°23'	868	2495	111233333211	62400	4F
IS	Isernia	41°36'	14°14'	423	1866	111233443211	52320	3F
IS	Roccamandolfi	41°30'	14°21'	850	2560	111223333211	53400	4F
IS	Venafro	41°29'	14°03'	222	1492	112234443321	33330	3C

TAB 3.2- profilo climatico di alcuni comuni molisani.

Tali classificazioni, secondo l'ENEA, servono anche a distinguere il periodo del comfort ambientale dal periodo che necessita di riscaldamento o raffrescamento. In particolare nei mesi freddi o molto freddi occorre riscaldare, viceversa nei mesi caldi o molto caldi. Pertanto Campobasso si rilevano 8 mesi freddi o molto freddi e nessun mese caldo o molto caldo, per Guardiaregia, invece, 7 mesi freddi o molto freddi e 2 mesi caldi o molto caldi. Di tale distinzione si terrà particolare conto nelle successive considerazioni. Nella tabella sono riportati anche i gradi-giorno relativi ad ogni località. I Gradi Giorno (GG) sono dati dalla sommatoria della differenza tra la temperatura ambiente di riferimento (fissata convenzionalmente a 20°C) e la temperatura esterna media del giorno. La rilevazione dei GG estesa al periodo di riscaldamento fornisce un parametro che caratterizza le condizioni climatiche della località considerata. Infatti definiscono l'intensità del periodo freddo in termini di differenza di temperatura e durata. Tali dati sono rilevabili anche dalla norma UNI10349. Si è voluto inoltre mettere in evidenza le zone climatiche, di cui al D.P.R. 412/93, dell'intera regione attraverso una cartografia elaborata con il GIS riporta in FIG. 3.1. Si evidenzia, come già noto, che il Molise sostanzialmente è una regione abbastanza fredda, infatti è privo completamente di zone A e B, ossia di quelle meno fredde. Nella zona C ricadono solo i comuni di Termoli e Campomarino; prevalgono invece le zone D e E, mentre alla F, quella più fredda, appartengono i comuni di Capracotta, Pescopennataro e Vastogirardi.

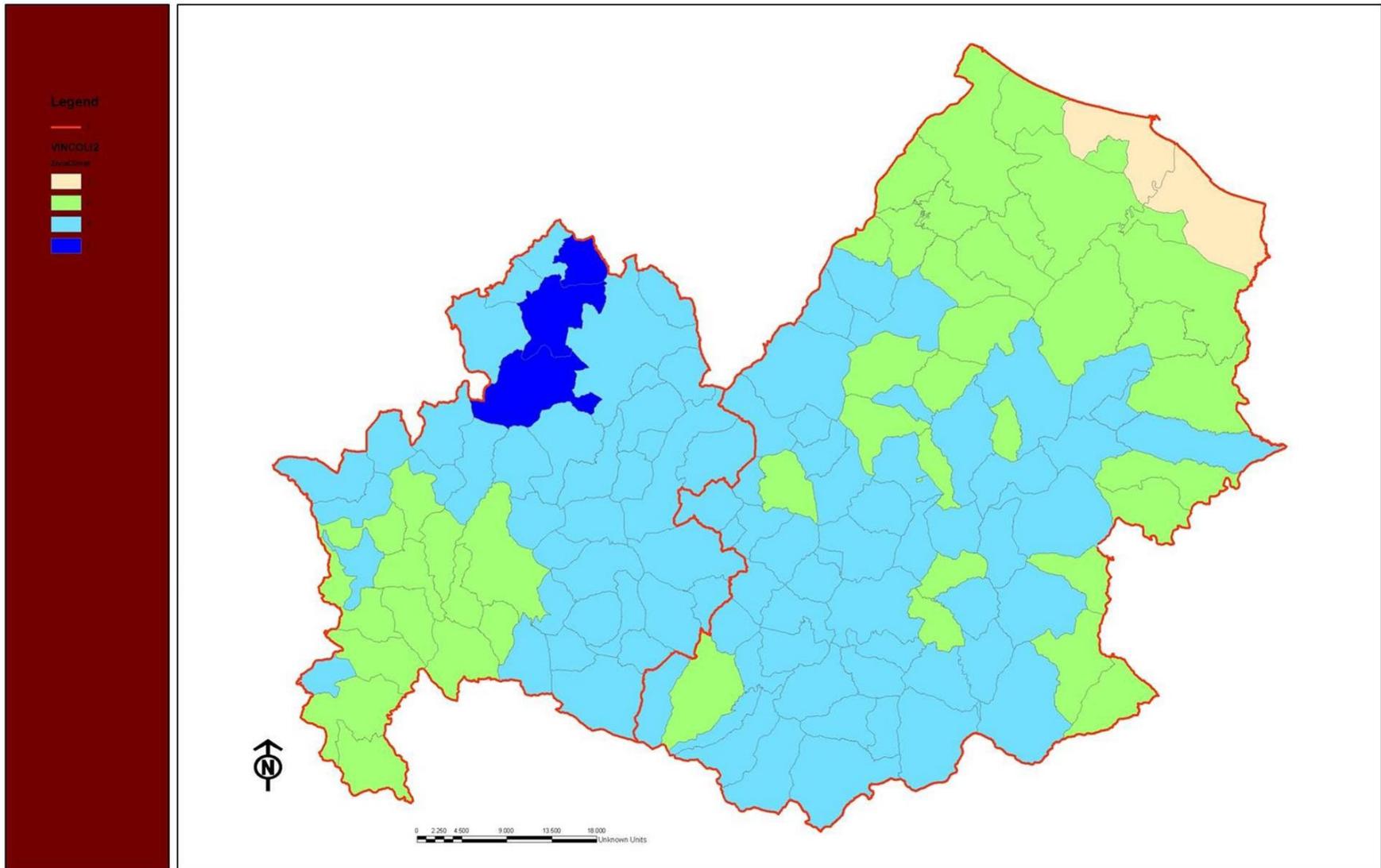


FIG 3.1 – Cartografia delle zone climatiche molisane di cui al D.P.R. 412/93.

La scheda che viene di seguito riportata è la più completa per dati rilevati e si riferisce al comune di Termoli. In essa sono riportati, oltre la temperatura, i dati relativi al vento, all'umidità, alle precipitazioni e alla radiazione .

<b>TERMOLI (CB)</b>		altitudine:	15	m s.l.m.
zona climatica:	C	gradi-giorni:	1350	
località:	capoluogo	altitudine:	16	m s.l.m.
area climatica:	4C	coordinate:	42°0'	15°0'

Profilo climatico					TEMPERATURE MENSILI						
Mese	MFRED	FREDD	COMFO	CALDO	MCALD	MESE	MIN		MAX		MED
							MED	ESTR	MED	ESTR	
1						1	5,7	-0,2	10,7	18,0	8,2
2						2	5,9	0,2	11,3	18,8	8,6
3						3	7,6	2,0	13,3	20,4	10,5
4						4	10,4	5,8	16,5	23,0	13,4
5						5	14,5	9,8	20,6	27,4	17,5
6						6	18,4	13,6	24,3	31,0	21,3
7						7	21,1	16,5	27,2	33,6	24,2
8						8	21,4	16,8	27,4	33,7	24,4
9						9	18,7	14,0	24,7	30,8	21,7
10						10	14,8	10,0	20,4	27,0	17,6
11						11	10,4	4,6	15,7	22,0	13,1
12						12	7,4	2,0	12,5	19,2	9,9
						Anno	13,0	-0,2	18,7	33,7	15,9

MFRED	FREDD	COMFO	CALDO	MCALD
3	3	4	2	0
RISC	6	4	RAFF	2

SOLE E NUVOLE					VENTO					PRECIPITAZIONI			UMIDITA'		
MESE	ELIOF	RADIAZ	NUVOL	GSER	MESE	DIREZ PREV	GVEN	V MED	V MAX	MESE	PRECIP	GPIOV	MESE	UR MIN	UR MAX
1		6,6	7	8	1	NO O	18	6,2	9,7	1	47	6	1	68	88
2		9,8	7	7	2	NO N	18	6,0	9,0	2	27	5	2	67	88
3		14,0	6	11	3	NO N	16	5,6	8,5	3	30	5	3	64	88
4		18,3	6	12	4	NO N	15	5,2	7,7	4	26	5	4	64	89
5		21,8	5	14	5	NO N	12	4,6	6,6	5	21	4	5	66	90
6		23,9	4	18	6	N NO	10	4,4	6,4	6	21	3	6	65	90
7		23,6	2	24	7	N NO	11	4,5	6,5	7	21	3	7	63	89
8		20,5	3	23	8	N NO	12	4,4	6,2	8	29	3	8	64	89
9		15,9	4	17	9	N NO	12	4,5	6,5	9	45	5	9	67	89
10		11,2	5	12	10	NO N	16	4,9	7,1	10	49	6	10	71	89
11		7,1	6	9	11	NO S	16	5,5	8,1	11	52	7	11	72	88
12		5,6	7	9	12	NO O	19	6,2	9,5	12	45	7	12	70	88
Anno		5435	5,2	164	Anno		175	5,2	9,7	Anno	413	59	Anno	63	90

Temperature	°C	GSER	numero di giorni sereni
Radiazione giornaliera	MJ/m <sup>2</sup>	GVEN	numero di giorni ventosi
Eliofania	ore e decimi di ora	GPIOV	numero di giorni piovosi
Nuvolosità	decimi di cielo coperto	Precipitazioni	mm/mese
Velocità	m/s	Umidità relativa	%

TAB 3.3- Dati climatici del comune di Termoli (CB).

### 3.1.1 La temperatura

La grandezza che sicuramente influenza in modo maggiore la sensazione di comfort è la temperatura. Generalmente i dati di temperatura sono sempre mediati nella giornata, e divulgati attraverso 3 dati medi di temperatura : massima, media, e minima mensile, come, ad esempio, si evince dal successivo grafico.

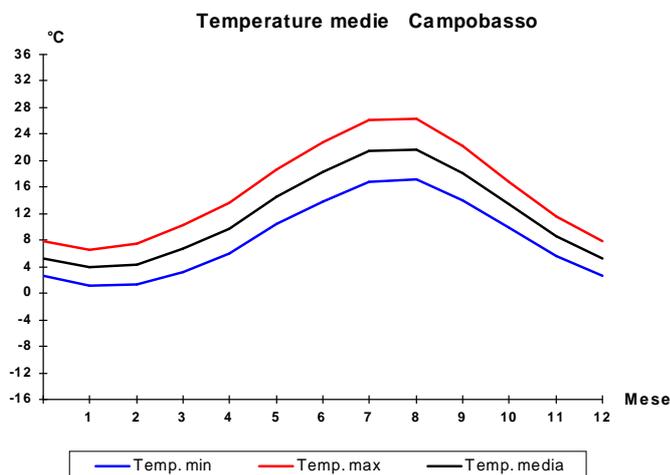


FIG. 3.2 – grafico delle temperature a Campobasso.

Le temperature medie nei mesi estremi e l'escursione termica media mensile (differenza tra il valore massimo e il valore minimo) sono informazioni significative perché descrivono sinteticamente le condizioni climatiche a cui l'edificio deve far fronte in un determinato periodo.

I dati di temperatura media oraria, ovvero l'andamento della temperatura in tutto l'arco di una giornata è ricavabile mediante formule empiriche di cui la seguente è la più utilizzata<sup>1</sup>.

$$t_h = t_m + t_1 \cdot \text{sen} \frac{\pi(h - \Phi)}{12} + t_2 \cdot \text{sen} \frac{\pi(h - \Phi)}{12}$$

dove:

$h$  = ora del giorno

$$\Phi = (h_{\max} + h_{\min}) / 2$$

$$t_2 = \Delta t_m / [2 \cdot (\text{sen} B - 2 \cos B \cdot \tan(B/2))]$$

$$t_1 = 2t_2 \cdot \cos B / \cos(B/2)$$

$$B = \pi(h_{\max} - h_{\min}) / 12$$

<sup>1</sup> In: A. Logora, Architettura e bioclimatica – Esselibri – Napoli 2003

Tenendo conto che in inverno la temperatura massima si registra intorno alle 14 e la minima intorno alle 6 di mattina, e che per l'estate tali valori si spostano, rispettivamente, verso le ore 5 e le ore 15, si possono costruire delle tabelle di variazione oraria per tutto l'anno, come di seguito riportato per la città di Campobasso.

Naturalmente la variazione reale della temperatura in un certo giorno ha un andamento imprevedibile dovuto alle mutazioni improvvise dei fattori meteorologici.

Un interessante modo per descrivere l'andamento della temperatura in una determinata località è quello di rappresentarne la variazione oraria media nei diversi mesi su di un piano cartesiano mediante delle linee congiungenti tutti i punti alla stessa temperatura. Tali linee sono denominate *termoisoplete*.

ANDAMENTO ORARIO DELLA TEMPERATURA ORARIA DA DATI GIORNALIERI													
		GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
Tmax		6,4	7,2	11,7	14,6	19,8	24,7	26,7	24,0	22,5	17,0	11,2	7,8
Tmin		1,1	1,3	3,0	6,0	10,5	13,7	16,8	16,8	13,9	9,9	5,6	2,6
T media		3,75	4,25	7,35	10,30	15,15	19,20	21,75	20,40	18,20	13,45	8,40	5,20
Δtm		5,30	5,90	8,70	8,60	9,30	11,00	9,90	7,20	8,60	7,10	5,60	5,20
OraTmax		14,00	14,00	14,00	14,00	14,00	15,00	15,00	15,00	14,00	14,00	14,00	14,00
Ora Tmin		6,00	6,00	6,00	6,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	6,00	6,00	6,00
	ORA	Tm/oraia											
ORE	1	3,33	3,78	6,66	9,61	12,93	16,25	19,10	18,47	16,15	12,88	7,95	4,79
ORE	2	2,87	3,27	5,90	8,87	12,10	15,31	18,25	17,85	15,38	12,27	7,47	4,33
ORE	3	2,29	2,62	4,95	7,93	11,31	14,49	17,51	17,32	14,65	11,49	6,86	3,77
ORE	4	1,71	1,98	4,00	6,99	10,72	13,91	16,99	16,94	14,11	10,72	6,24	3,20
ORE	5	1,27	1,49	3,28	6,28	10,50	13,70	16,80	16,80	13,90	10,13	5,78	2,77
ORE	6	1,10	1,30	3,00	6,00	10,75	13,94	17,02	16,96	14,13	9,90	5,60	2,60
ORE	7	1,29	1,51	3,31	6,30	11,52	14,67	17,68	17,44	14,84	10,15	5,80	2,78
ORE	8	1,85	2,13	4,23	7,21	12,76	15,87	18,76	18,22	15,99	10,90	6,39	3,33
ORE	9	2,71	3,09	5,65	8,62	14,31	17,44	20,16	19,25	17,43	12,06	7,30	4,18
ORE	10	3,75	4,25	7,35	10,30	15,99	19,20	21,75	20,40	18,97	13,45	8,40	5,20
ORE	11	4,79	5,41	9,05	11,98	17,54	20,96	23,34	21,55	20,41	14,84	9,50	6,22
ORE	12	5,65	6,37	10,47	13,39	18,78	22,53	24,74	22,58	21,56	16,00	10,41	7,07
ORE	13	6,21	6,99	11,39	14,30	19,55	23,73	25,82	23,36	22,27	16,75	11,00	7,62
ORE	14	6,40	7,20	11,70	14,60	19,80	24,46	26,48	23,84	22,50	17,00	11,20	7,80
ORE	15	6,23	7,01	11,42	14,32	19,58	24,70	26,70	24,00	22,29	16,77	11,02	7,63
ORE	16	5,79	6,52	10,70	13,61	18,99	24,49	26,51	23,86	21,75	16,18	10,56	7,20
ORE	17	5,21	5,88	9,75	12,67	18,20	23,91	25,99	23,48	21,02	15,41	9,94	6,63
ORE	18	4,63	5,23	8,80	11,73	17,37	23,09	25,25	22,95	20,25	14,63	9,33	6,07
ORE	19	4,17	4,72	8,04	10,99	16,60	22,15	24,40	22,33	19,54	14,02	8,85	5,61
ORE	20	3,89	4,40	7,57	10,52	15,95	21,16	23,51	21,68	18,94	13,63	8,54	5,33
ORE	21	3,77	4,27	7,38	10,33	15,40	20,17	22,63	21,04	18,43	13,47	8,42	5,22
ORE	22	3,75	4,25	7,35	10,30	14,90	19,20	21,75	20,40	17,97	13,45	8,40	5,20
ORE	23	3,73	4,23	7,32	10,27	14,35	18,23	20,87	19,76	17,46	13,43	8,38	5,18
ORE	24	3,61	4,10	7,13	10,08	13,70	17,24	19,99	19,12	16,86	13,27	8,26	5,07

TAB 3.4- Andamento teorico della temperatura media oraria nel comune di Campobasso.

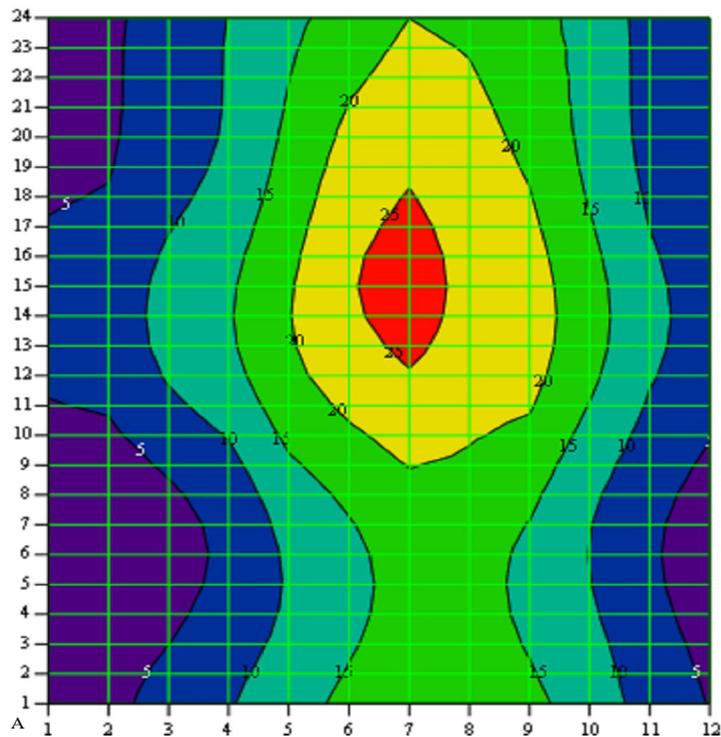


FIG. 3.3 Diagramma delle Termoisoplete per Campobasso:  
In ascissa sono leggibili i mesi, in ordinata le ore.

### 3.1.2 Il soleggiamento

Per quanto riguarda i dati relativi alla radiazione solare globale (incidente su piano orizzontale) provengono da elaborazioni ed osservazioni del satellite Metosat, e risultano essere mediati sull'intera giornata. Tali dati presentano delle forti approssimazioni dovute alle modalità di rilevamento e di elaborazione infatti se si confrontano i valori sulla costa con quelli all'interno della Regione non differiscono di molto, quando si sa che le condizioni di copertura del cielo sono ben diverse dalla costa all'interno, specialmente in inverno.

Nelle analisi energetiche, nel calcolo della radiazione solare incidente su una superficie comunque inclinata vengono utilizzati i dati medi orari di radiazione globale

Le due immagini seguenti rappresentano l'elaborazione cartografica della distribuzione della radiazione globale al suolo ottenuta dalle osservazioni del satellite Meteosat.

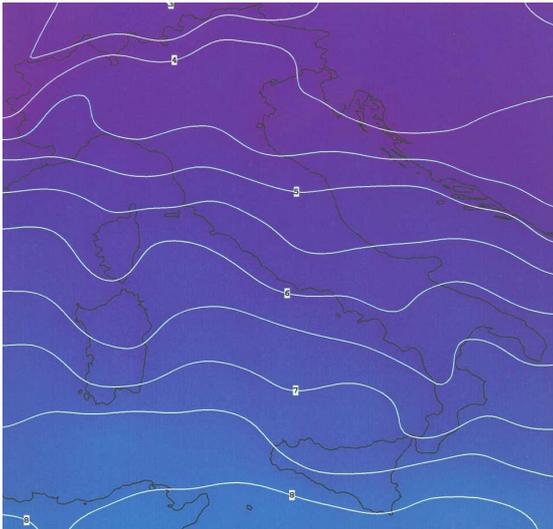


FIG. 3.4 - Radiazione solare globale in gennaio

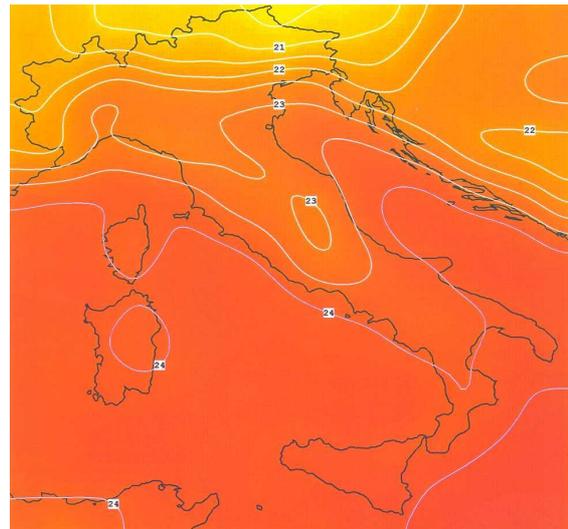


FIG. 3.5 Radiazione solare globale in giugno

L'unità di misura usata nella rappresentazione cartografica è il flusso di energia che raggiunge una superficie espresso in MJ/m<sup>2</sup> ovvero in kWh/m<sup>2</sup> (1 kWh/m<sup>2</sup> = 3,6 MJ/m<sup>2</sup>) Per esempio, per i valori giornalieri:

$$\bar{H}_{gm} \left[ \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{giorno}} \right] = \frac{1}{3.6} \bar{H}_{gm} \left[ \frac{\text{MJ}}{\text{m}^2 \cdot \text{giorno}} \right]$$

### 3.1.3 Il vento

I dati relativi al vento, che si sono analizzati nel corso della ricerca, provengono dall'archivio climatico DBT dell'ENEA, che a loro volta derivano da elaborazioni delle stazioni di rilevamento agrometeorologiche dell'UCEA.

Le grandezze che individuano il vento sono la direzione D da cui esso spira e la velocità V; affinché un'osservazione del vento sia significativa, è necessario misurare detta coppia di valori simultaneamente. La direzione è classificata mediante 8 direzioni principali: N, NE, E, SE, S, SW, W, NW, mentre la velocità V (misurata con l'anemometro, ed espressa in km/h o m/s) viene descritta dalla scala di Beaufort per la classificazione della forza del vento in 13 gradi, come dalla tabella riportata di seguito.

<b>grado</b>	<b>velocità (km/h)</b>	<b>tipo di vento</b>	<b>velocità (nodi)</b>	<b>caratteri</b>	<b>velocità (m/s)</b>
<b>0</b>	0 - 1	<b>calma</b>	0 - 1	il fumo ascende verticalmente; il mare è uno specchio.	< 0.3
<b>1</b>	1 - 5	<b>bava di vento</b>	1 - 3	il vento devia il fumo; increspature dell'acqua.	0.3 - 1.5
<b>2</b>	6 - 11	<b>brezza leggera</b>	4 - 6	le foglie si muovono; onde piccole ma evidenti.	1.6 - 3.3
<b>3</b>	12 - 19	<b>brezza</b>	7 - 10	foglie e rametti costantemente agitati; piccole onde, creste che cominciano ad infrangersi.	3.4 - 5.4
<b>4</b>	20 - 28	<b>brezza vivace</b>	11 - 16	il vento solleva polvere, foglie secche, i rami sono agitati; piccole onde che diventano più lunghe.	5.5 - 7.9
<b>5</b>	29 - 38	<b>brezza tesa</b>	17 - 21	oscillano gli arbusti con foglie; si formano piccole onde nelle acque interne; onde moderate allungate.	8 - 10.7
<b>6</b>	39 - 49	<b>vento fresco</b>	22 - 27	grandi rami agitati, sibili tra i fili telegrafici; si formano marosi con creste di schiuma bianca, e spruzzi.	10.8 - 13.8
<b>7</b>	50 - 61	<b>vento forte</b>	28 - 33	interi alberi agitati, difficoltà a camminare contro vento; il mare è grosso, la schiuma comincia ad essere sfilacciata in scie.	13.9 - 17.1
<b>8</b>	62 - 74	<b>burrasca moderata</b>	34 - 40	rami spezzati, camminare contro vento è impossibile; marosi di altezza media e più allungati, dalle creste si distaccano turbini di spruzzi.	17.2 - 20.7
<b>9</b>	75 - 88	<b>burrasca forte</b>	41 - 47	camini e tegole asportati; grosse ondate, spesse scie di schiuma e spruzzi, sollevate dal vento, riducono la visibilità.	20.8 - 24.4
<b>10</b>	89 - 102	<b>tempesta</b>	48 - 55	rara in terraferma, alberi sradicati, gravi danni alle abitazioni; enormi ondate con lunghe creste a pennacchio.	24.5 - 28.4
<b>11</b>	103 - 117	<b>fortunale</b>	56 - 63	raro, gravissime devastazioni; onde enormi ed alte, che possono nascondere navi di media stazza; ridotta visibilità.	28.5 - 32.6
<b>12</b>	oltre 118	<b>uragano</b>	64 +	distruzione di edifici, manufatti, ecc.; in mare la schiuma e gli spruzzi riducono assai la visibilità.	32.7 +

TAB 3.5- Classificazione del vento.

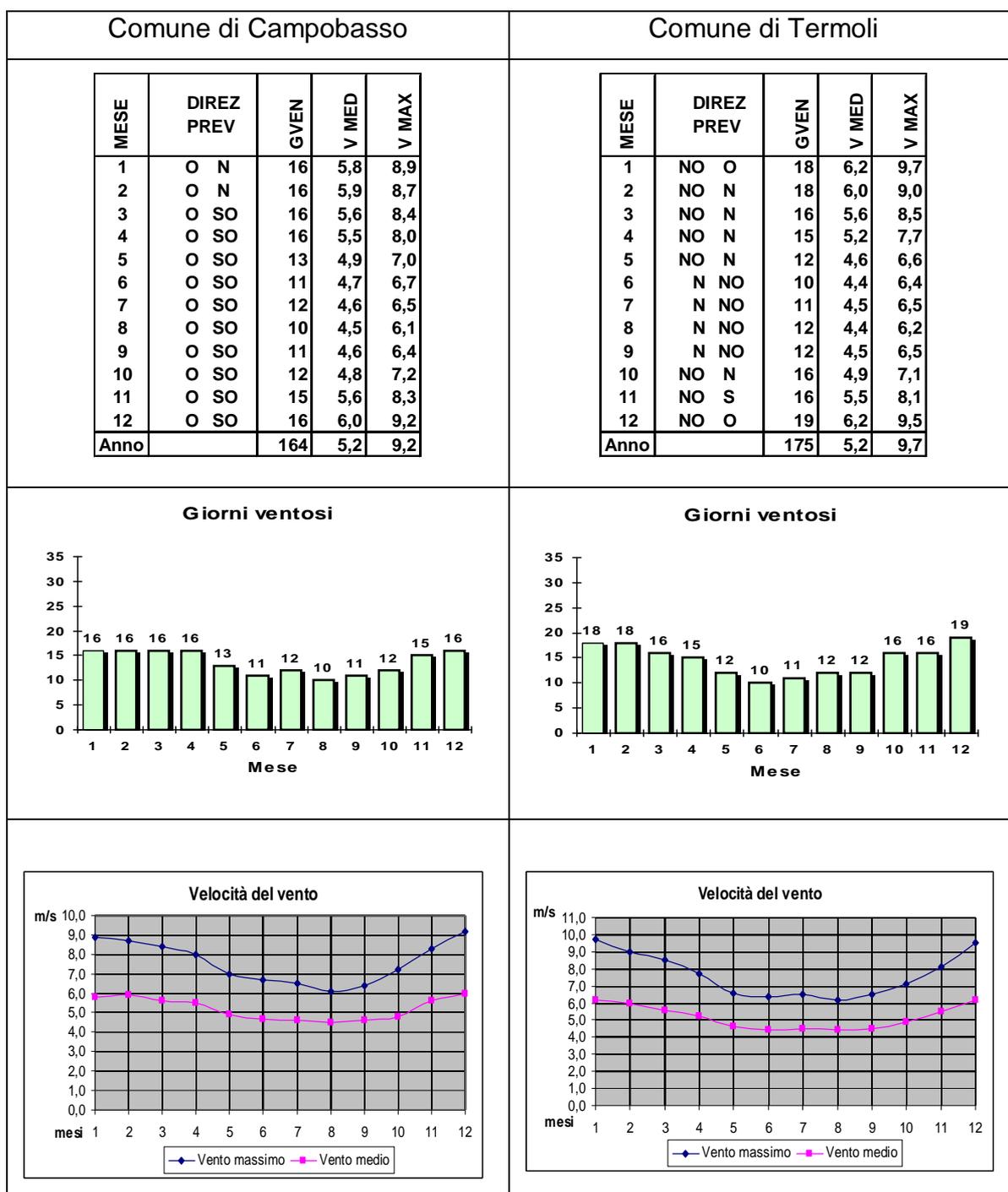
Si riportano, inoltre, la nomenclatura secondo la consueta rosa dei venti:

<b>direzione</b>	<b>vento</b>	<b>simbolo internazionale</b>
<b>NORD</b>	tramontana	N
<b>NORD-EST</b>	greco o grecale	NE
<b>EST</b>	levante	E
<b>SUD-EST</b>	scirocco	SE
<b>SUD</b>	mezzogiorno o ostro	S
<b>SUD-OVEST</b>	libeccio o garbin	SW
<b>OVEST</b>	ponente o esero	W
<b>NORD-OVEST</b>	maestro o maestrale	NW

TAB 3.6- Nomenclatura dei venti.

Nelle tabelle ENEA-DBT si possono leggere i dati giornalieri medi mensili relativamente, alla direzione, alla velocità media e massima del vento, nonché i giorni ventosi. Questi ultimi rappresentano mediamente i giorni mensili in cui la velocità del vento supera 3,3 m/s. Per quanto riguarda la direzione vengono fornite due direzioni di provenienza più frequenti in ciascun mese.

I dati rintracciati, però risultano essere disponibili solo per i comuni di Campobasso e Termoli, rappresentati in tabella e in grafico.



TAB 3.7- Condizioni annuali medie di vento a Termoli (CB) e Campobasso.

I dati rilevati mostrano comunque una presenza abbastanza rilevante di giorni ventosi. La direzione prevalente è quella sud-ovest (libeccio) per l'area interna, quella di nord-ovest (maestrale) risulta essere prevalente sulla costa.

### **3.2 Le condizioni di confort ambientale e il diagramma bioclimatico dell'Olgay**

Il confort può essere definito come una sensazione di completo benessere fisico nei confronti dell'ambiente circostante. Le condizioni di confort possono variare da persona a persona, in quanto tra di esse esistono differenze biologiche, fisiche ed emotive. Da non tralasciare è sicuramente l'aspetto dovuto all'adattamento all'ambiente in cui si vive normalmente. Infatti un individuo che normalmente vive nei climi freddi, ad esempio nei paesi scandinavi, non avrà certo la stessa sensazione del freddo rispetto ad un individuo che vive in Italia. Viceversa la sensazione di disagio dovuta al surriscaldamento è vissuta diversamente da un individuo che normalmente vive nelle regioni tropicali.

Pertanto nello studio finalizzato alla ricerca del confort ottimale relativo ad un contesto ambientale, occorre considerare il bilancio e gli scambi termici del corpo umano.

Il corpo umano, attraverso il metabolismo, produce calore che viene continuamente smaltito in quanto il corpo umano è un sistema che lavora a temperatura costante. Le vie attraverso cui l'organismo scambia calore con l'ambiente sono: scambio per convezione, scambio per irraggiamento, scambio di lavoro meccanico e infine lo scambio termico dovuto all'evapotraspirazione. In condizioni di equilibrio termico con l'ambiente la somma dei singoli fattori di scambio risulta essere nulla.

I fattori che sostanzialmente modificano e determinano le condizioni di confort ambientale sono: la temperatura dell'aria, la temperatura media radiante, la velocità dell'aria, l'umidità, l'attività fisica, il tipo di abbigliamento. Ne consegue quindi che la situazione ottimale di benessere ambientale è una combinazione di sei fattori, pertanto non è unica in quanto al variare di un fattore comporta simultaneamente, e necessariamente, la variazione di almeno un altro fattore.

*La temperatura dell'aria* di un ambiente costituisce il più e immediato e semplice parametro di sensazione di caldo e di freddo. Essa viene misurata tramite un termometro a bulboasciutto. Da tener presente che la temperatura dell'aria cambia

con l'altezza, cioè l'aria si presenta stratificata a con diverse temperature. Infatti i dati climatici di temperatura rilevata sono associati sempre all'altezza del rilievo.

*La temperatura media radiante (MRT)*, invece, è quella temperatura uniforme alla quale una superficie nera potrebbe irradiare con intensità uguale a quella media osservata. Ai fini pratici la temperatura media radiante di un ambiente corrisponde alla media ponderata, in base all'estensioni delle superfici, delle temperature di ogni superficie.

*La velocità dell'aria*, invece, può provocare un maggior o minor scambio di calore attraverso l'evapotraspirazione a secondo della temperatura e dell'umidità.

*L'umidità*, generalmente per i fini applicativi, è espressa in umidità relativa cioè il rapporto percentuale fra la quantità di vapor acqueo presente nell'aria e la quantità che, alla stessa temperatura, sarebbe necessaria perchè il vapore condensi. Le condizioni ambientali esterne di temperatura e umidità, nel corso di un intero giorno, sono legate in modo che l'umidità relativa massima si rileva quando la temperatura risulta essere minima, viceversa la percentuale di umidità relativa minima si verifica in corrispondenza della temperatura massima.

*L'attività fisica* o metabolica di una persona viene espressa in MET che corrisponde a 58 W/mq, ossia a 50kcal/hmq. Come ordine di grandezza 1 met corrisponde al lavoro d'ufficio, 2 met ad una camminata, 3 met fare ginnastica, 4 met lavoro pesante con sollevamento di pesi.

*Il tipo di abbigliamento*, infine, rappresenta un ostacolo, cioè si comporta da isolante, al flusso di calore che il corpo umano scambia con l'ambiente circostante. Il valore della resistenza termica viene misurato con un parametro dimensionale, quale il CLO che corrisponde ad una resistenza termica di 0,155 mqC°/W. Ovviamente il valore di CLO per il corpo umano è zero, 0,5 clo per un abbigliamento estivo, 1,5 clo per una tenuta tradizionale da lavoro.

Al fine di correlare tra loro tutti i suddetti fattori che influiscono sul confort ambientale, si utilizzano sia indici termici che diagrammi.

Esistono sostanzialmente due tipi di diagrammi rispettivamente messi a punto da V.Olgyay e B.Givoni.

In questo studio verrà usato prevalentemente il diagramma bioclimatico dell'Olgyay, molto adatto per le condizioni invernali, nonché utile per l'inquadramento clima-confort in un luogo non troppo esteso.

Il diagramma psicrometrico di Givoni, utile soprattutto per la progettazione di componenti attivi dell'organismo edilizio, quali impianti a pompa di calore, raffrescamento, ecc, verrà analizzato in una fase successiva.

Il diagramma bioclimatico dell'Olgay, oggi un po' diverso dalla versione originale degli anni '80, prende in considerazione due fattori: l'umidità relativa (in ascissa) e la temperatura a bulbo secco (in ordinata).

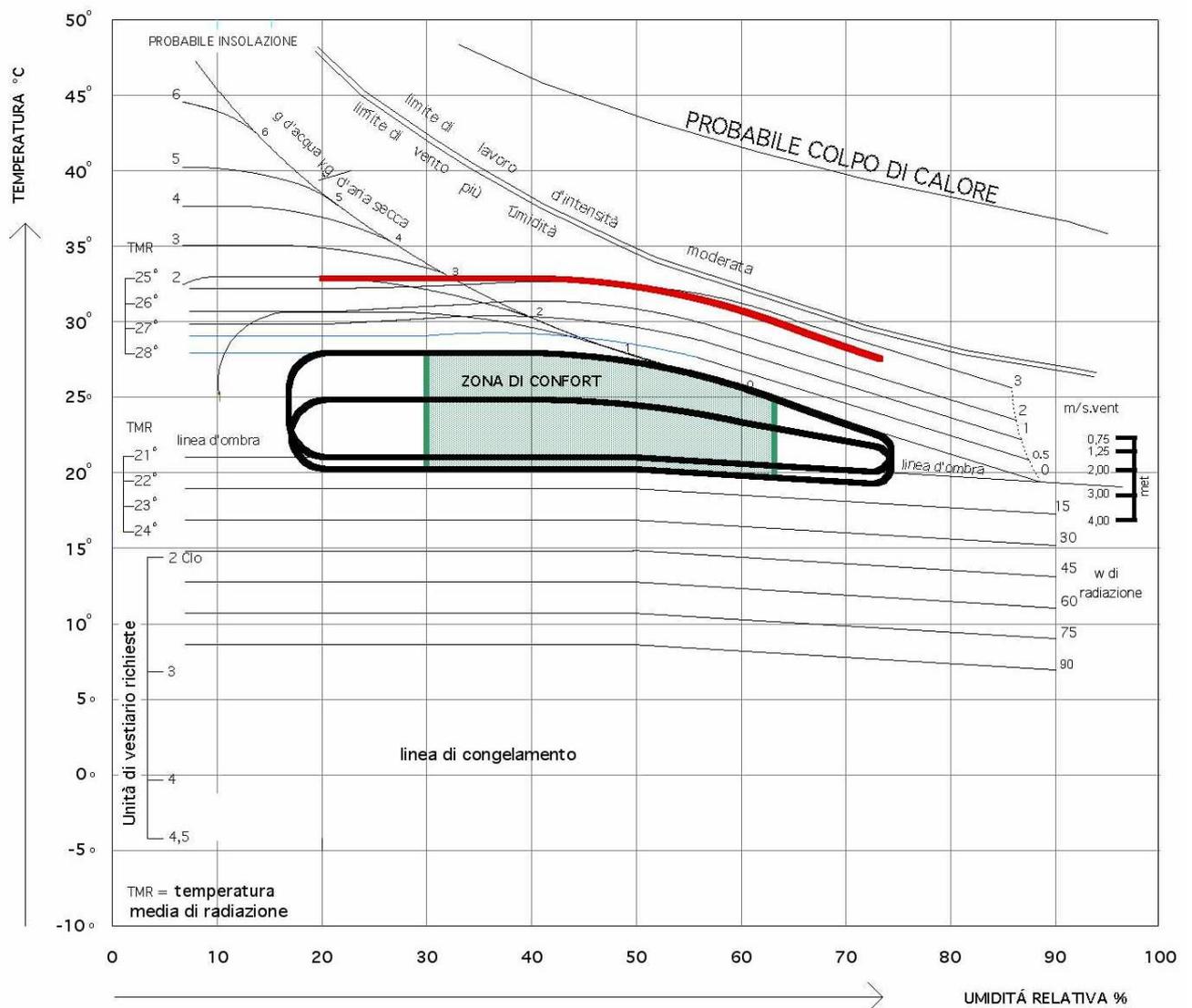


FIG. 3.6- Diagramma bioclimatico dell'Olgay.

Le zone di confort estivo e invernale sono rappresentate, relativamente, dal primo fuso e dal secondo, in particolar modo per la zona retinata.

Altre informazioni leggibili sul diagramma, sono la linea d'ombra (alla base della zona di confort estiva), la linea di congelamento a 0 C°, la linea del colpo di calore oltre la

quale la vita umana praticamente risulta impossibile, la linea del vapor d'acqua oltre la quale non serve inumidire l'ambiente.

Tale diagramma è costruito in modo che inserito il punto relativo alle condizioni di temperatura e di umidità di riferimento, si possono leggere tutti gli altri parametri, in quel punto, affinché siano rispettati le condizioni di confort ambientale. Le linee estreme relative ad ogni parametro rappresentano quindi le condizioni oltre le quali non è più raggiungibile la sensazione di confort. La seguente figura mostra chiaramente come le condizioni di confort sono legate, e quindi ottenibili, dal diagramma bioclimatico dell'Olgay.

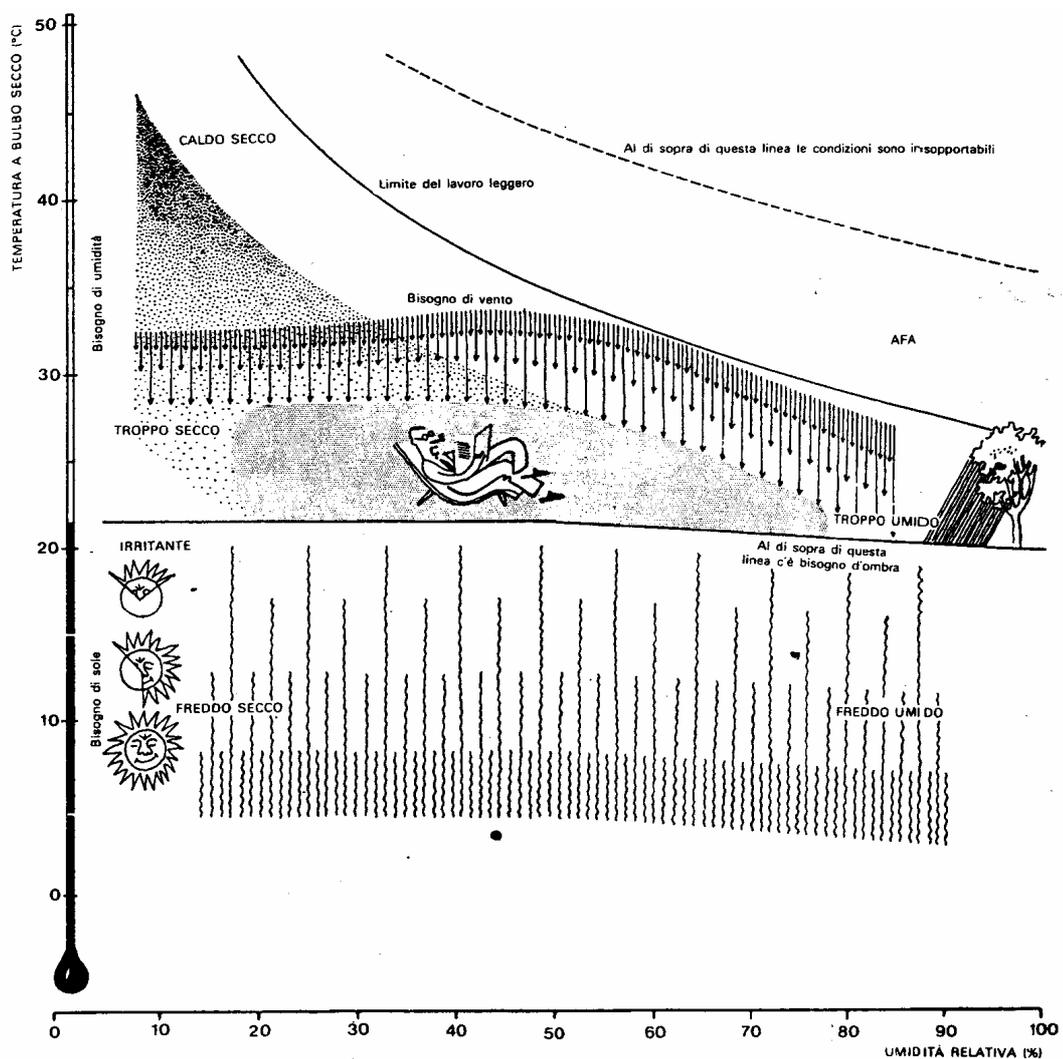


FIG. 3.7- Diagramma bioclimatico dell'Olgay in forma classica.

IL diagramma dell'Olgay, inoltre, è un utile strumento per relazione i parametri climatici di temperatura e umidità di una certa zona con le condizioni di confort, cioè risulta applicabile a larga scala, in una zona non troppo ampia in cui i fattori orografici non influiscano di molto sul microclima.

Infatti se si avessero a disposizione i dati giornalieri medi orari mensili di temperatura e umidità si potrebbe costruire una curva chiusa su detto diagramma e vedere in ogni mese se si raggiungono le condizioni di confort, o come fare per ottenerle.

Tuttavia non avendo a disposizione tali dati, si può avviare alla rappresentazione con la curva chiusa (così come si evince dalla letteratura in merito) optando per un segmento i cui estremi corrispondono alle coppie  $(T_{max}, U\%_{min})$  e  $(T_{min}, U\%_{max})$ . Con tale sistema si sono costruiti i due diagrammi riportati di seguito.

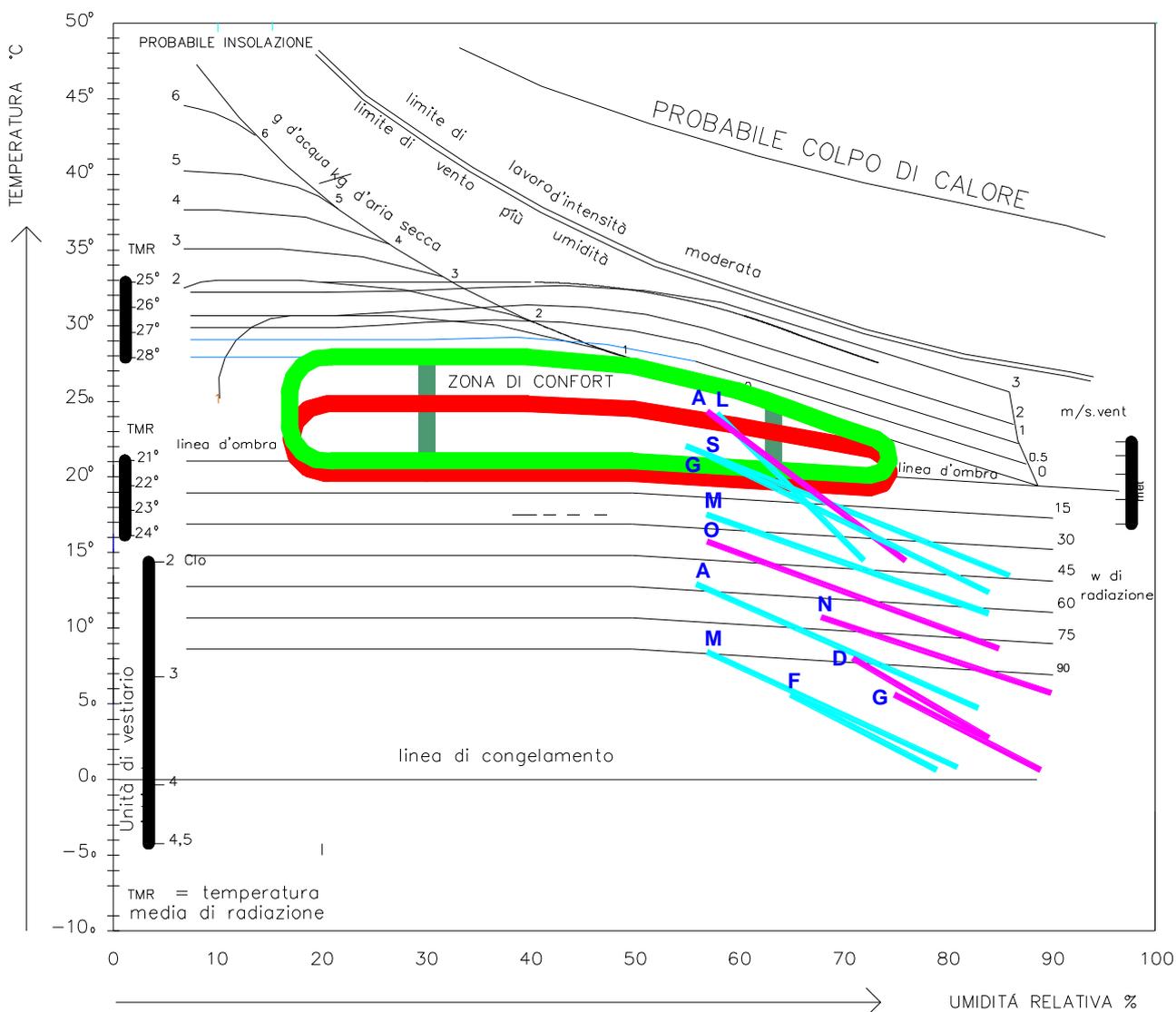


FIG 3.8- Valutazione delle condizioni di confort ambientale a Campobasso.

Il diagramma soprariportato è relativo al comune di Campobasso e costruito tramite la bancadati del CNR. Tali dati rappresentano i dati medi mensili, perciò anche nei mesi invernali le temperature non scendono oltre lo 0°C, quando è normale che la temperatura scenda oltre lo zero in diversi giorni. Tuttavia si nota che in diversi giorni

le condizioni ambientali sono decisamente drastiche in cui non si possono raggiungere le condizioni di confort in quanto si va oltre i 90 W per la radiazione solare, occorre solamente usare un abbigliamento con CLO compreso tra 3 e 4.

Diversa è la situazione sulla costa, precisamente il seguente diagramma è relativo al comune di Termoli. (Baca dati ENEA-DBT)

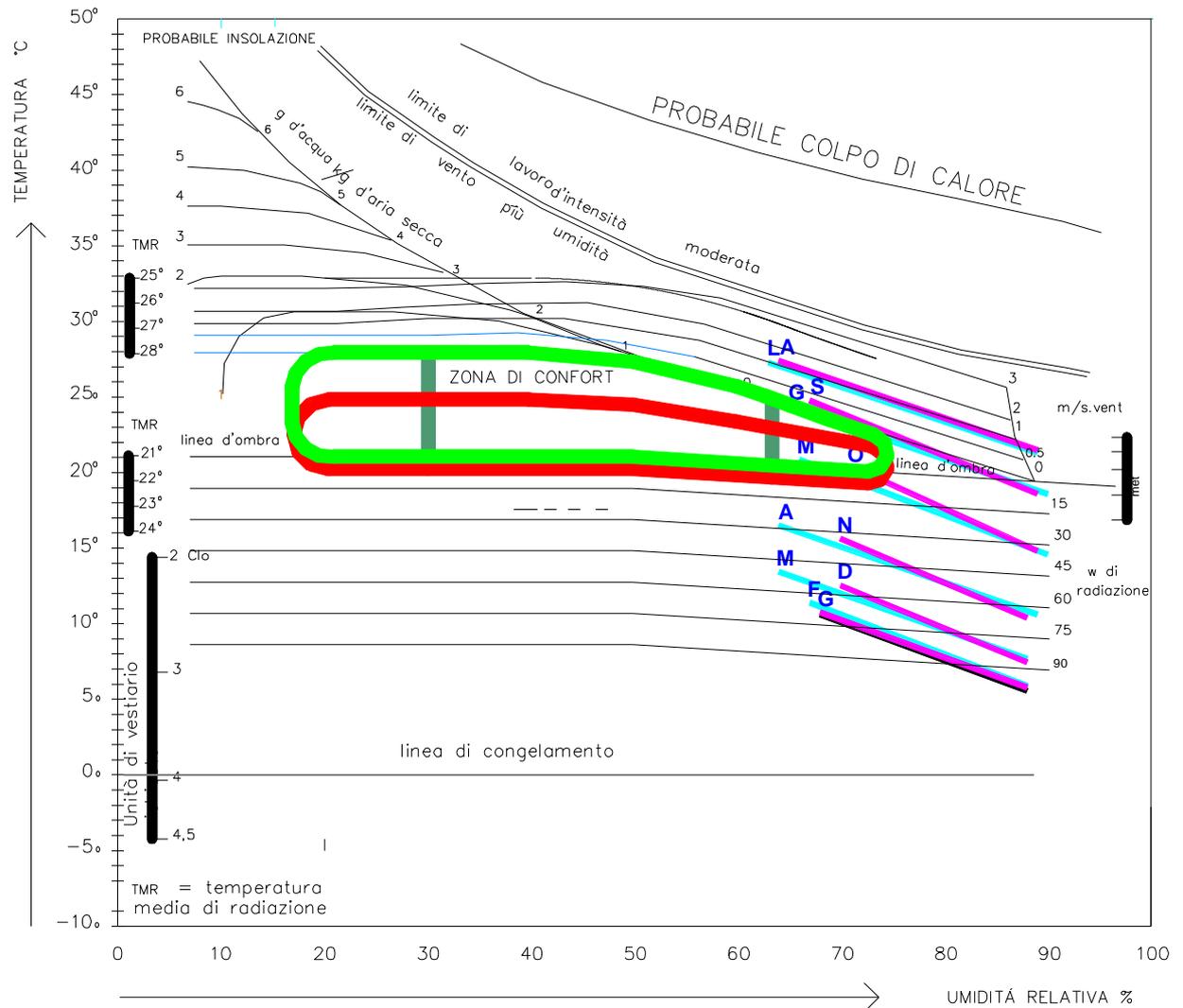


FIG 3.9- Valutazione delle condizioni di confort ambientale a Termoli.

Nel comune di Termoli si nota come le condizioni di confort, mediamente, si possono raggiungere nel periodo invernale. E' da notare invece che in estate, da giugno a settembre, per raggiungere le condizioni di confort è necessaria una certa ventilazione.

## 4 Studio dei percorsi solari

L'importanza dello studio dei percorsi solari risulta essere la base di partenza per qualsiasi applicazione di tipo bioclimatico. L'alternarsi delle stagioni, come è noto, equivale ad una variazione delle ore di luce, ossia di eliofania, nell'arco di una giornata. Tali variazioni sono dovute alle diverse traiettorie, che un osservatore posto sulla terra, vede descrivere dal Sole durante le stagioni. In particolare, come si vedrà nel seguito, durante l'inverno la massima elevazione del sole sull'orizzonte risulta essere minore che durante l'estate. La conoscenza del soleggiamento pertanto consentirà di calcolare la radiazione solare su una superficie di riferimento, oltre che determinare la scelta tipologica di alcuni subsistemi bioclimatici di tipo attivo o passivo.

### 4.1 Analisi e Calcolo dei percorsi solari

Il movimento di rivoluzione della terra intorno al sole avviene lungo una traiettoria ellittica con i due fuochi abbastanza vicini tale che se nei calcoli si considera la traiettoria circolare si commette un'approssimazione accettabile e comunque con un errore non superiore al 3%.

Il piano a cui appartiene detta traiettoria, e ovviamente passante anche per il centro del sole, è detto Piano dell'eclittica. Durante il moto di rivoluzione della Terra intorno al Sole il piano equatoriale terrestre non è generalmente coincidente con quello dell'eclittica, questo significa che l'asse terrestre non è perpendicolare a detto piano. L'angolo che forma il piano equatoriale terrestre con la congiungente dei due baricentri del sole e della terra è detto *declinazione solare*.

La declinazione  $d$  può essere calcolata, con sufficiente approssimazione considerando la traiettoria della terra circolare, mediante la seguente relazione:

$$d = 23,45 \cdot \sin \left[ \frac{360}{365} \cdot (g + 284) \right]$$

dove  $g$  esprime il numero progressivo del giorno in esame a partire dal 1° gennaio.

Ci sono quattro condizioni particolari riferite al precedente moto riportate nella seguente tabella TAB. 4.1.

	Equinozio di primavera	Solstizio d'estate	Equinozio d'autunno	Solstizio d'inverno
data	21 marzo	21 giugno	21 settembre	21 dicembre
declinazione	0°	+23° 27'	0°	-23° 27'

TAB. 4.1 – Declinazione solare agli equinozi e ai solstizi.

Dalla tabella si evince che la declinazione varia giorno per giorno e da un minimo di 0° passa, in valore assoluto, ad un massimo di 23°27'. Dalla figura seguente discendono diverse considerazioni.

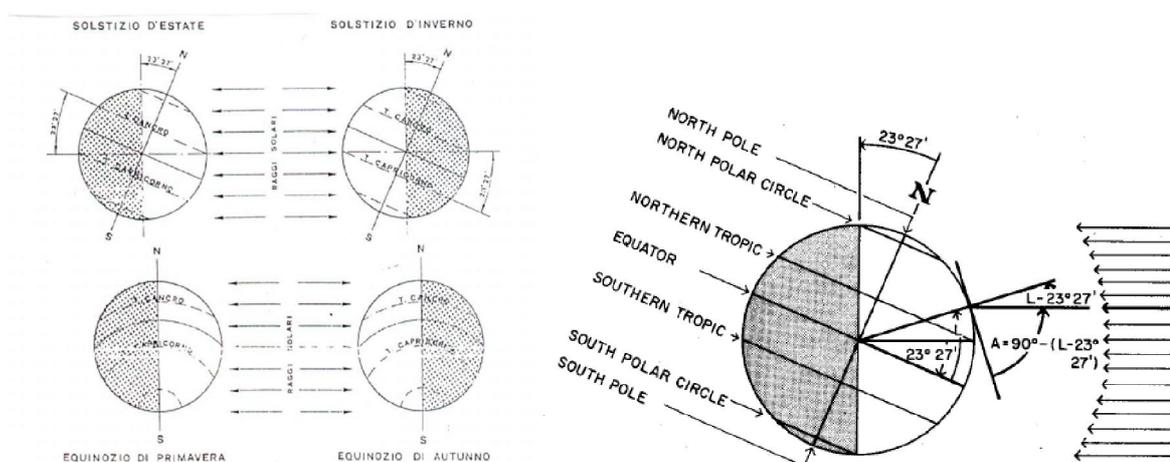


FIG 4.1- Variazione della declinazione solare.

Innanzitutto vediamo che al disopra della latitudine di 23°27' e al disotto di -23°27' il sole arriva allo zenit con un'elevazione sempre inferiore a 90°.

Tali due latitudini rappresentano il parallelo di separazione, rispettivamente il tropico del cancro ed il tropico del capricorno.

Inoltre è chiaramente evidente la fascia del circolo polare artico e antartico rispettivamente di latitudine +66°33' e -66°33', fascia che resta sempre illuminata o oscurata in determinati periodi di tempo.

In Italia è estate quando l'emisfero nord è rivolto verso il sole, cioè quando la declinazione è positiva, e l'angolo massimo di elevazione del sole rispetto al piano orizzontale per un determinato punto cresce fino al solstizio d'estate (21 giugno) per poi decrescere fino ad un minimo corrispondente al solstizio d'inverno (21 dicembre).

Per determinare l'angolo massimo, in assoluto, di elevazione del sole in un qualsiasi punto P occorre far riferimento al seguente schema. (Si noti che l'approssimazione di

considerare i raggi solari paralleli è dovuta alla notevole distanza terra-sole rispetto al diametro della terra).

Nel giorno del solstizio d'estate un osservatore posto sul tropico del cancro vedrà che il massimo angolo di elevazione del sole è  $90^\circ$ . L'osservatore nel punto P, invece, vedrà il sole raggiungere un'altezza angolare  $\beta = 90^\circ - (\lambda - 23^\circ 27')$  =  $113^\circ 27' - \lambda$ , dove  $\lambda$  indica la latitudine geografica.

Questo valore in un luogo al di fuori della fascia tropicale rappresenta la massima altezza angolare che il sole può raggiungere.

Per Campobasso ( $\lambda = 41^\circ 33'$ ) l'elevazione massima del sole è di  $71^\circ 54'$ .

Quando il sole attraversa il piano meridiano passante per il punto P in esame, si dice che il sole è allo zenit, ossia raggiunge la massima elevazione in quel giorno. A tale evento sono associate due proprietà:

- per un fatto geometrico, il sole si trova perfettamente allineato in direzione sud rispetto ad un osservatore nel punto P. Ciò equivale a dire che l'ombra di un'asta (gnomone) individua la direzione nord-sud e il sud corrisponde alla base dell'asta.
- l'istante di tempo corrispondente allo zenit è il mezzogiorno solare, diverso dal mezzogiorno dell'orologio (orario civile convenzionale).

Per poter passare dall'orario convenzionale a quello solare si utilizza la seguente relazione:

$$h_{sol} = h_{conv} + \frac{E - 4(\mu_{mr} - \mu_p)}{60}$$

Dove :

- $m_{mr}$  è la longitudine del meridiano di riferimento che per l'Italia è  $15^\circ$
- $m_p$  è la longitudine del punto P in esame
- $h_{conv}$  rappresenta l'orario convenzionale letto dall'orologio
- E rappresenta l'equazione del tempo.

Il valore di E fluttua tra  $+ 16'$  e  $- 14'$  perché la velocità di rotazione della terra varia a seconda dei periodi dell'anno. Diverse sono le formule polinomiali che si trovano in letteratura, la cui variabile comune è  $g$ , come in precedenza, e rappresenta il numero progressivo del giorno a partire dal 1° gennaio.

$$E = -10.1 \operatorname{sen}\left(360 \frac{2g+31}{366}\right) - 6.9 \operatorname{sen}\left(360 \frac{g}{366}\right)$$

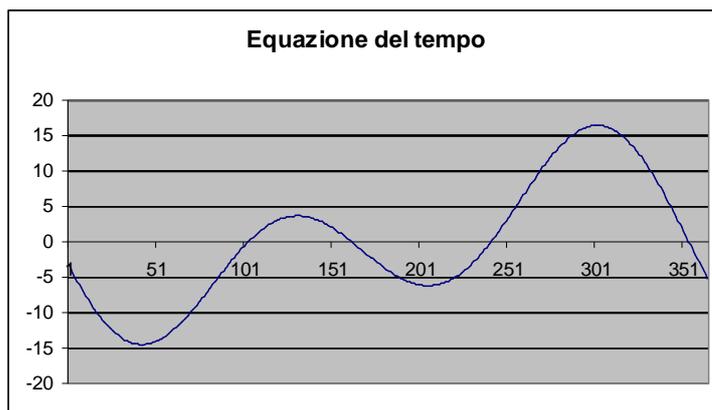


FIG 4.2- Grafico dell'equazione del tempo.

Si noti come che per il Molise considerare l'orario solare anziché quello convenzionale può comportare un errore di +/- 22 minuti. Infatti la longitudine  $l$  di Termoli è circa  $15^\circ$ , mentre Venafro ha una longitudine di  $13^\circ$ .

La posizione del Sole in ogni istante dell'anno, rispetto ad un piano orizzontale passante per un punto  $P$  è facilmente determinabile attraverso le seguenti relazioni.

$$\operatorname{sen}\beta = \cos\lambda \cdot \cos d \cdot \cos W + \operatorname{sen}\lambda \cdot \operatorname{sen}d$$

$$\operatorname{sen}\alpha = \frac{\cos d \cdot \operatorname{sen}W}{\cos\beta}$$

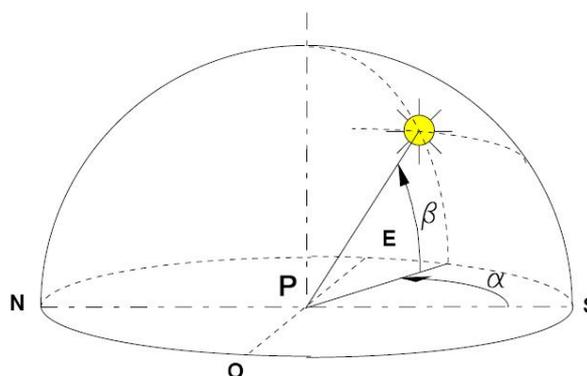


FIG 4.3 - Individuazione dell'angolo azimutale e zenitale.

Dove:

- $d$  è la declinazione
- $l$  è la latitudine del punto  $P$ .
- $a$  rappresenta l'azimut, cioè l'angolo misurato sul piano orizzontale tra la proiezione della congiungente del punto  $P$  con il sole e la direzione nord-sud. Tale angolo, per convenzione, è positivo verso est e negativo verso l'ovest. Ciò equivale a dire che l'azimut del sole è positivo prima del mezzogiorno solare, zero al mezzogiorno, negativo dopo.
- $b$  rappresenta l'elevazione del sole, cioè l'angolo misurato nel piano verticale passante per  $P$  e per il sole ed è ottenuto dalla congiungente del punto  $P$  con

il sole e la relativa proiezione sul piano orizzontale. Per convenzione  $b$  è sempre positivo, risulta essere zero all'alba e al tramonto, il valore massimo si ha al mezzogiorno solare.

- $W$  è il fattore che lega la posizione del sole al tempo giornaliero. Questo è definito come l'angolo orario solare. Tale parametro scaturisce dal fatto che la terra impiega 24 ore per effettuare una rotazione completa, quindi mediamente in un'ora descrive un angolo di  $15^\circ$ .

$$W = (12 - h_{sol}) \cdot 15$$

Analizzando questo parametro si nota che alla mattina  $W$  è positivo, al mezzogiorno solare ( $h_{sol}=12$ ) risulta essere zero, negativo al pomeriggio.

Con i dati a disposizione è possibile calcolare la posizione del sole in ogni ora e giorno dell'anno tenendo presente che:

- Agli equinozi l'angolo  $a$  di alba e tramonto è, rispettivamente, di  $+90^\circ$  e  $-90^\circ$ .
- Per ottenere l'angolo  $a$  dell'alba (e simmetricamente quello del tramonto), dalla prima relazione imponendo  $b=0$ , si ottiene l'angolo orario di alba (o di tramonto)  $W_s$ , da cui si può ricavarsi anche l'orario convenzionale dell'alba,

$$\cos W_s = -\tan \lambda \tan \delta \quad h_{sol} = 12 - W_s \cdot 15$$

$$h_{conv} = h_{sol} - \frac{E - 4(\mu_{mr} - \mu_p)}{60}$$

- Per ottenere l'azimut  $a$  dell'alba si utilizza la seconda relazione con  $W_s$  e  $b=0$

La posizione del sole in ogni ora e giorno dell'anno è stata calcolata implementando un programma di calcolo sviluppato utilizzando, per semplicità, un foglio elettronico.

Il soleggiamento teorico corrisponde alle ore di insolazione di un generico punto P. Teorico perché, oltre che dalle condizioni ambientali, il soleggiamento può dipendere dall'orografia dello spazio circostante e dagli ostacoli, quali edifici ed alberi, che creano delle zone d'ombra.

Il soleggiamento si calcola con la formula

$$N = \frac{2W_s}{15} \quad \text{dove } W_s \text{ rappresenta l'angolo orario di alba}$$

Tuttavia a volte può essere utile conoscere l'indice di soleggiamento, calcolabile solo quando si hanno a disposizione le ore effettive di soleggiamento e si calcola con

$$I = \frac{n}{N} \quad n = \text{numero di ore di soleggiamento reale}$$

Spesso però è utile riferire tali calcoli non su tutti i 365 giorni dell'anno, bensì sui dodici mesi dell'anno. Ciò scaturisce dal fatto che spesso si fa riferimento ai dati medi giornalieri di un determinato mese.

Si sceglie, pertanto, per ogni mese il giorno la cui declinazione corrisponde a alla media della declinazione dei giorni di quel mese. Avremmo quindi dei dati medi, azimut, elevazione, insolazione ecc. corrispondenti al giorno medio di un determinato mese.

I giorni la cui declinazione corrisponde a quella media del mese sono riportati di seguito.

mese	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
giorno	17	16	16	15	15	11	17	16	15	15	14	10

TAB. 4.2 - Giorni con declinazione media mensile

E' possibile introdurre ancora un'altra semplificazione. I solstizi, in termini di azimut e di elevazione, sono dei dati estremi del percorso solare. Infatti a e b del 20 giugno sono gli stessi del 22 giugno e così via. Questa simmetria dei dati se rapportata al discorso del giorno medio mensile, porta a dire che, ad esclusione di giugno e dicembre, il percorso solare medio giornaliero del mese di maggio corrisponde a quello di luglio, aprile con agosto, settembre con marzo, febbraio con ottobre e gennaio con novembre.

#### 4.2 La rappresentazione grafica dei percorsi solari

I risultati ottenuti, mediante l'uso del programma di calcolo appositamente elaborato, sono rappresentabili su due diversi tipi di diagramma; il diagramma cilindrico e il diagramma polare.

Il diagramma cilindrico è un diagramma cartesiano. Sull'asse delle ascisse vengono riportati gli azimut, sulle ordinate l'angolo di elevazione del percorso solare. Il diagramma è perfettamente simmetrico rispetto all'asse delle ordinate che

rappresenta quindi la direzione nord-sud oltre che rappresentare la direzione su cui sono allineati i punti corrispondenti alle ore 12, cioè al mezzogiorno solare.

Le curve, ottenute dalla successione di punti a e b, rappresentano il percorso solare medio giornaliero di un determinato mese. Per il discorso delle simmetrie mensili le curve riportate sono 7.

Le curve trasversali alle curve dei percorsi solari rappresentano le curve orarie, cioè la successione di punti a e b a cui corrisponde il medesimo orario solare nel susseguirsi dei giorni dell'anno.

Il diagramma cilindrico fisicamente può essere visto come la proiezione cilindrica del percorso solare su di un piano verticale passante per il punto P di riferimento, oltre che per l'asse orizzontale est-ovest. Il punto P ovviamente rappresenta l'origine del diagramma.

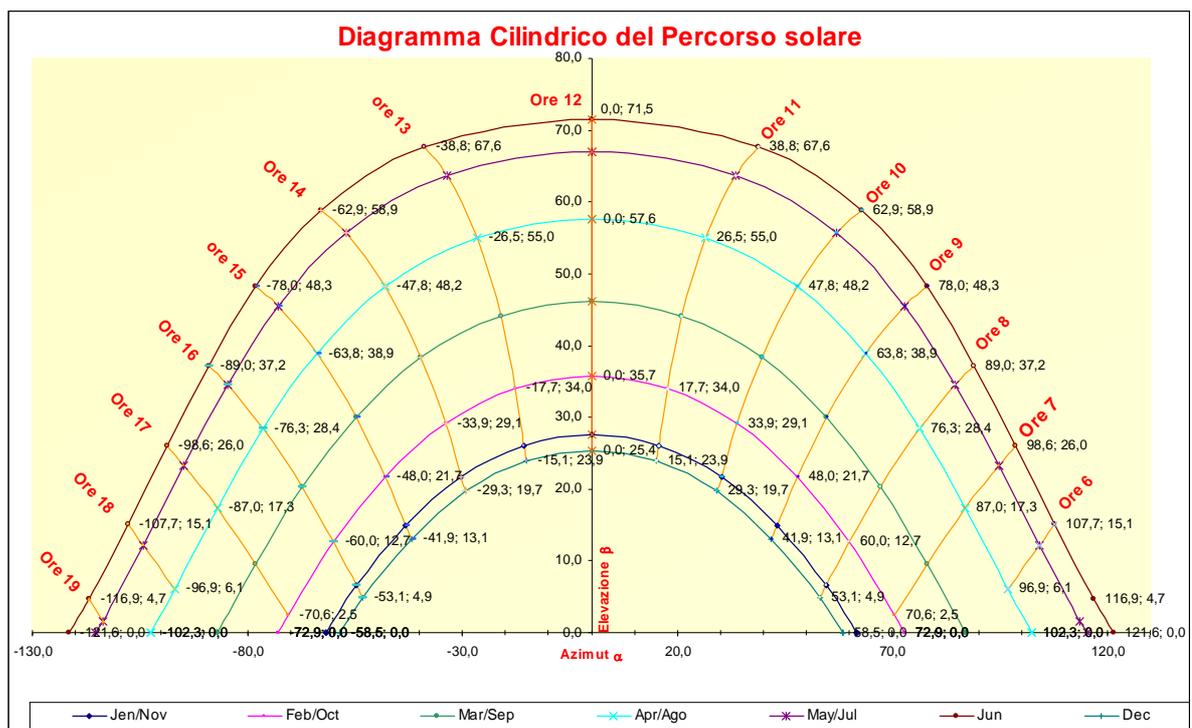


FIG 4.4 – Diagramma cilindrico del percorso solare per Campobasso.

Sul diagramma cilindrico è facilmente individuabile il periodo dell'anno e del giorno in cui il punto P potrebbe essere in ombra. Questo è possibile perché è sufficiente riportare su detto diagramma la skyline osservabile dal punto P; tutti i punti ( a e b) che si troveranno al disotto della linea dell'orizzonte sono in ombra per quel determinato orario corrispondente a quel periodo dell'anno.

Per rilevare tale linea occorre posizionarsi nel punto P con un teodolite e misurare semplicemente gli angoli azimutali e zenitali di tutti i punti caratteristici della skyline. Tali punti affinché possano essere riportati sul diagramma cilindrico devono essere rapportati al punto P corrispondente al SUD che deve avere necessariamente azimut  $0^\circ$ .

Diversa è la rappresentazione dei percorsi solari su diagrammi polari.

Infatti la rappresentazione del percorso solare può essere vista come la proiezione sul piano orizzontale passante per il punto P.

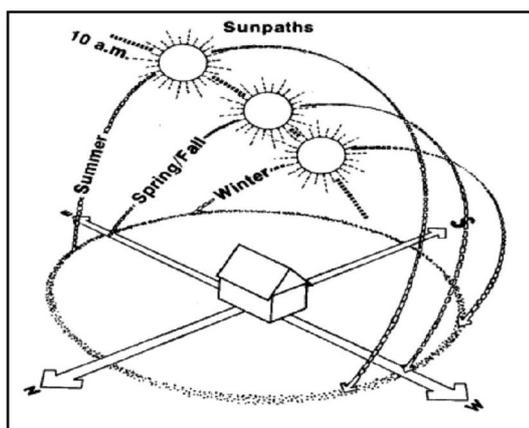


FIG 4.5 – Variazioni dei percorsi solari con le stagioni.

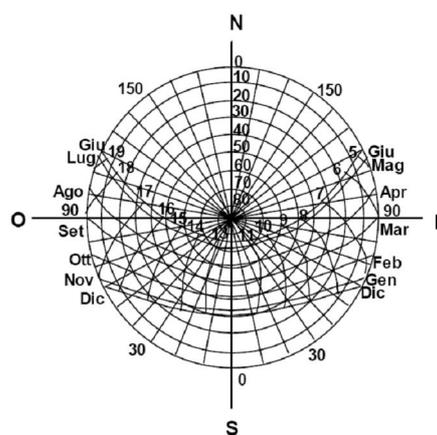


FIG 4.6 – Diagramma Polare.

Tale diagramma è costituito da due assi perpendicolari fra loro associati alle direzioni est ovest (orizzontale) e nord-sud verticale con intersezione nel punto P. Tale punto è il centro di n cerchi concentrici. Al cerchio più esterno è associato l'angolo  $\beta=0^\circ$ , l'angolo  $\beta=90^\circ$  praticamente è un punto corrispondente al centro dei cerchi. Gli angoli azimutali sono rappresentati da angoli formati dalla direzione nord sud (positivi verso est) con una retta passante per il punto P. Pertanto per rappresentare un punto A di coordinate  $a, b$  occorre tracciare la retta per P che forma un angolo  $a$  con la direzione nord-sud. Pertanto il punto A si troverà all'altezza con l'intersezione del cerchio corrispondente a  $\beta$ .

Anche su questo tipo di diagramma è possibile legare le linee dei percorsi solari con le linee orarie.

Tali diagrammi risultano essere più intuitivi riguardo al percorso solare. Se infatti volessimo verificare insolazione di una superficie verticale completamente esposta a nord, equivale a coprire la parte inferiore all'asse est-ovest. Infatti vediamo che detta superficie è illuminata tra il 21 marzo e il 21 settembre (equinozi) ma non per tutte le ore del giorno.

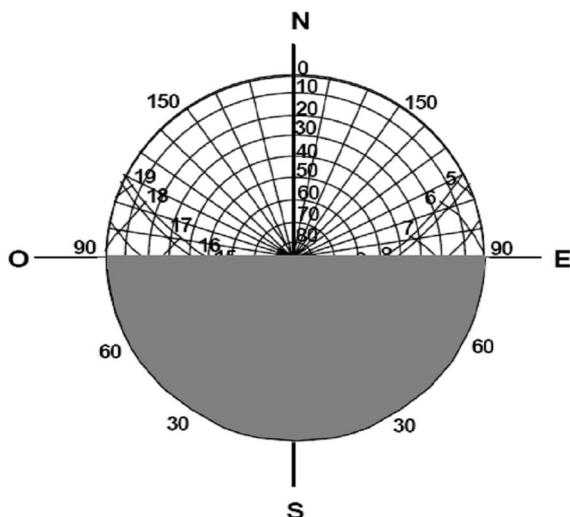


FIG 4.5 – Insolazione di una superficie nord.

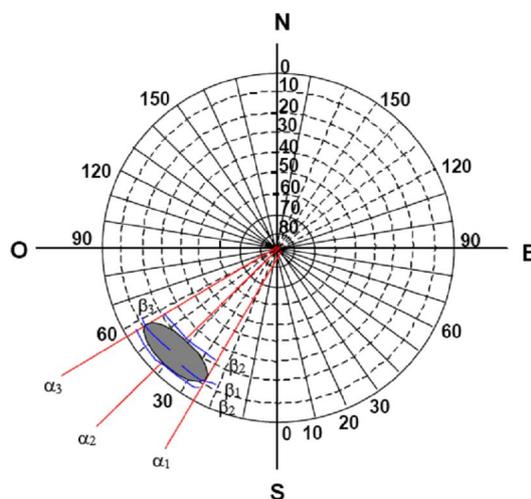


FIG 4.5 – Maschera d'ombra di un albero.

Viceversa coprendo la metà superiore di tale grafico leggeremmo l'insolazione corrispondente ad una superficie verticale rivolta a sud.

Così facendo per una qualsiasi superficie verticale la cui normale forma un angolo  $f$  con il sud (sempre positivo verso est), basterà riportare tale angolo sul diagramma e tagliare la parte opposta.

Anche con questo tipo di diagramma è possibile riportare l'immagine della skyline per poter determinare i periodi di ombra.

A titolo di esempio si riporta sul diagramma l'immagine proiettata corrispondente ad un albero.

Per semplicità consideriamo la forma dell'albero come se fosse inscritta in un rettangolo, cioè andiamo a misurare l'angolo corrispondente al suo estremo destro, quello corrispondente al suo estremo sinistro, lo stesso in altezza come si vede dal disegno.

Tali coppie di angoli saranno rappresentate sul diagramma polare e i corrispondenti punti saranno raccordati, per semplicità, da curve ellittiche. Sovrapponendo le curve dei percorsi solari potrà leggersi quando il punto P di riferimento è in ombra.

## **5 Studio dell'orientamento e dell'esposizione**

Nei successivi paragrafi si analizzeranno, a livello analitico, le problematiche relative all'orientamento e alle potenzialità offerte dall'ambiente climatico. Dapprima verrà mostrato come nel passato i principi bioclimatici erano noti forse meglio di oggi. Successivamente verranno mostrati due metodi di calcolo per la radiazione solare e come applicare i risultati ottenuti per un orientamento ottimale dell'edificio.

### **5.1 Tecniche antiche**

Edificare in rispetto alle condizioni locali ed al sole è una pratica remota, una consuetudine che ha avuto origine fin da quando l'uomo ha iniziato a costruire la sua prima dimora. Si costruisce un rifugio allo scopo di ripararsi dalle intemperie, dal sole, dalla pioggia e dalla neve, dal troppo freddo e dal troppo caldo. La disponibilità locale dei materiali da costruzione e l'osservazione dei fenomeni meteorologici si concretizzavano in forme abitative rispettose anche del bioclima. Per quanto riguarda il clima desiderato all'interno dell'abitazione bisogna considerare che nel passato le esigenze delle persone non furono quelle attuali. La gente era abituata al cambio stagionale delle temperature e non si pretendeva, come oggi, di avere all'interno della propria abitazione una temperatura di 20°. Contro il freddo invernale ci si proteggeva con indumenti pesanti, ci si riscaldava al sole e in situazioni estreme ci si riscaldava con il fuoco della cucina. Spesso la vita si svolgeva all'aperto, quella degli uomini negli spazi pubblici urbani o nei campi, quella delle donne nel cortile di casa. La casa mediterranea quindi è sempre stata una casa che offre ombra e frescura in estate, e in inverno capace di captare il maggior soleggiamento possibile. Nelle zone montane, invece, prevalgono sistemi di soleggiamento e di accumulo termico.

#### **5.1.1 Architetture solari nell'antica Grecia.**

I percorsi solari erano già noti agli antichi greci, essi infatti sapevano benissimo che in estate il sole compie un percorso più lungo e con un'elevazione maggiore rispetto ai periodi invernali. Tale particolarità era sfruttata soprattutto attraverso l'introduzione del portico che fungeva da sistema d'ombreggiamento in estate quando il sole è alto e di riscaldamento in inverno quanto il sole è basso. Infatti un portico esposto completamente a sud in estate non è mai irradiato in quanto il sole sorge con un azimut maggiore di 90°, cioè sorge e tramonta alle spalle della parete rivolta a sud. Inoltre quando il sole si trova allineato con la parete risulta essere già alto

sull'orizzonte e i suoi raggi non arrivano ad irradiare la parete di confine se il portico è ben proporzionato.

Relativamente a questo concetto si riporta di seguito un colloquio di Socrate, inerente la costruzione di una casa "solare", tratto da un discorso di Senofonte (430-355 a.C.):

*"Egli (Socrate) era del parere che queste case fossero belle e utili, e a me sembrò che egli ci volesse insegnare come si deve costruirle. Il suo ragionamento era il seguente: se qualcuno volesse costruirsi una casa così come questa dovrebbe essere (secondo le regole), non dovrebbe egli attrezzarla in modo che vi si possa vivere comodamente e con funzionalità? Dopo aver noi approvato quanto egli andava dicendo, continuava: non è una comodità se la casa è fresca in estate e calda in inverno? Dopo aver approvato anche questo, egli continuò: non è forse vero che nelle case esposte a sud il sole penetra in inverno sotto il portico, mentre in estate passa sopra di noi e sopra i tetti in modo da procurarci ombra? Se ci fa comodo che questo avvenga, non dovrebbero le stanze esposte a sud essere più alte affinché il sole invernale non ne sia escluso, mentre quelle sul lato nord più basse affinché i venti freddi non possono nuocere? Detto in breve: questa dovrebbe essere veramente la dimora più bella e più confortevole, in cui sentirsi a proprio agio in tutte le stagioni e in cui vivere più al sicuro".*

Come si vede i principi bioclimatici sono molto evidenti e ben definiti. Di seguito si riporta uno schema scaturito dalla descrizione di cui sopra.

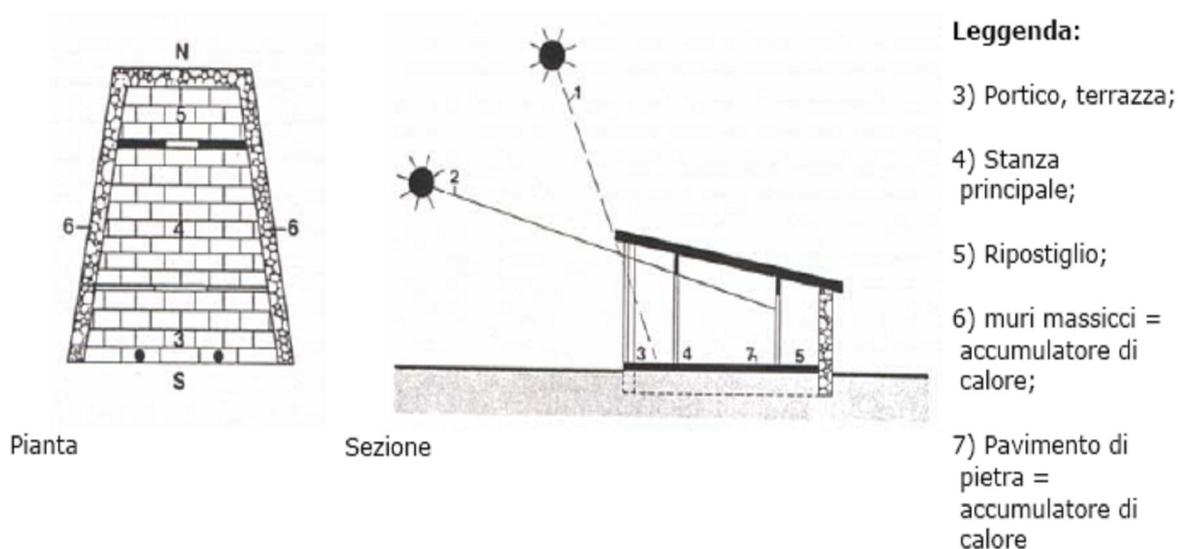


FIG 5.1 – Schema della casa bioclimatica di Socrate.

Lo sfruttamento passivo dell'energia solare richiede spazio. Affinché il sole possa entrare in profondità negli edifici occorre che tra un edificio e l'altro vi sia un grande spazio. Tali condizioni perfettamente ottenibili in zone rurali, non lo erano invece in ambito urbano. I siti urbani non pianeggianti e declinanti verso sud potevano offrire un valido apporto per l'insediamento di città.

Gli antichi urbanisti greci avevano l'uso di conferire ai nuovi insediamenti una pianta ortogonale basata su una griglia in cui le strade si intersecano ad angolo retto. Tale impianto è noto con la denominazione di schema ippodameo dall'arch. Ippodamo da Mileto vissuto nel VI sec a.C.

Un esempio di tale tipologia è dato dallo schema urbano della città di Priene che risale alla metà del quarto sec. a.C. che di seguito si riporta.

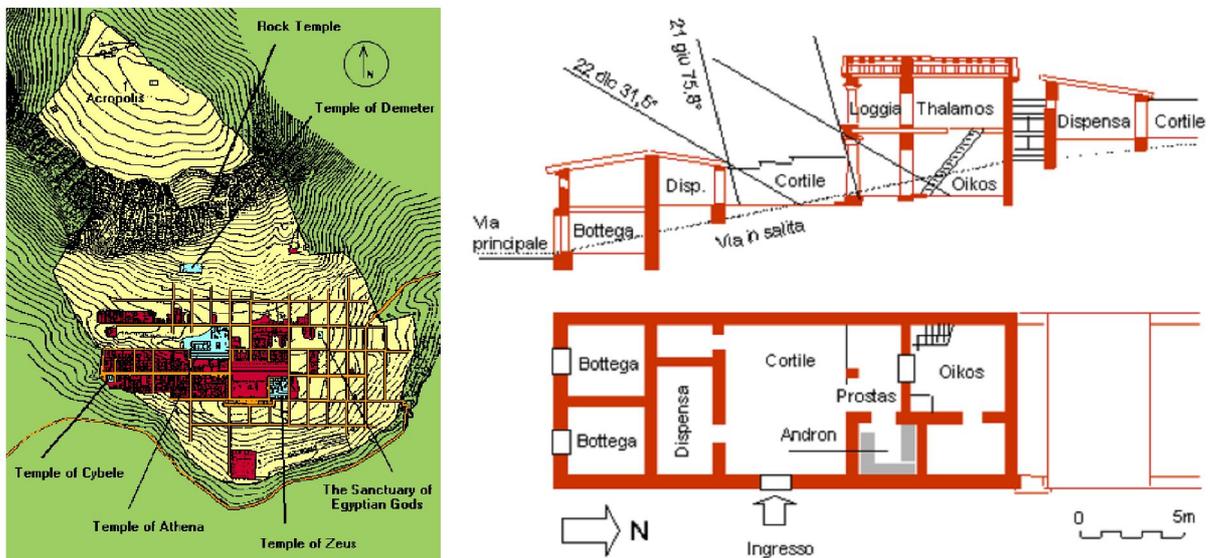


FIG 5.2 – Pianta urbana della città di Priene e schema di una casa greca.

L'impianto urbano è disposto su un pendio declinate verso sud in modo che i decumani siano orientati in direzione est-ovest e disposti alla base dei terrazzamenti in modo tale che le abitazioni della città si disponessero in maniera sfalsata in altezza, come nella figura. Tale disposizione avrebbe permesso ai raggi solari di penetrare all'interno delle abitazioni, di illuminare i cortili e di ombreggiare le logge.

E' conosciuta un'altra città ellenistica, Olinto (ca. 480 a.C.) che è dotata di uno schema planimetrico orientato nello stesso modo del precedente, però ubicato completamente in pianura. Qui assi nord-sud s e vie secondarie est-ovest definiscono il reticolo urbano. E' evidente che la larghezza delle strade limita in parte il soleggiamento rispetto alla soluzione precedente.

Un'altra città di tipo solare è sicuramente Mileto ricostruita nel 479 a.C. La particolarità di questa città è che presenta la griglia delle strade ruotata di circa 20° rispetto ai punti cardinali. Ogni isolato è diviso in quattro abitazioni del tipo descritte in precedenza. Il fronte principale è disposto verso sud ovest e perciò riceve maggiore insolazione durante il pomeriggio. Tuttavia, la disposizione interna dei cortili, doveva sicuramente provvedere all'insolazione interna dell'abitazione.

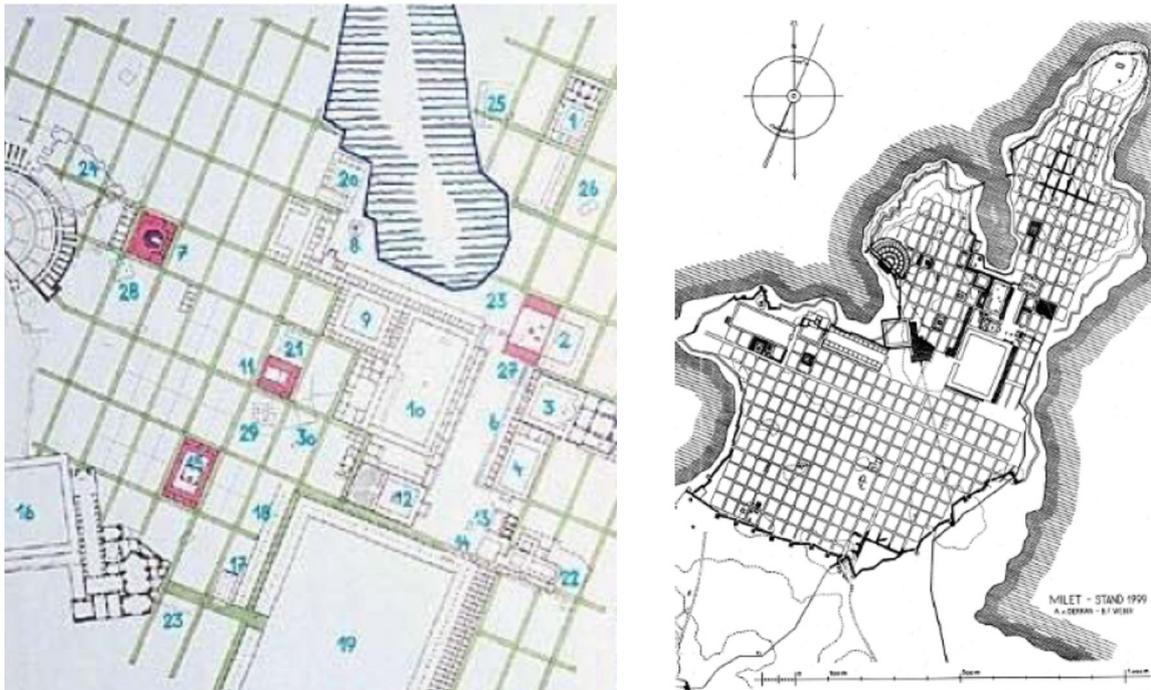


FIG 5.3 – Pianta urbanistica di Mileto.

### 5.1.2 La Casa Sannitica di LN a Monte Vairano

Il periodo sannitico ( da tutto il IV sec a.C. al 67 a.C.), è un periodo nel quale, almeno nell'Italia centromeridionale, l'uomo ha iniziato a costruire le prime città, piccole o grandi roccaforti, spesso in contesti ambientali disagiati, solo per una questione difensiva. Le abitazioni delle genti sannitiche sono soprattutto abitazioni rurali, per la forte vocazione di allevatori di questo popolo. Tuttavia, anche queste case presentavano espedienti bioclimatici, per tipologia di pianta e per materiali. Alcune di esse sembrano derivare dalla tipologia della casa greca per avere all'interno un atrio, altre invece, come la casa di LN, sfruttano appieno, oltre i materiali locali, l'orografia del sito.

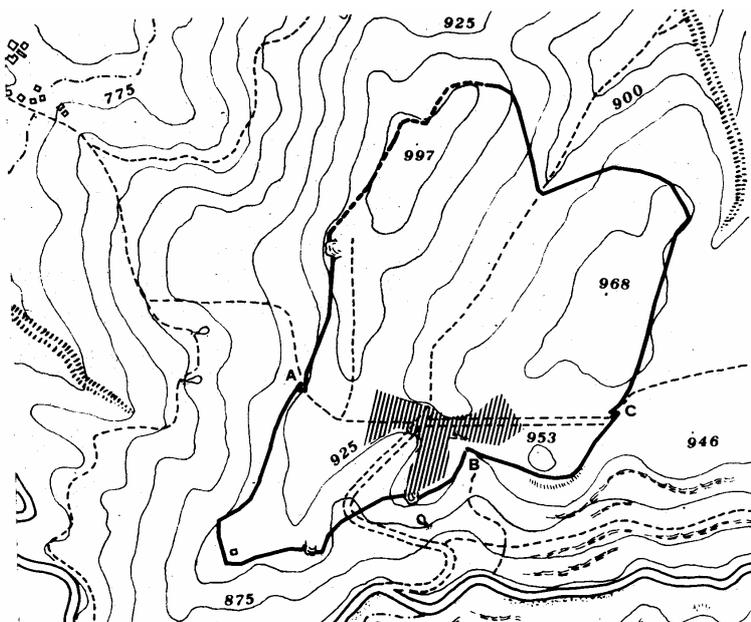


FIG 5.4 – Pianta della cinta muraria dell'abitato sannitico di Montevairano.

L'abitato Sannitico di Montevairano che si estende tra i comuni di Baranello e Busso (CB), racchiude un territorio morfologicamente accidentato e di altitudine media 950 m slm. Tuttavia ci sono alcune zone ben esposte verso sud che sono anche protette dai venti per la morfologia stessa del luogo. Infatti se considera l'allineamento AC (Porta occidentale-Porta Orientale) si nota che quest'area è protetta da due alte colline retrostanti, la prima di 997 l'altra di 968 rispettivamente a NW e E-NE.

L'area interessata dagli scavi archeologici, che ha riportato numerose abitazioni, è quella tratteggiata. In particolare la zona di porta meridionale, incassata anch'essa in una conca declinante verso SE resta completamente sottovento quando le correnti spirano da nord.

Non si ha a disposizione il reticolo stradale e visto l'orografia accidentata del luogo, è facile immaginare, che un probabile progetto urbanistico non può che scaturire dall'orografia stessa. Tuttavia però se si osserva la strada che conduce a porta meridionale essa ha un'orientazione NE-SW e l'inclinazione corrisponde a circa 25°.

Lungo questa strada è dislocata la casa di LN, modesta abitazione costituita da un solo vano. Essa è interessante per la sua esposizione, oltre per la sua tecnica costruttiva. L'intero complesso è databile al II sec. a.c.

La casa è di forma trapezoidale, si addossa ad una sostruzione (parete di terrazzamento) verso nord e lungo il pendio ad ovest. L'unica apertura è quella sulla parete sud. Rispetto al piano stradale la casa sorge su uno slargo rialzato di 40 cm

realizzato con filari di blocchi di pietra di buone dimensioni ( larghezza 40 cm) in modo da proteggere la costruzione dalle acque dilavanti.

Il pavimento è in *cocciopesto* di spessore di 10 cm allettato su una massicciata di ciottolato locale.

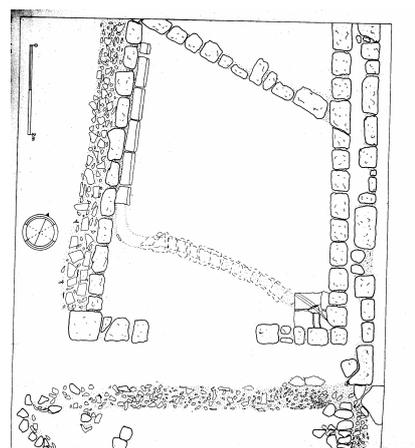


FIG 5.5 – Resti della casa di LN.

Le pareti erano di due tipi: quelle a sud ed a est in *torchis*, le restanti in opera incerta. La tecnica del *torchis* prevede l'utilizzazione dell'argilla mescolata a paglia e fieno, previa compattazione, e adoperata per la tamponatura di una rudimentale intelaiatura lignea. A protezione delle pareti vi era uno spesso strato di arriccio di 2,5 cm. La parete verso nord, quella del terrazzamento, è costruita interamente con grandi blocchi squadrati i cui interstizi sono riempiti da argilla e intonacato. L'altra parete, verso ovest, serve anch'essa da muro di contenimento, però lo scavo ha evidenziato a ridosso della stessa un drenaggio costituito da pietre non sbozzate al fine di impermeabilizzare la parete. Il tetto, sorretto da capriate, era probabilmente a due falde. All'interno era sicuramente presente un focolare costituito da una grossa

tegola rettangolare leggermente sopraelevate rispetto al piano del pavimento e collocata nell'angolo SE, non si hanno tracce della cappa.

Da quanto sopra descritto si deduce che la casa di LN può considerarsi sicuramente un sistema bioclimatico per i seguenti motivi:

1. orientamento ottimale per l'esposizione solare
2. posizionamento in zona d'ombra di vento
3. apertura sul lato meridionale
4. 2 pareti costruite in terra cruda (ottimo isolante termico e regolatore igrometrico)  
Addossamento per due lati al terreno, presenza di drenaggio per l'impermeabilizzazione
5. Presenza di pavimento isolato termicamente.
6. Il terrazzamento e l'apertura verso S-SE permettevano ai raggi solari di entrare all'interno dell'abitazione in inverno

Tale piccola casa assomiglia molto a quella descritta da Socrate, anche se in contesti regionali e temporali completamente diversi.

### **5.1.3 Principi bioclimatici nel trattato *De Architettura* di Vitruvio**

Tutti gli autori antichi, compreso Vitruvio (I sec. a.C.), concordano nel dire che le città devono essere realizzate in funzione della salute dei suoi abitanti, perciò devono sorgere in luoghi salubri e pianificate in funzione delle caratteristiche microclimatiche del luogo.

Nel seguito vengo riportate diverse citazioni dell'autore.

#### Libro I, 4 Dove fondare una città'

*... Innanzitutto la scelta di un luogo molto salubre. Questo sarà elevato senza nebbia né brina e rivolto alle regioni del cielo né calde né fredde ma temperate e quindi sarà da evitare la vicinanza delle paludi.*

*..... se le mura saranno innalzate lungo il mare e guarderanno a occidente o a meridione, la città non sarà salubre, perché in estate la zona esposta a sud è calda all'alba, calda a mezzogiorno, infuocata la sera. Con le variazioni della temperatura, i corpi che abitano questi luoghi, si ammalano. Questo si può osservare anche nelle cose inanimate. Ad esempio nelle cantine coperte dove si conserva il vino, nessuno farebbe arrivare la luce da sud o da ovest, ma piuttosto da nord, perché quella zona del cielo in nessuna ora subisce variazioni e la luce è dunque costante. Perciò anche i granai rivolti al corso del sole, perdono presto le loro proprietà, per cui le provviste*

*e i frutti che non vengano riposti in luoghi situati nella parte opposta al corso del Sole, non si conservano a lungo.*

Nel seguito Vitruvio racconta che il luogo dove i Romani fondavano città e fortificazioni veniva scelto in base all'analisi del fegato degli animali che pascolavano in quella zona. Se esso era alterato se ne deduceva che la zona offriva acqua e cibo nocivi, pertanto la zona era ritenuta insalubre.

#### Libro I, 6 Orientamento della rete viaria rispetto ai venti

*Innalzate tutt'intorno le mura, si distribuiscono le aree destinate alle piazze e si tracciano le direzioni delle strade, secondo i punti cardinali. La loro direzione sarà tracciata correttamente se riavrà la correttezza di riparare i vicoli dai venti.*

Vitruvio ricorda, inoltre, la torre dei venti, costruita da Andronico di Cirro ad Atene, di forma ottagonale con in cima un cono di marmo, la cui vertice era posto un tritone di bronzo girevole che indicava la direzione del vento. Su ogni lato della torre erano riportati i nomi dei venti, quindi se ne deduce che i venti principali fossero otto. In particolare l'Ostro, da sud, il Favonio da ovest, il Levante da est, la Tramontana da nord. Oltre a questi quelli intermedi: lo scirocco da sud est (Euro), il libeccio (Africo) da sud ovest, il grecale da nord est (Aquilone) e il maestrale da nord ovest (Cauro o Coro). Tuttavia riconosce che ci sono altri venti, diversi da questi, che dipendono anche dalle condizioni locali.

Vitruvio dà indicazioni su come trovare queste direzioni. Innanzitutto trova l'asse nord sud semplicemente con uno gnomone. Cioè di mattina misura l'ombra proiettata dallo gnomone, traccia una circonferenza e annota nel pomeriggio quando l'estremità dell'ombra dello gnomone tocca di nuovo la circonferenza. Il segmento che unisce i due punti sulla circonferenza individua la direzione est-ovest; per ottenere la direzione nord-sud occorre unire il punto medio del precedente segmento con il centro della circonferenza. A questo punto, sulla stessa circonferenza, si tracciano otto spicchi, ciascuno corrispondente ad un vento. Ogni spicchio ha un'ampiezza di 45° e le direzioni cardinali ne costituiscono la bisettrice. Si ottiene così una rosa dei venti, in particolare un ottagono inscritto nella circonferenza.

La direzione delle strade pertanto sarà quella corrispondente agli spigoli dell'ottagono.

Se si considera uno schema ippodameo sono possibili due orientamenti NNE-SSO a 22,5° est (griglia in rosso) oppure NNO-SSE a 22,5° ovest (griglia verde).

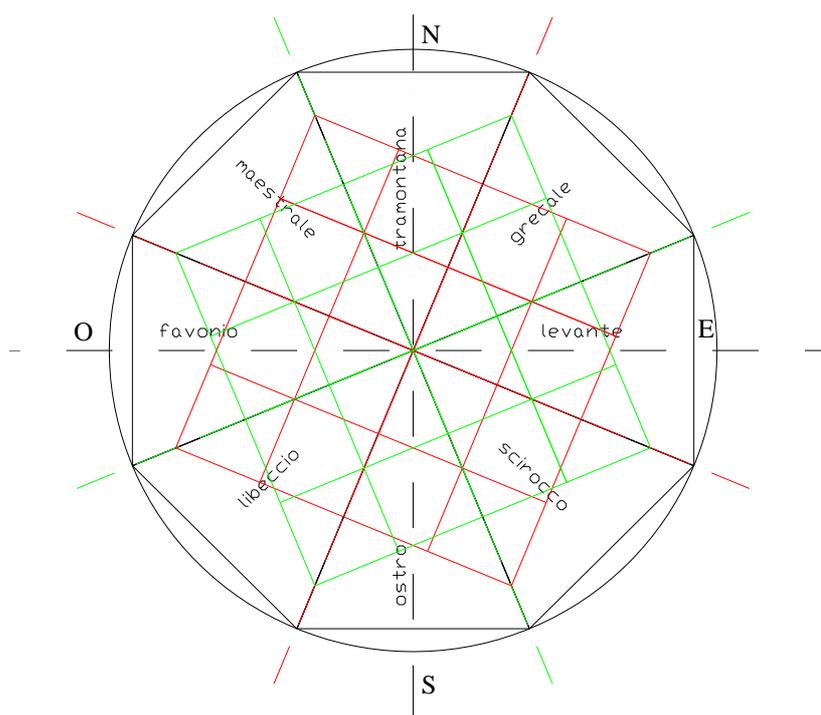


FIG 5.6 – Rosa dei venti e schema di orientamento delle città secondo Vitruvio.

*Le strade e le piazze dunque, saranno orientate secondo una direzione compresa fra due settori dei venti. Perciò le piazze saranno orientate contro la direzione del vento; infatti, entrando nello spazio aperto del cielo, il soffio violento del vento e frequente, chiuso nelle fauci dei vicoli, soffierà con maggior forza. Bisogna perciò orientare le strade in direzione diversa da quella da cui proviene il vento in modo che questo, battendo sugli angoli degli isolati, si infranga e respinto si dilegui.*

Tuttavia l'orientamento scaturente dalla regola di Vitruvio si trova applicata in alcune città italiane come Aosta (23°), Minturno (23°), Ostia Antica (21°) ed altre.

Diversi invece sono gli orientamenti delle città di origine romana in Molise.

### Sepino

Il sito archeologico di *Saepinum* nasce su un sito di pianura, su delle preesistenze sannitiche, lungo il tratturo Pescasseroli-Candela. La forma urbana è disegnata da un rombo con le punte smussate orientate verso i quattro punti cardinali. L'orientamento secondo Vitruvio non risulta essere del tutto ottimale in quanto il decumano è allineato longitudinalmente la valle, cioè lungo la direzione preferenziale dei venti. Tuttavia l'inclinazione del cardo di 32° verso nord può essere ritenuto ancora sufficiente per evitare che il vento freddo proveniente da E-NE si incanali lungo il cardo. Inoltre c'è da considerare che le mura di cinta della città offrono una

resistenza notevole al vento tale da creare delle zone di sottovento lungo tutte le mura.

L'esposizione solare, però, non risulta essere delle migliori a causa della presenza a SW della catena montuosa del Matese che in inverno limita l'insolazione del pomeriggio.

Nella cartografia riportata di seguito sono riportate le inclinazioni degli assi viari, oltre che gli assi dei solstizi.



FIG 5.7 – Orientamento del sito archeologico di Saepinum.

### Venafrò

La cittadina di *Venafrum* presenta una disposizione piuttosto particolare del reticolo stradale. I decumani infatti sono allineati secondo l'asse del solstizio d'estate. Tale disposizione fa sì che l'anfiteatro si trovi orientato con l'asse maggiore secondo il solstizio d'estate. Sul perché di tale associazione occorrerebbe approfondire lo studio con trattati di archeoastronomia.

Rispetto alle altre precedenti città, lo sfruttamento della radiazione solare risulta essere migliore in quanto i rilievi montuosi si trovano a NW e la radiazione solare è

sfruttata per intero durante tutto il periodo invernale, inoltre gli stessi rilievi retrostanti la città la difendono dal vento di NW.

Il reticolo stradale risulta orientato in modo simmetrico rispetto a quelli di Sepino e Boiano, infatti i cardini sono orientati in direzione NNW-SSE e i decumani in direzione ENE-WSW. Tale disposizione come si vedrà in seguito risulta essere una buona esposizione. Inoltre il lato che riceve la maggiore radiazione solare, cioè quello esposto a SW, risulta schermato nel pomeriggio estivo dai rilievi.

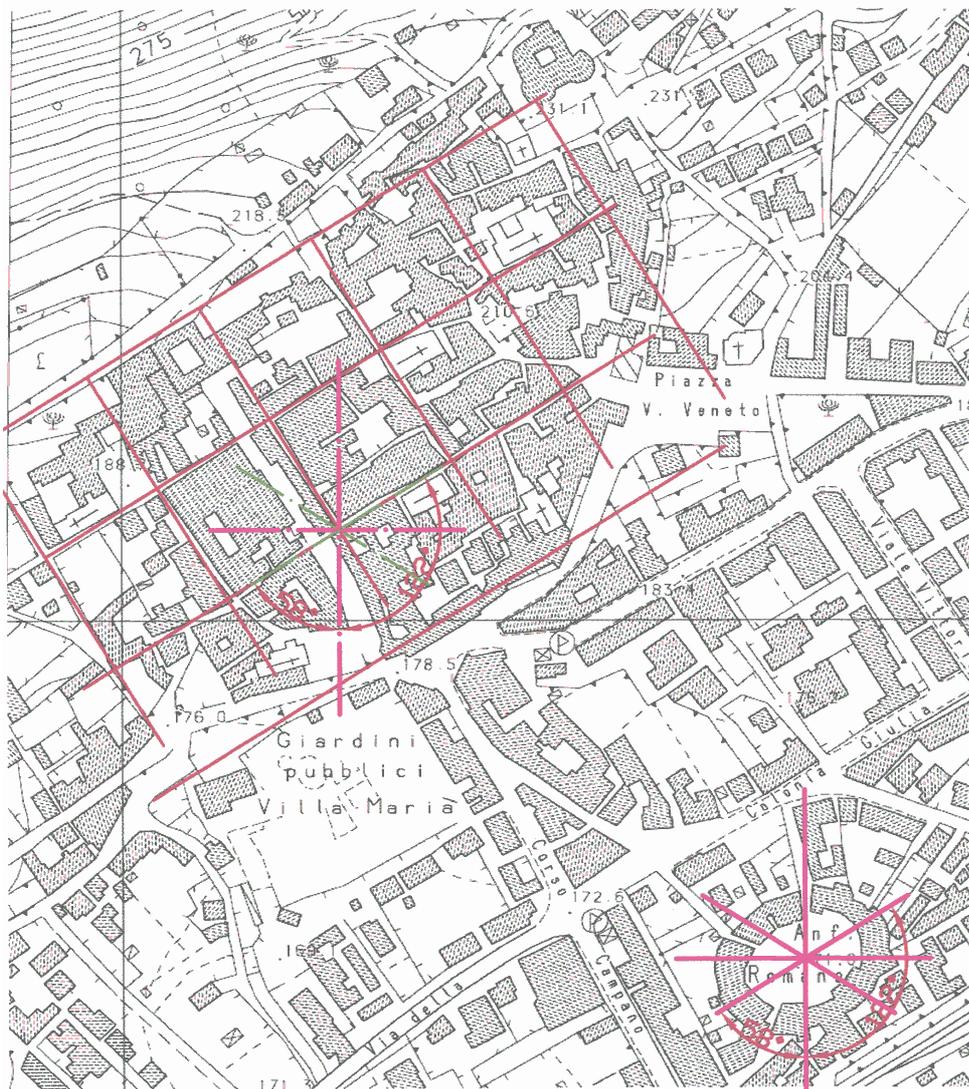


FIG 5.7 – Orientamento degli antichi assi viari di Vanafro (IS).

Tornando all'opera di Vitruvio egli analizza come inserire gli edifici pubblici all'interno della città, in modo che la loro disposizione non sia casuale, determinata da precise proporzioni, ma soprattutto tale disposizione deve essere scelta in funzione del clima e del soleggiamento.

### Libro V, 1 Il Foro e le Basiliche

*... conviene che le basiliche siano costruite vicino ai fori e nelle esposizioni più calde, affinché durante l'inverno gli uomini d'affari vi si possano recare senza fastidi provocati dalle intemperie.*

Nella città di Sepino, la basilica vede uno dei suoi lati maggiori esposto ad E-SE in modo che soprattutto la mattina potesse ricevere il massimo dell'insolazione, proprio quando si svolgeva la vita amministrativa della città.

### Libro V, 3 Il teatro

*...bisognerà cercare dunque un sito non esposto a mezzogiorno. Infatti, quando il Sole riempirà la cavea del teatro, l'aria racchiusa dalla curvatura non avendo la possibilità di circolare, rigirandosi su di se stessa, si riscalda col calore del sole,.....*

Il teatro di Sepino vede il sole tramontare alle spalle. Uno studio sulle ombre portate dal teatro stesso sulla cavea risulta alquanto laborioso proprio perché la forma circolare del teatro impedisce di applicare sia i diagrammi cilindrici che polari. Tuttavia un osservatore posto al centro dell'orchestra si vedrà in ombra nel pomeriggio avanzato durante l'estate, ma le gradinate alte restavano soleggiate ancora. L'effetto schermante allora doveva essere per forza ottenuto da pendii naturali in cui il teatro veniva scavato e il pendio stesso doveva sporgere ben la sommità del teatro. E' un espediente questo utilizzato nel teatro di Venafro.

### Libro IV, 1 I bagni pubblici

*...bisogna scegliere un sito che sia il più caldo possibile, non esposto a settentrione né ad aquilone (nord est). I calidari e i tepidari debbono ricevere la luce dall'occidente invernale e qualora la natura del luogo lo impedisse, dal mezzogiorno, poiché il tempo del bagno è soprattutto compreso mezzogiorno e il tramonto.*

L'area di Sepino destinata alle terme è adiacente Porta Benevento esposta a nordovest, ma ben protetta dall'enorme spessore delle mura di cinta su cui esse si addossano. A prescindere dall'orientamento, la leggibilità delle poche strutture rimanenti fa capire come il sistema dell'ipocausto e dei *tubuli* riuscivano a creare delle situazioni microclimatiche tipiche degli ambienti termali attraverso scambi di calore per irraggiamento. Infatti l'aria calda veniva creata bruciando della legna in un vano (*praefurnium*) posto alla base dell'*ipocausto* (pavimento galleggiante), dapprima incanalata in esso, poi attraverso delle intercapedini fittili (*tubuli*) che formavano una vera e propria parete radiante.



FIG 5.8 – Sito archeologico di Saepinum: ipocausto e tubuli.

Tale tipo di riscaldamento entrò a far parte della casa privata solo in epoca tarda, ma esclusivamente nelle case nobili. Il riscaldamento all'interno della *domus* romana era dato esclusivamente dal fuoco della cucina.

La tipica casa romana, la *domus* con l'atrio dotato di compluvio scoperto, è nata nel clima mite della Campania e si è diffusa in tutto il territorio dell'impero romano. Ma se questa casa potesse essere considerata una casa bioclimatica per climi tendenzialmente caldi, rappresentava certo un problema là dove il freddo persisteva. La tipologia doveva essere quindi adattata al sito, e di questo Vitruvio ne era pienamente consapevole.

#### Libro VI, 1 Il clima e la sua influenza sugli edifici

*Gli edifici saranno disposti nel modo giusto se si terrà conto innanzitutto delle regioni e delle latitudini nelle quali si troveranno. Sembra infatti opportuno che gli edifici siano costruiti in un certo modo in Egitto, in un altro in Spagna, ancora in modo diverso a Roma....*

*.....così gli edifici debbono essere orientati secondo le caratteristiche delle regioni e le varietà del clima. A settentrione è necessario che gli edifici siano coperti a volta e siano ben chiusi e senza aperture, ma rivolti verso le zone calde. Al contrario, nelle regioni esposte al Sole del mezzogiorno, poiché sono colpiti dal calore, debbono essere più aperti e rivolti a settentrione ed ad aquilone.*

Tuttavia l'esigenza della vita romana era quella di vivere e lavora all'aperto, riscaldandosi il più possibile con il sole. Ecco allora che la *domus*, nella sua evoluzione tipologica, si trasforma con l'aggiunta del grande giardino posteriore, il *peristylum*, circondato su tre lati da un portico, dove in estate si mangiava distesi sui triclini. Ma l'inserimento del portico, rimaneva utile anche in inverno visto che poteva

essere facilmente illuminato in quanto le parti edificate intorno al peristilio erano generalmente ad un piano.

Infine anche la disposizione degli ambienti non era casuale, essa era strettamente dettata dalle attività fatiche che in essi si svolgevano in stretto legame con il clima.

#### Libro VI, 4 Le esposizioni piu' appropriate per i singoli ambienti

*...i triclini d'inverno e i bagni debbono guardare all'occidente invernale così da sfruttare la luce del pomeriggio e anche perché il sole che volge al tramonto diffondendo la luce frontalmente e mandando calore, rende tale esposizione più tiepida.*

*...Le biblioteche e le stanze private debbono essere disposte ad oriente, infatti il loro uso richiede la luce del mattino così i libri nelle biblioteche non si deteriorano. Infatti in quelle disposte a mezzogiorno e ad occidente i libri vengono danneggiati dalle tignole che nascono e crescono nell'umidità ....*

*I triclini di primavera e d'autunno debbono essere disposti ad oriente infatti, essendo esposti alla luce, muovendosi il sole verso occidente, questo li rende temperati nelle ore in cui di solito vengono usati.*

*I triclini d'estate invece debbono essere orientati a settentrione perché questa esposizione non si riscalda come le altre nel solstizio, e poiché si trova in posizione opposta al corso del Sole è sempre refrigerata cosicché si prova piacere a starci.*

*La stessa esposizione debbono avere le pinacoteche, i laboratori di tessitura, di ricamo e le botteghe dei pittori, perché i colori messi in opera, per essere la luce costante, mantengono immutata la loro qualità.*

#### **5.1.4 I fabbricati rurali del periodo romano: le ville rustiche.**

Se la disposizione dell'edificio, intesa come orientamento ai fini bioclimatici, poteva essere in città condizionata dall'interdipendenza con altri edifici e dal reticolo stradale, nelle zone rurali l'esposizione della villa non trovava grandi ostacoli.

Diversi scrittori latini come Catone (234-149 a.C.) *De Agricoltura*, Varrone (116-27 a.C.) *Res rusticae*. Columella (4 d.C.- 70 d.C.) *De re rustica*, si occupano di scrivere trattati sull'agricoltura, nei quali sottolineano alcuni principi bioclimatici fondamentali riguardanti le ville rustiche.

Per una maggiore comprensione si riportano di seguito diverse citazioni provenienti dall'opera del Columella che sostanzialmente ricalca le opere degli altri autori.

Dapprima egli analizza il sito migliore per potervi impiantare il complesso del podere costituito sia dalla villa che dall'estensione dei terreni, generalmente coltivati a oliveto e vigneto per la produzione di olio e di vino.

#### Esposizione del podere

*...dovremmo avere un campo dove il clima è salubre, feconda la zolla, in parte piano, o in parte a colline mollemente digradanti verso oriente o mezzogiorno. (libro primo 2.3)*

#### Esposizione della villa

*....Bisogna dunque cercare un certo equilibrio tra freddo e caldo; in generale questo si trova a mezza costa sulle colline. L'aria, infatti, non essendo troppo bassa, non viene irrigidita dalla brine invernali e nemmeno surriscaldata dai vapori estivi; e non essendo troppo alta, non è agitata in ogni stagione dell'anno dai movimenti, anche minimi, del vento o delle piogge, come sulle cime dei monti. (libro primo 4.9)*

In Molise diversi sono i resti pertinenti a Ville Rustiche disseminate sull'interio territorio, alcune scavate in parte, altre se ne conoscono solo pochi dettagli. Una di queste è la Villa dei *Nerazii*, una facoltosa famiglia senatoria di Sepino. Tale villa, ubicata nel comune di S.Giuliano, è situata su un'area degradante verso sud e in posizione più elevata rispetto alla città di Sepino. L'esposizione e l'ubicazione della villa quindi sono pienamente rispondenti ai criteri appena citati.

*Se vi sarà un fiume, sia pure lontano dai colli, e la salubrità del luogo e una sopraelevazione del terreno permetteranno di costruire la villa vicino alla corrente, bisognerà tuttavia fare in modo che il fiume sia alle spalle e non davanti, in modo che la fronte dell'edificio non sia esposta ai venti dannosi, ma guardi nella direzione dei benefici: da quasi tutti i fiumi, infatti, si alza d'estate un velo di vapori, d'inverno una folta nebbia, e ci vuole un vento di una certa forza per allontanarla; altrimenti è causa di malattie per gli uomini e per gli animali.*

*Come ho già detto l'esposizione migliore della villa nei luoghi salubri è verso oriente o mezzogiorno; nei luoghi malsani a settentrione. (libro primo 5.2)*

Altre ville rustiche sono situate nella zona del fiume Trigno, ottimo corridoio di comunicazione, soprattutto ai fini commerciali, tra l'interno e la costa adriatica. La villa rustica di Roccavivara, parzialmente scavata ed aperta al pubblico, mostra come la sua disposizione non è propriamente l'ideale in quanto poco distante dal fiume

Trigno. Tuttavia le ricostruzioni grafiche mostrano come la facciata principale della villa sia orientata verso est, lasciandosi il fiume completamente alle spalle.

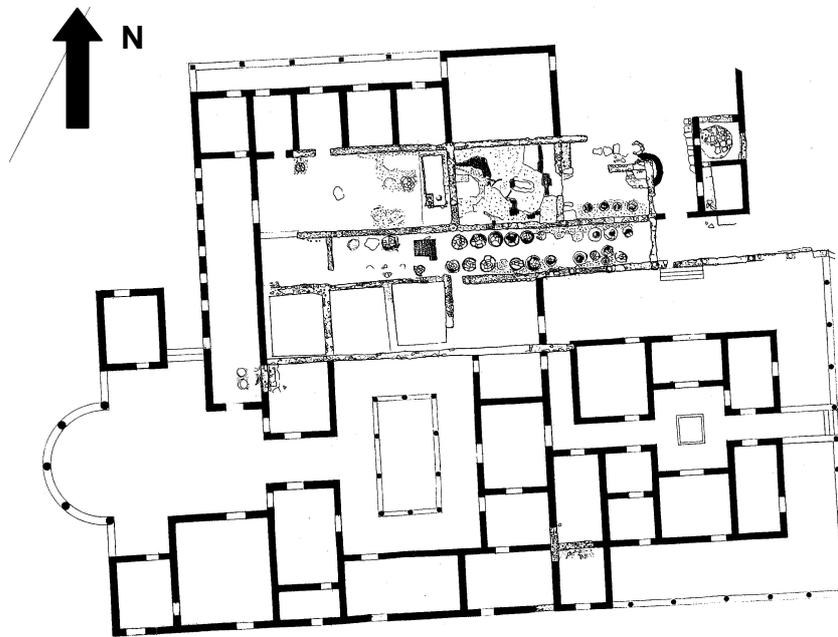


FIG 5.9 – Sito La villa romana in loc. Canneto a Roccavivara (CB)

*... fabbricare la villa (...) un po' in alto con la facciata rivolta verso il punto dell'orizzonte dove il sole sorge nell'equinozio. Infatti questa posizione è in equilibrio tra i venti invernali e quelli estivi; per conseguenza la villa riceve tanto più liberamente le brezze estive, ed è tanto meno esposta alle procelle invernali, quanto più il suolo su cui viene edificata guarda a oriente; infatti si ha lo sgelò appena è sorto il sole, e così la brina e il ghiaccio si sciolgono. Un luogo male esposto ai venti e al sole si può considerare veramente malsano, perché non ci sono altre forze, se queste mancano, capaci di asciugare e detergere le brine notturne, l'umidità rugginosa e muffa ... (libro primo 5.7)*

L'edificio rurale: la pars urbana, la pars rustica, la pars fructuaria.

*Il numero e la distribuzione degli edifici deve corrispondere all'insieme della costruzione e va diviso in tre parti: villa padronale, casa rustica, magazzini per i raccolti.*

### Pars Urbana

*La villa padronale, a sua volta, sia distinta in appartamento invernale ed estivo in questo modo: le camere da letto per l'inverno guardino verso il punto in cui il sole sorge in questa stagione, le stanze da pranzo verso il punto in cui tramonta all'equinozio. Al contrario per l'estate: le camere da letto guardino il punto in cui si trova il sole a mezzogiorno negli equinozi, e le stanze da pranzo l'oriente invernale. I bagni devono essere volti all'occidente estivo, perché rimangono illuminati da mezzogiorno fino alla sera. Gli ambulacri si trovino esposti al mezzogiorno equinoziale, per poter ricevere d'inverno il massimo, d'estate il minimo del sole. (libro primo 6.2)*

Un'altra villa rustica a S.Martino in Pensilis, parzialmente scavata, presenta perfettamente riconoscibili le tipiche absidi dei bagni degli ambienti termali, completamente esposti ad ovest.

### Pars rustica

*.... Per gli schiavi non legati costruiremo stanzette salubri, se le volgeremo verso il mezzogiorno equinoziale; ...*

*Per le bestie si faranno stalle ce non siano soggette né al caldo né al freddo eccessivo, per gli animali da giogo una stalla estiva e una stalla invernale, e per gli altri animali, che è bene tenere dentro la fattoria, luoghi in parte coperti, in parte a cielo aperto, ma chiusi con alte palizzate: nei primi staranno d'inverno, negli altri d'estate....(libro primo 6.4)*

### Pars fructuaria

*La parte destinata ai prodotti si divide in olearia, stanza del torchio, cantina per il vino crudo e per il vino cotto, fienili, pagliai, magazzini e granai. La parti a terreno siano destinate alla conservazione dei prodotti liquidi, come il vino e l'olio da vendere; i prodotti aridi invece, come il grano, il fieno, i fogliami, la paglia e in generale i foraggi, si dispongano su palchi o tavolati. I granai, in particolare, siano situati in alto vi si acceda con scale; vi siano strette finestrelle da cui penetrino i venti del nord, perché questa direzione del cielo è la più fredda e la meno umida e per tutte e due le ragioni garantisce la conservazione del grano. La stessa disposizione deve avere la cantina, situata a terreno; e deve essere lontanissima da bagni, dal forno, dal letamaio e da ogni altro ammassamento di rifiuti, che emanino cattivi odori, e non meno lontana*

*dalla cisterne e dalle acque scorrenti, perché l'umidità che ne emana danneggia il vino. (libro primo 6.8)*

La disposizione della cantina, con le tipiche *olle vinarie*, nella villa di Roccavivara si dispone longitudinalmente la *pars rustica* e completamente rivolta a nord. La parte invece dove si conservava l'olio, è in adiacenza alla cantina, ma si volge verso est, verso la zona dove era ubicata anche una fornace per la realizzazione delle olle, dove si poteva ottenere una temperatura maggiore da non far solidificare l'olio.

*Il frantoio e le celle olearie devono essere calde, perché ogni liquido si dilata facilmente con il calore, ma con il gran freddo si rapprende; e l'olio in particolare, che cola tanto lentamente, si congela con facilità e poi si irrancidisce. Il calore però deve essere naturale, ottenuto con buona esposizione degli ambienti: fuoco e fiamme sono dannosi perché il fumo e la fuliggine rovinano il sapore dell'olio. Il frantoio riceve dunque luce da mezzogiorno, perché non ci sia bisogno di lucerne quando si frangono le olive. (libro primo 6.19)*

Infine anche Vitruvio, nel suo trattato *De Architettura*, riporta le prescrizioni che un buon edificio rurale deve possedere.

#### Libro VI, 6 L'abitazione rurale

*...la cucina si troverà nel posto più caldo della corte e accanto ad essa ci saranno le stalle dei buoi, le cui mangiatoie saranno rivolte verso il fuoco e verso il sole nascente, affinché i buoi, guardando la luce e il fuoco, non diventino aggressivi.*

*... i bagni devono essere vicino alla cucina ....*

*Anche il frantoio deve essere vicino alla cucina, ...., vicino ci sarà la cantina per il vino con le finestre a settentrione; se le avesse infatti da un'altra parte, dove potrebbe venire riscaldata dal sole, il vino in quella cantina, disfatto dal caldo perderebbe la sua forza.*

*La cantina dell'olio invece sarà collocata in modo da ricevere luce dal mezzogiorno e dalle regioni calde: l'olio infatti non deve congelare, ma deve essere reso più leggero dal tepore del calore.*

*... I granai disposti in locali elevati siano orientati a settentrione e ad aquilone (nord est); in tal modo il frumento non si riscalderà subito, e anzi, rinfrescato dal vento si conserverà a lungo. Le altre esposizioni favoriscono la crescita del verme e di altri insetti che guastano il frumento.*

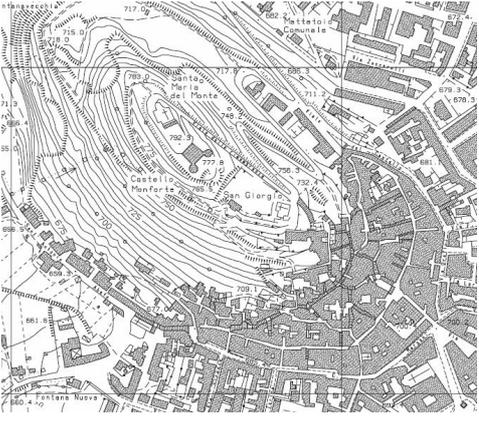
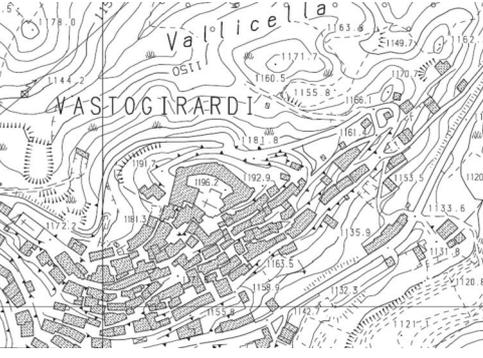
### **5.1.5 L'urbanistica solare dei borghi medioevali**

Dopo la caduta dell'impero romano, e in tutto il periodo medioevale, le città modificano il territorio: gli agglomerati di pianura si trasferiscono sulle colline per motivi difensivi. Nasce un nuovo tipo di insediamento legato soprattutto al fenomeno dell'incastellamento. La nuova città sembra nascere senza regole: un agglomerato di poche case intorno al *castrum*, col passare del tempo, si espande sulle pendici della collina verso valle. Pur nella disomogeneità edilizia, le abitazioni si dispongono lungo strade che corrono quasi parallele alle linee di livello. Ma è proprio l'orografia del sito che determina lo sfalsamento delle case lungo le linee di massima pendenza. Infatti i piani alti hanno sempre la visuale libera dall'edificio frontale posto più a valle. Se infatti l'orientamento delle strade è in direzione est-ovest, la parete sud dell'edificio risulta essere soleggiata in special in sommità.

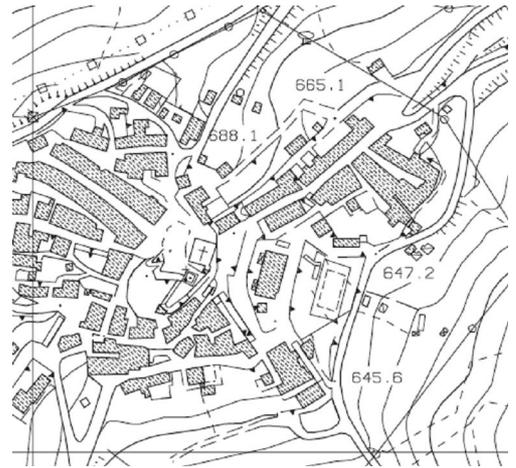
Da una analisi sul territorio molisano, risulta che gli agglomerati urbani dell'interno si adagiano su alture degradanti verso sud, sud-est o sud-ovest.

E' sorprendente osservare che gli agglomerati di cresta, cioè quelli che sorgono in sommità di colline, hanno il versante esposto a nord poco urbanizzato, o addirittura per niente come nel caso di Vastogiradi (IS). L'esigenza di favorire lo sviluppo urbano verso sud, non è dovuto solo ad una questione di insolazione, ma soprattutto ad evitare l'impatto dei venti freddi provenienti da nord. Infatti è l'orografia stessa a creare una zona di sottovento proprio dove si sviluppa l'area edificata. L'agglomerato di Pietrabbondate (IS) invece usa come barriera frangivento la linea delle "morge", cioè le grandi masse rocciose, che chiudono il paese alle spalle dalle correnti da nord. Lo stesso sistema è molto evidente nell'agglomerato di Pesche (IS). L'arroccamento del paese sotto il castello, e comunque su versante roccioso degradante, con notevole pendenza verso sud-ovest, rende l'abitato ottimamente esposto alla radiazione solare nei mesi invernali e soprattutto dai venti provenienti da nord-est che risultano essere i più freddi.

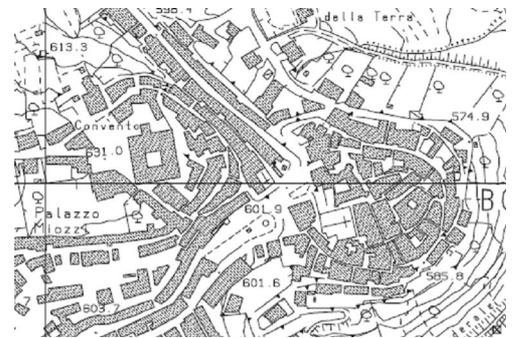
Di seguito si riportano alcune planimetrie, e le immagini fotografiche relative, di alcuni comuni molisani la cui tessitura urbana medioevale risulta essere significativa dal punto di vista bioclimatico.

Campobasso		
Vastogirardi (IS)		
Pesche (IS)		
Pietrabbondante (IS)		

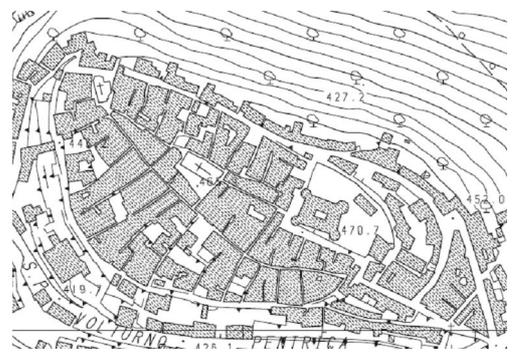
Pietracupa (CB)



Bonero (CB)



Monteroduni (IS)



## 5.2 Metodi di calcolo della radiazione solare

### 5.2.1 L'irraggiamento solare

Il sole è una stella ed è sede di reazioni termonucleari a catena. Nella reazione di fusione, durante la quale l'idrogeno si combina per formare elio, avviene nel nucleo una conversione di massa in energia.

Nel nucleo incandescente si produce così una temperatura stimata tra 16 e 40 milioni di gradi; attraverso una serie di processi radiativi e convettivi avviene il trasferimento del calore alla superficie dove avviene l'irraggiamento verso lo spazio. La temperatura della superficie si porta allora ad un valore di circa 5780 K, tale da fare insorgere un equilibrio tra l'energia che la superficie stessa riceve dal nucleo e quella che emette verso gli spazi siderali. Il sole si comporta allora come un corpo nero che, alla temperatura di 5780 K, irradia energia nello spazio. Quasi il 99% della radiazione solare ha lunghezza d'onda compresa tra 0.15 e 4  $\mu\text{m}$  e il massimo di intensità si ha a circa 0.5  $\mu\text{m}$ ; la parte compresa tra 0.4 e 0.74  $\mu\text{m}$  occupa la zona visibile dello spettro mentre a sinistra ed a destra di tale fascia si trovano rispettivamente le zone dell'ultravioletto e dell'infrarosso.

La seguente figura mostra il confronto tra lo spettro solare al di fuori dell'atmosfera e quello sulla superficie terrestre.

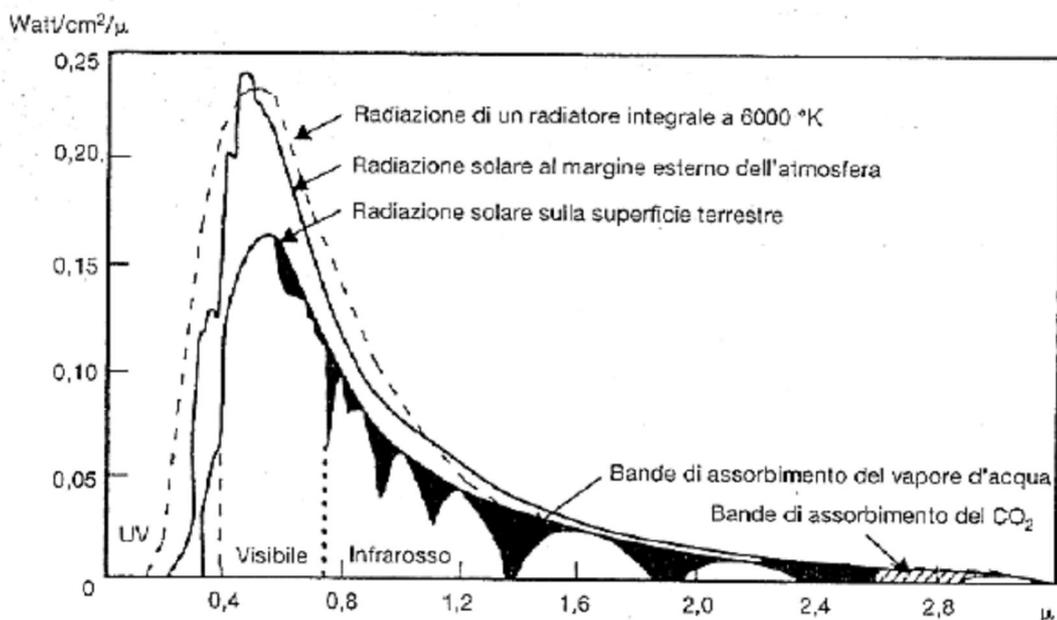


FIG. 5.10 Spettro della luce solare.



Occorre ricordare che quando la radiazione diretta non può colpire una superficie a causa della presenza di un ostacolo, l'area ombreggiata non si trova completamente oscurata grazie al contributo della radiazione diffusa. Questa osservazione ha rilevanza tecnica specie per i dispositivi fotovoltaici che possono operare anche in presenza di sola radiazione diffusa.

Radiazione solare	Condizioni atmosferiche							
	Cielo sereno	Nebbia	Nuvoloso	Disco solare giallo	Disco solare bianco	Sole appena percettibile	Nebbia fitta	Cielo coperto
globale	1000 W/m <sup>2</sup>	600 W/m <sup>2</sup>	500 W/m <sup>2</sup>	400 W/m <sup>2</sup>	300 W/m <sup>2</sup>	200 W/m <sup>2</sup>	100 W/m <sup>2</sup>	50 W/m <sup>2</sup>
diretta	90%	50%	70%	50%	40%	0%	0%	0%
diffusa	10%	50%	30%	50%	60%	100%	100%	100%

FIG. 5.12 – Diffusione nell'atmosfera radiazione solare in funzione delle condizione atmosferiche.

Le proporzioni di radiazione diretta, diffusa ed albedo ricevuta da una superficie dipendono:

- *dalle condizioni meteorologiche.* Infatti in una giornata nuvolosa la radiazione risulta essere prevalentemente diffusa, mentre quella diretta si annulla per condizioni di completa copertura del cielo. Inoltre la radiazione diretta tende a diminuire con l'umidità fino ad annullarsi in caso di nebbia fitta. Invece, in una giornata serena con clima secco predomina la componente diretta, che può arrivare fino al 90% della radiazione totale.
- *dall'inclinazione della superficie rispetto al piano orizzontale.* Una superficie orizzontale può ricevere la massima radiazione diffusa e la minima riflessa, se non ci sono intorno oggetti a quota superiore a quella della superficie. Viceversa la radiazione diretta potrebbe non essere la massima, specialmente in inverno quando il sole è basso sull'orizzonte.
- *dalla presenza di superfici riflettenti.* Il contributo maggiore alla riflessione è dato dalle superfici chiare; così la radiazione riflessa aumenta in inverno per effetto della neve e diminuisce in estate per l'effetto di assorbimento dell'erba o del terreno.
- *dalla latitudine.* Infatti a latitudini maggiori la radiazione solare deve attraversare maggiori strati di atmosfera.

Inoltre al variare della località, varia il rapporto fra la radiazione diffusa e quella totale e poiché all'aumentare dell'inclinazione della superficie di captazione diminuisce la componente diffusa e aumenta la componente riflessa, l'inclinazione che consente di massimizzare l'energia raccolta può essere differente da località a località.

### 5.2.2 Flusso energetico solare su una superficie

Con il termine radiazione solare si intende l'energia raggiante proveniente dal sole, il quale si comporta come un corpo nero.

La quantità media di energia solare che incide ortogonalmente, nell'unità di tempo, su una superficie unitaria posta al di fuori dell'atmosfera, prende il nome di *costante solare*  $G_{esc}$  ed assume il valore medio di  $1353 \text{ Wh/m}^2$ .

In realtà la costante solare varia durante l'anno in quanto la distanza Terra-Sole non è costante, perciò la relazione che consente il calcolo della Radiazione Solare Extra-atmosferica  $G_e$  giorno per giorno è la seguente:

$$G_e = G_{sc} \left[ 1 + 0,033 \cdot \cos\left(\frac{360g}{365}\right) \right]$$

dove  $g$  rappresenta il numero progressivo del giorno dell'anno.

Per il calcolo dell'intensità della radiazione extra-atmosferica su di un piano orizzontale che si muove solidale con la terra occorre attribuire all'intensità il valore di vettore che ha la stessa direzione dei raggi solari. La componente normale di detto vettore rappresenta l'intensità della radiazione incidente su un piano orizzontale.

Ossia

$$G_{eo} = G_e \cdot \text{sen}\beta = G_e \cdot [\cos(L)\cos(\delta)\cos(W) + \text{sen}(L)\text{sen}(\delta)]$$

Questa relazione rappresenta l'intensità istantanea della radiazione extra-atmosferica, integrando tale relazione sull'intera giornata, cioè tra  $W_s$  e  $-W_s$ , rispettivamente angolo di alba e angolo di tramonto

$$H_{eo} = \frac{24}{2\pi} \int_{-W_s}^{W_s} G_{eo} dw$$

$$H_{eo} = \frac{24}{\pi} G_e \left[ \cos(L)\cos(\delta)\text{sen}(W_s) + \frac{2\pi W_s}{360} \text{sen}(L)\text{sen}(\delta) \right]$$

Per calcolare la Radiazione totale incidente su una superficie piana comunque orientata ed inclinata, all'interno dell'atmosfera si applica la formula nella quale i parametri fanno riferimento alla seguente figura.

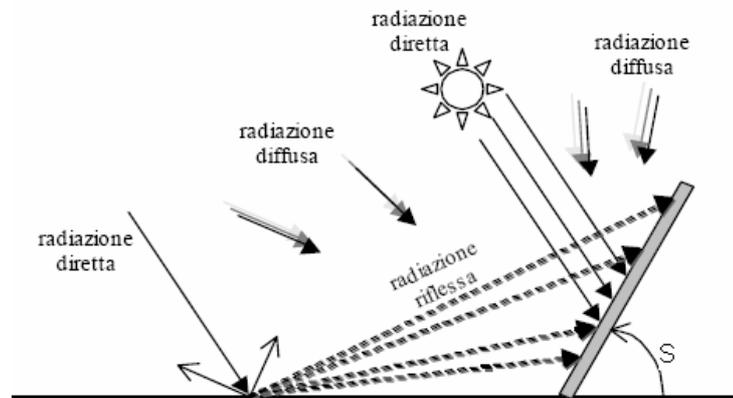


FIG. 5.13 – Radiazione globale su piano comunque inclinato.

$$G = G_{\text{diretta}} + G_{\text{diffusa}} + G_{\text{riflessa}}$$

$$G = G_{bo} \cdot R_b + G_{do} \cdot \frac{1 + \cos(s)}{2} + \rho \cdot G_o \cdot \frac{1 - \cos(s)}{2}$$

dove:

- $G_{bo}$  = radiazione solare DIRETTA incidente su superficie ORIZZONTALE
- $G_{do}$  = radiazione solare DIFFUSA incidente su superficie ORIZZONTALE
- $G_o = G_{bo} + G_{do}$  = radiazione solare TOTALE incidente su superficie ORIZZONTALE
- $R_b$  = rapporto fra radiazione solare totale incidente sulla superficie in esame e quella incidente su superficie orizzontale
- $\rho$  = albedo o coefficiente di riflessione per la radiazione diffusa dall'ambiente circostante
- $S$  = inclinazione sull'orizzontale della superficie in esame.

Dalla precedente relazione si nota subito che per  $s=0$ , cioè superficie orizzontale, la radiazione diffusa risulta essere massima mentre risulta nullo il contributo della radiazione riflessa.

Il fattore di riflessione che tiene conto della radiazione solare riflessa dall'ambiente circostante (ALBEDO) è funzione del materiale che riflette, e quindi parlando di spazi aperti, anche da periodi dell'anno. Infatti un paesaggio innevato ha un alto coefficiente

di albedo pari a 0,75; per un paesaggio verde 0,26. Generalmente, come accettato dalla letteratura, si preferisce far riferimento ad un valor medio per tutto l'anno pari a 0,20, in casi particolari si andranno i coefficienti più appropriati.

Per ciò che attiene il fattore  $R_b$ , occorre far riferimento alla seguente figura.

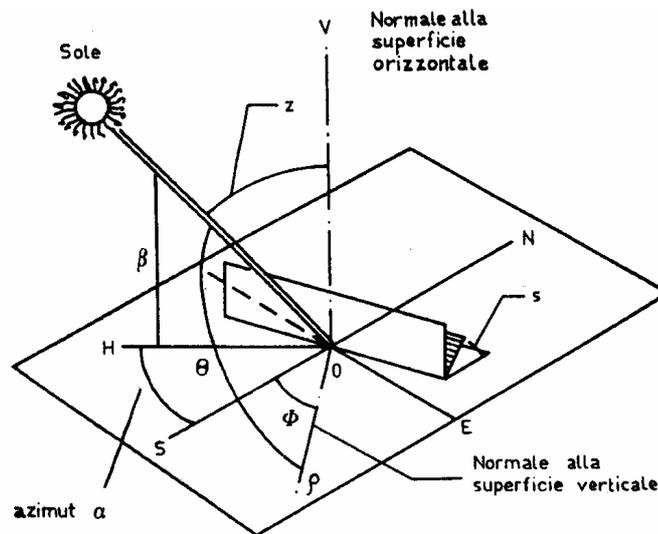


FIG. 5.14 – Individuazione dei parametri geometrici.

Come definito precedentemente, tale fattore rappresenta il rapporto tra la radiazione incidente sulla superficie in esame, ossia funzione del  $\cos\theta$  e quella su superficie orizzontale, ossia funzione del  $\sin\beta$ .

Pertanto: 
$$R_b = \frac{\cos(\theta)}{\sin(\beta)}$$

Si dimostra inoltre che 
$$R_b = \frac{\cos(\beta)\cos(\alpha - \phi)\sin(s) + \sin(\beta)\cos(s)}{\sin(\beta)}$$

Noti  $\alpha$  e  $\beta$  dalle formule dei percorsi solari, data la superficie in esame individuata da un angolo di inclinazione  $s$  e orientata di un angolo  $\phi$  (positivo verso est) rispetto alla direzione sud,  $R_b$  è immediatamente calcolabile per quel determinato istante.

A questo punto le uniche incognite sono rappresentate dalla Radiazione solare diretta  $G_{bo}$  incidente sul piano orizzontale e dalla Radiazione solare diffusa  $G_{do}$  incidente sul piano orizzontale.

I metodi proposti per il calcolo delle suddette incognite sono costituite dal Metodo ASHRAE e il Metodo di Liu e Jordan<sup>1</sup>.

### 5.2.3 Il metodo ASHRAE

Tale metodo utilizzato dall'omonimo istituto di ricerca americano, si basano su formule di tipo esponenziali ottenute da osservazioni sperimentali a cielo sereno (ipotesi base). Tali risultati non dovrebbero differire del +/- del 10% rispetto a quelli reali.

Con tale metodo possiamo quindi calcolare la  $G_{bo}$  (radiazione solare DIRETTA incidente su superficie ORIZZONTALE) e la  $G_{do}$  (radiazione solare DIFFUSA incidente su superficie ORIZZONTALE), corrispondenti alle incognite della precedente relazione per il calcolo della radiazione totale su una superficie comunque inclinata. La prima di queste è:

$$G_{bn} = \frac{A}{\frac{B}{e^{\text{sen}\beta}}}$$

e rappresenta la radiazione diretta incidente su un piano perpendicolare alla direzione stessa dei raggi solari. Quindi la componente della radiazione diretta incidente su un piano orizzontale è

$$G_{bo} = G_{bn} \cdot \text{sen}\beta = \frac{A}{\frac{B}{e^{\text{sen}\beta}}} \cdot \text{sen}\beta$$

La radiazione solare diffusa incidente su un piano orizzontale è calcolata in proporzione di quella diretta dalla seguente formula:

$$G_{do} = C \cdot G_{bo} = C \cdot \frac{A}{\frac{B}{e^{\text{sen}\beta}}}$$

dove:

A = costante solare apparente;

B = coefficiente di estinzione

C = fattore di radiazione diffusa

---

<sup>1</sup> CNR – Guida al controllo energetico della progettazione

I tre coefficienti A, B, e C sono ricavati da osservazioni sperimentali e dipendono esclusivamente dal giorno dell'anno a cui ci si riferisce. Dal punto di vista operativo tali valori vengono adoperati prendendo in esame il valore del 21° giorno del mese e considerato come valor medio in quel determinato mese, secondo la tabella di seguito riportata.

Giorno	A [W/m <sup>2</sup> ]	B [W/m <sup>2</sup> ]	C [W/m <sup>2</sup> ]
21 Gen	1230	0,142	0,058
21 Feb	1214	0,144	0,060
21 Mar	1185	0,156	0,071
21 Apr	1135	0,180	0,097
21 Mag	1103	0,196	0,121
21 Giu	1088	0,205	0,134
21 Lug	1085	0,207	0,136
21 Ago	1107	0,201	0,122
21 Set	1151	0,177	0,092
21 Ott	1192	0,160	0,073
21 Nov	1220	0,149	0,063
21 Dic	1233	0,142	0,057

TAB. 5.1 – Coefficienti A, B, C valutati per il 21-esimo giorno del mese.

A questo punto, le incognite della precedente relazione risultano essere tutte note.

Per il calcolo della radiazione solare con il suddetto metodo si è implementato un programma di calcolo che utilizza un foglio di calcolo nel quale è stata costruita una macro.

A titolo di semplificazione si è calcolata la radiazione media giornaliera di ogni mese prendendo come giorno di riferimento non il 21° giorno, bensì quello a cui corrisponde la declinazione media del mese. Le variabili (a e b) sono quelle calcolati in precedenza per la determinazione dei percorsi solari.

Attraverso l'utilizzo di un foglio di calcolo si è eseguito il calcolo della radiazione solare con il metodo dell'ASHRAE su superfici comunque inclinate sull'orizzontale, e ne restituisce il valore per tutte le superfici con azimut compreso tra -180° e + 180° con step di 10°. L'azimut 0° corrisponde ad una superficie completamente rivolta a sud. I valori ottenuti sono stati diagrammati in modo da poter analizzare come varia la radiazione media giornaliera mensile per le varie orientazioni nel corso dell'anno a Campobasso.

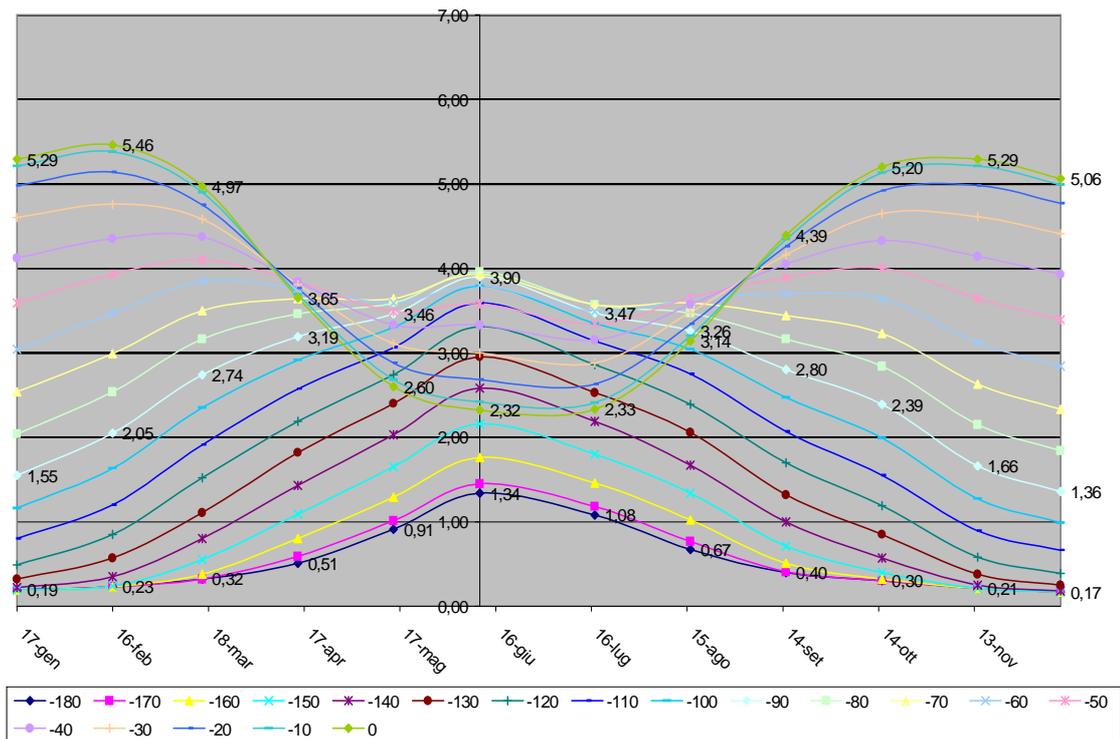


FIG. 5.15 – Andamento della radiazione solare globale (kWh/m<sup>2</sup>) su diversi orientamenti di un ipotetico piano verticale al variare dei mesi a Campobasso.

L'azimut, in ascissa, delle superfici riportate, come si nota, varia da 0° a -180°, in quanto la superfici simmetriche, da 0° a + 180°, sono associate agli stessi valori della radiazione solare, sia perché i percorsi solari sono simmetrici, sia perché le condizioni atmosferiche di cielo sereno si ipotizzano costanti per tutto il giorno.

Dal grafico si nota come la superficie rivolta a sud è quella che raccoglie la massima radiazione solare in inverno e la minima d'estate.

Tali valori rappresentano sicuramente valori massimi, in quanto le condizioni climatiche di cielo sereno non sono mai tali. Infatti ragionando in termini di radiazione giornaliera media mensile dovremmo avere il cielo sereno per 30 giorni al mese.

Prendendo i esame i dati climatici elaborati dall'Enea, precisamente l'archivio DBT, per alcuni siti, sono state rilevate, per ogni mese, il numero medio di giornate serene, nonché quelle di pioggia; per i restanti giorni nuvolosi è indicato l'indice di nuvolosità in decimi di copertura del cielo.

Si è pertanto operata una modifica al metodo ASHRAE in modo che si possa tener conto delle condizioni climatiche medie mensili.

A tale scopo si considera nulla la radiazione diretta nei giorni di pioggia e in percentuale della copertura del cielo durante i giorni nuvolosi utilizzando i dati dell'ENEA che ha rilevato la nuvolosità media mensile espressa in decimi di

copertura del cielo.

Il fattore correttivo della radiazione diretta pertanto è

$$FC \lim a = \frac{(30 - G_{ser} - G_{piog}) \cdot \frac{10 - N_{uv}}{10} + G_{ser}}{30}$$

dove  $G_{ser}$  = n° medio mensile di giorni sereni

$G_{piog}$  = n° medio mensile di giorni piovosi

$N_{uv}$  = indice di copertura del cielo espresso in decimi

La seguente tabella, relativa a Campobasso, mostra come la radiazione totale calcolata  $G_0$  su un piano orizzontale sia prossima a quella osservata dall'ENEA. L'errore maggiore si ha nei mesi freddi e diminuisce in quello caldi. Tale metodologia di calcolo si dimostra particolarmente utile quando non si hanno dati relativi alla radiazione media osservata.

latitudine	giorno	n	d	DATI CLIMATICI ENEA Di			Gb0	Gdo	G0	ENEA/DBT G0
				Gser	Gpiog	Nuv				
41,57										
	17-gen	21	-20,79	11	8	6	1,17	0,38	1,54	1,89
	16-feb	47	-12,70	10	9	6	1,62	0,46	2,07	2,75
	16-mar	75	-2,35	12	8	5	2,66	0,63	3,29	3,81
	15-apr	105	9,19	12	8	5	3,30	0,92	4,21	4,97
	15-mag	135	18,60	14	7	5	4,10	1,19	5,29	6,00
	11-giu	162	23,06	17	6	4	5,36	1,47	6,83	6,56
	17-lug	198	21,07	23	4	3	5,60	1,33	6,93	6,47
	16-ago	228	13,20	23	5	3	4,86	1,13	6,00	5,67
	15-set	258	2,16	18	6	4	3,59	0,80	4,39	4,39
	15-ott	283	-9,38	13	7	5	2,36	0,59	2,95	3,11
	14-nov	318	-18,72	11	9	6	1,25	0,42	1,67	2,03
	10-dic	344	-23,03	11	9	6	0,98	0,34	1,33	1,58

FIG. 5.2 – Comparazione tra i due metodi proposti.

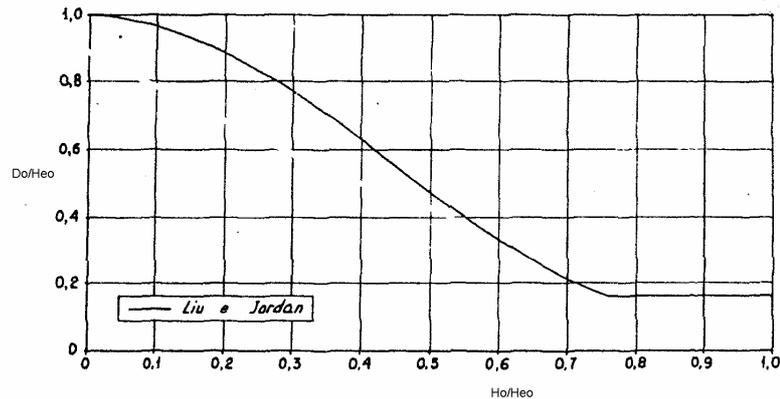
#### 5.2.4 Il metodo di Liu e Jordan

Il metodo di Liu e Jordan è un metodo completamente sperimentale e si basa sulla misurazione della radiazione solare totale su di un piano orizzontale. Partendo da tale dato è possibile stimare le componenti di radiazione diffusa e diretta su un piano comunque inclinato.

Gli autori hanno mostrato, attraverso misure sperimentali, per superfici orizzontali in una particolare località, che il rapporto tra la radiazione diffusa giornaliera e la radiazione totale giornaliera è pressoché una funzione univoca del rapporto tra la radiazione totale giornaliera e la radiazione extratmosferica. Tale ultimo indice,

inoltre, viene considerato come un indice di nuvolosità in quanto la radiazione totale è fortemente influenzata dalla nuvolosità.

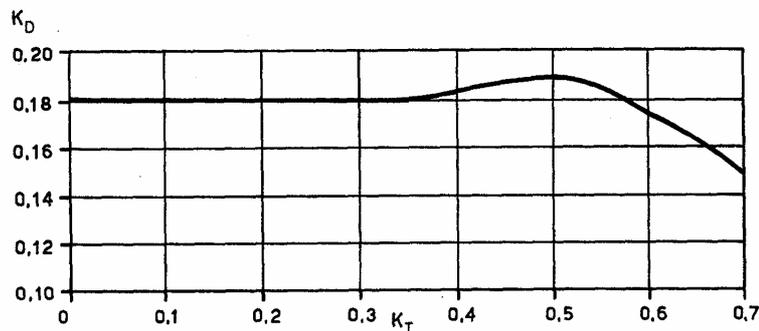
Infatti in una giornata serena la radiazione totale risulta essere maggiore e il rapporto  $H_o/H_{eo}$  cresce. Contemporaneamente il rapporto  $D_o/H_o$  non può che diminuire in quanto la componente diretta della radiazione totale è decisamente maggiore di quella diffusa. Al contrario nei giorni di pioggia o con forte nuvolosità la componente diretta è tendenzialmente nulla e il rapporto  $D_o/H_o$  tende ad al valore 1.



Sperimentalmente tali rapporti, per il tratto centrale, tendono a raggrupparsi intorno ad una retta. Tuttavia affinché tale metodo sia più rapido, sono stati introdotti i due coefficienti

$$K_d = \frac{D_o}{H_{eo}} \quad K_T = \frac{H_o}{H_{eo}}$$

dove  $D_o$  è la radiazione diffusa su piano orizzontale e  $H_o$  la radiazione totale misurata su piano orizzontale. Il diagramma ad essi associato discende direttamente dalle osservazioni sperimentali che hanno generato il precedente, ed è riportato di seguito.



Tale relazione può essere trascritta attraverso una formula polinomiale del tipo:

$$K_D = 0,124 + 0,677K_T - 3,256K_T^2 + 6,881K_T^3 - 4,917K_T^4 - 0,427K_T^5$$

Il metodo è abbastanza rapido. Infatti nota la radiazione totale, la radiazione extratmosferica è facilmente calcolabile come visto in precedenza,

$$H_{eo} = \frac{24}{\pi} G_e \left[ \cos(L) \cos(\delta) \text{sen}(W_s) + \frac{2\pi W_s}{360} \text{sen}(L) \text{sen}(\delta) \right]$$

pertanto risulta noto il coefficiente  $K_t$ . Con tale valore o si entra nel grafico, oppure si calcola  $K_d$  direttamente con la precedente relazione. Noto quindi  $K_d$  è determinabile anche la radiazione diffusa  $D_o$ . Ovviamente la radiazione diretta è data da:

$$G_{bo} = H_o - D_o$$

I valori della radiazione di cui si è parlato come al solito si intendono relativi alla radiazione giornaliera media mensile. Perciò per calcolare la radiazione extratmosferica  $H_o$  giornaliera media mensile ci si riferisce al giorno che in quel mese a cui risulta la associata la declinazione media di quel mese, allo stesso modo per come operato nei diagrammi dei percorsi solari.

A questo punto si pone il problema per il calcolo dei valori orari della radiazione, sia diffusa che diretta. L'importanza della conoscenza di tale dato permette di calcolare la quantità di radiazione solare incidente su una superficie comunque inclinata ed orientata. Se ad esempio consideriamo una superficie verticale completamente esposta ad est, essa è irradiata fino al mezzogiorno solare, perciò il valore giornaliero di radiazione che essa riceve è la somma dei valori orari di radiazione fino al mezzogiorno solare.

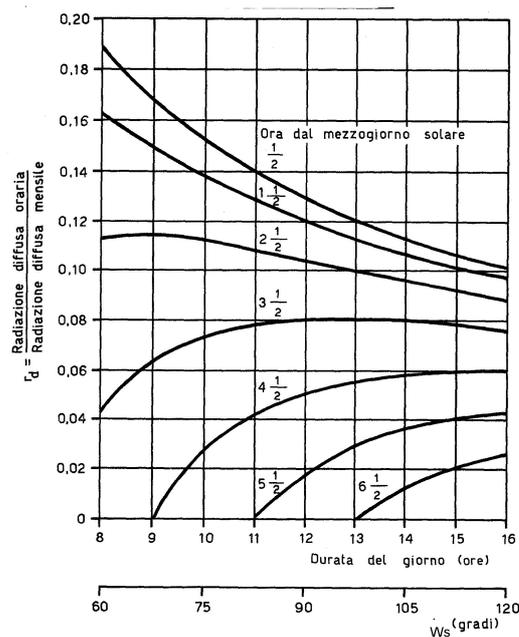
I valori sperimentali, cioè che vengono misurati, e che sono reperibili, in manuali e siti web, sono riferiti alla radiazione media giornaliera su osservazioni di lungo periodo. Il valore medio orario, fortemente influenzato da fattori climatici, non viene fornito. Per ovviare a questo problema esistono relazioni sperimentali per il calcolo sia della radiazione oraria diffusa che di quella diretta.

La relazione presa in considerazione, supportata da osservazioni sperimentali, per il calcolo della radiazione oraria diffusa è la seguente

$$G_{do} = D_o \cdot r_d \quad \text{e} \quad r_d = \frac{\pi}{24} \cdot \frac{\cos W - \cos W_s}{\text{sen} W_s - W_s \cos W_s}$$

dove  $W_s$  rappresenta l'angolo orario di tramonto (o di alba) e  $W$  è l'angolo orario del sole corrispondente ad un determinato istante, a cui corrisponde un azimut  $a$  e un angolo di elevazione  $b$ . Se pertanto si imposta un foglio di calcolo con uno step di 1h, si possono calcolare i corrispondenti valori di  $r_d$ , quindi la radiazione media oraria incidente su un piano orizzontale.

La stessa relazione è riportata nel seguente diagramma.



Per il calcolo della radiazione diretta oraria la relazione adoperata non è proprio così diretta come la seconda, anzi è quasi del tutto empirica, ovviamente supportata da verifiche sperimentali.

Tale relazione è simile a quella del metodo ASHRAE:

$$G_{bo} = G_{bn} \cdot \text{sen}\beta = \frac{A'}{B} e^{\text{sen}B} \quad A' = (K_T - K_D)f$$

Si noti che la relazione del precedente metodo è stata sviluppata per condizioni di cielo sereno, invece, in questo caso essa è stata estesa all'effettiva copertura del cielo. Tali condizioni vengono prese in considerazione tramite il coefficiente A'; il coefficiente B è identico.

A' è legato alle condizioni climatiche tramite i coefficienti K<sub>t</sub> e K<sub>d</sub>, di cui sopra, oltre ad un fattore f dipendente esclusivamente dalla latitudine e dal giorno dell'anno.

Latitudine	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45
MESE										
1	2049	2065	2087	2106	2128	2153	2181	2210	2241	2276
2	1916	1926	1935	1948	1961	1973	1986	2002	2017	2033
3	1847	1853	1860	1866	1875	1882	1891	1898	1907	1916
4	1831	1834	1838	1844	1847	1853	1860	1863	1869	1875
5	1822	1825	1828	1831	1834	1838	1844	1847	1850	1857
6	1828	1831	1834	1838	1841	1844	1847	1850	1857	1860
7	1844	1847	1850	1853	1857	1863	1866	1869	1875	1879
8	1872	1875	1882	1885	1891	1898	1904	1910	1916	1923
9	1891	1898	1904	1913	1920	1929	1938	1948	1961	1970
10	1967	1976	1989	2005	2017	2033	2049	2065	2083	2102
11	2077	2096	2118	2140	2165	2191	2219	2251	2285	2323
12	2124	2150	2175	2203	2232	2266	2304	2345	2389	2440

TAB. 5.3 – valori del coefficiente f al variare della latitudine.

A questo punto sono note tutte le componenti della radiazione oraria ed è possibile calcolare la radiazione intercettata da qualsiasi superficie.

$$G = G_{bo} \cdot R_b + G_{do} \cdot \frac{1 + \cos(s)}{2} + \rho \cdot G_o \cdot \frac{1 - \cos(s)}{2}$$

### 5.2.5 Osservazioni al metodo Liu e Jordan

La radiazione solare è fortemente influenzata dai fattori climatici, soprattutto la nebbia.

Se consideriamo che in diversi luoghi le nebbie sono soprattutto mattutine, la radiazione solare oraria per la prima metà del giorno sarà sicuramente molto differente per la seconda metà del giorno e ragionando in termini di radiazione media giornaliera si capisce subito come tale approssimazione potrebbe portare a calcoli errati.

Se infatti si considera una superficie orizzontale, ha ancora senso parlare di radiazione media giornaliera in quanto ad una mancanza di radiazione del mattino equivale un aumento di radiazione del pomeriggio che vanno a mediarsi. Questo è accettabile perché la superficie orizzontale è comunque esposta ai raggi solari per tutto il giorno, non è così per una superficie inclinata. Ad esempio consideriamo una superficie verticale esposta ad Est, essa è irradiata fino al mezzogiorno solare, poi va in ombra. Ma se tale superficie si trova in un contesto ambientale caratterizzato da nebbie mattutine, essa potrebbe anche non ricevere radiazione diretta, quindi ricevere una quantità minima di radiazione solare. Tutto questo però non è preso in considerazione dal metodo Liu e Jordan, proprio perché la base di partenza del metodo è un valore medio giornaliero, che tiene conto degli effetti climatici medi giornalieri, ma non orari. Infatti nel calcolo della radiazione oraria avremo valori che risultano essere simmetrici rispetto al mezzogiorno solare, cioè la radiazione calcolata alle nove del mattino è la stessa alle 3 del pomeriggio.

Ecco che sia i risultati ottenuti con il metodo ASHRAE e il metodo di Liu e Jordan vanno sempre analizzati con occhio critico se ci si trova in contesti ambientali lontani da situazioni ideali.

### 5.3 Orientamento: applicazioni

#### 5.3.1 Orientamento ottimale di una superficie

Trovare l'orientamento ottimale per un edificio significa disporlo nell'ambiente in modo che l'insolazione ricevuta eviti l'eccessivo riscaldamento in estate e permetta il miglior apporto di radiazione solare nel periodo freddo.

Da premettere che non esiste un metodo unico e semplice atto a risolvere tale quesito. Innanzitutto ci si pone il problema di quale possa essere invece la superficie, quindi il lato dell'edificio, che possa soddisfare i requisiti suddetti.

Si considera quindi la radiazione solare incidente su una superficie verticale con diverse esposizioni. Non è molto logico tenere in considerazione un anno intero, pertanto si considera un periodo freddo in inverno e un periodo caldo in estate.

Si potrebbe prendere in considerazione la classifica climatica fatta dall'ENEA (archivio DBT); ad esempio Campobasso è stata classificata 4F, cioè 4 mesi confortevoli e con più di sei mesi freddi. Più in generale, per il Molise, sono stati considerati un periodo freddo di 4 mesi (novembre, dicembre, gennaio, febbraio) e un periodo caldo di 3 mesi (giugno, luglio, agosto). Operativamente si è calcolata la radiazione incidente su una superficie con il metodo di Liu e Giordan partendo dalla radiazione media giornaliera mensile (Archivio ENEA-DBT) e si sono considerate superfici con azimut compreso tra  $-180^\circ$  e  $+180^\circ$  con uno step di  $10^\circ$ . I risultati ottenuti si sono quindi diagrammati su un piano cartesiano con l'orientamento delle superfici in ascissa e la quantità di radiazione solare ricevuta in ordinata.

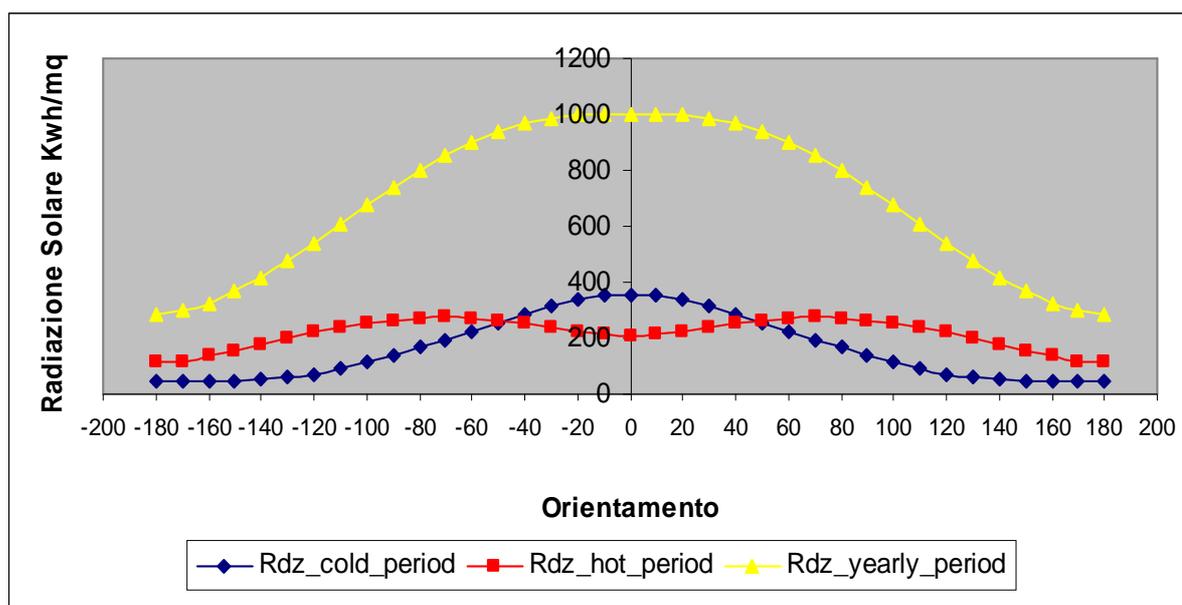


FIG. 5.16 – Variazione della radiazione solare su una parete verticale.

Il grafico mostra che per Campobasso, la superficie che soddisfa i suddetti requisiti è quella esposta a sud, proprio perché la curva della radiazione solare nel periodo sottoriscaldato ha un massimo e contemporaneamente la curva della radiazione solare nel periodo surriscaldato presenta un minimo.

I risultati ottenuti, però erano facilmente intuibili in quanto il dato di partenza, ossia la radiazione giornaliera media mensile non risulta essere un dato utile in quanto, come già detto in precedenza, la radiazione ricevuta nella mattinata potrebbe non essere la stessa di quella del pomeriggio a parità di ore di insolazione.

La distribuzione oraria di tipo simmetrico, rispetto al mezzogiorno solare, della radiazione porta quindi a distribuzioni della radiazione solare, nel lungo periodo e con diverse esposizioni delle superfici, di tipo simmetrico rispetto al sud geografico.

Lo studio dell'Olgay (Progettare con il Clima), in merito all'orientamento, per la fascia temperata degli Stati Uniti, calcola l'orientamento ottimale di una superficie verticale pari a 17°,5 a est del sud.

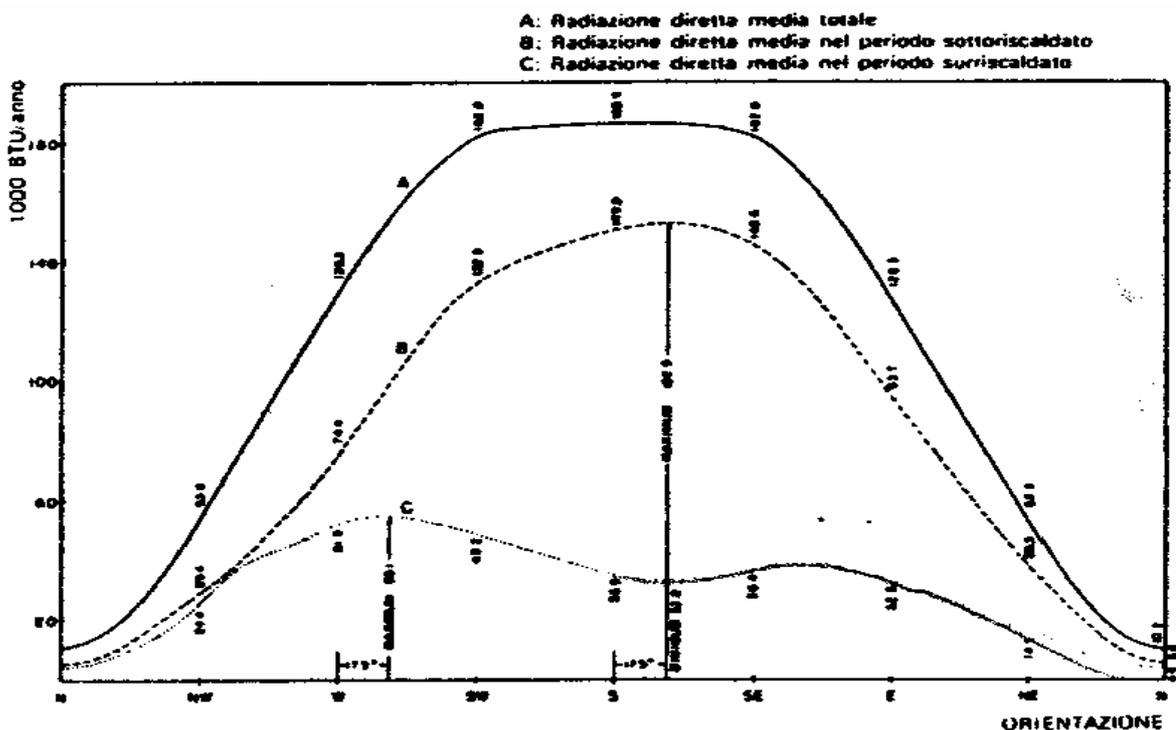


FIG. 5.17 – Variazione della radiazione solare su una parete verticale secondo l'Olgay..

L'Olgay, evidentemente parte da un input di radiazione orario non simmetrico, ma va ben oltre, infatti va a valutare anche l'effetto congiunto della temperatura dell'aria e della radiazione solare ricevuta.

### 5.3.2 Approccio al metodo sole-aria

Si introduce pertanto la *temperatura sole-aria*, cioè quella temperatura fittizia dell'aria esterna che in assenza di scambi radiativi porterebbe ad uno scambio termico superficiale uguale a quello reale dovuto, oltre che agli scambi convettivi, agli scambi radiativi effettivamente presenti.

Trascurando i fenomeni radiativi di grande lunghezza d'onda (radiazione atmosferica e radiazione emessa dalla parete) il calore ceduto dall'esterno alla parete è quindi dato da:

$$h_{ce}(T_{sa} - T_s) = h_{ce}(T_e - T_s) + \alpha I \quad \text{da cui si ricava che } T_{sa} = T_e + \frac{\alpha I}{h_{ce}}$$

dove  $T_{sa}$  = Temperatura sole aria (°C)

$T_s$  = Temperatura della superficie esterna (°C)

$T_e$  = Temperatura dell'aria esterna (°C)

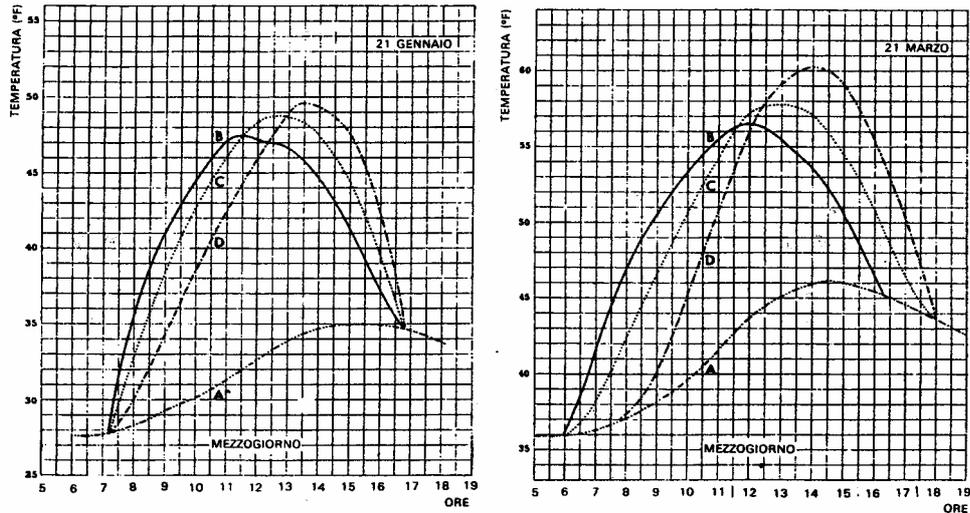
$h_{ce}$  = Coeff. Scambio termico liminare esterno (W/mq°C)

$\alpha$  = Coeff. Di assorbimento della radiazione solare

$I$  = Radiazione solare globale incidente sulla parete (W/mq)

In questo modo quindi è possibile rapportare la temperatura dell'aria esterna agli scambi radiativi effettivi semplicemente sommando la temperatura dell'aria esterna e la temperatura sole-aria; è possibile quindi costruire una curva giornaliera sommando le due temperature in modo da poterne valutare gli effetti congiunti sulla superficie in esame.

L'Olgay mostra che una superficie orientata verso est, cioè con radiazione ricevuta nel mattino quando la temperatura esterna è più fredda rispetto al resto del giorno, la curva totale delle suddette temperature mostra un andamento abbastanza regolare. Infatti in estate si ha che la curva della temperatura sole-aria scende quando la temperatura esterna sale ancora.



A= temperatura esterna  
 B= temperatura sole-aria per una superficie esposta a 17,5°  
 C= temperatura sole-aria per una superficie orientata a SUD  
 D= temperatura sole-aria per una superficie orientata a -25°

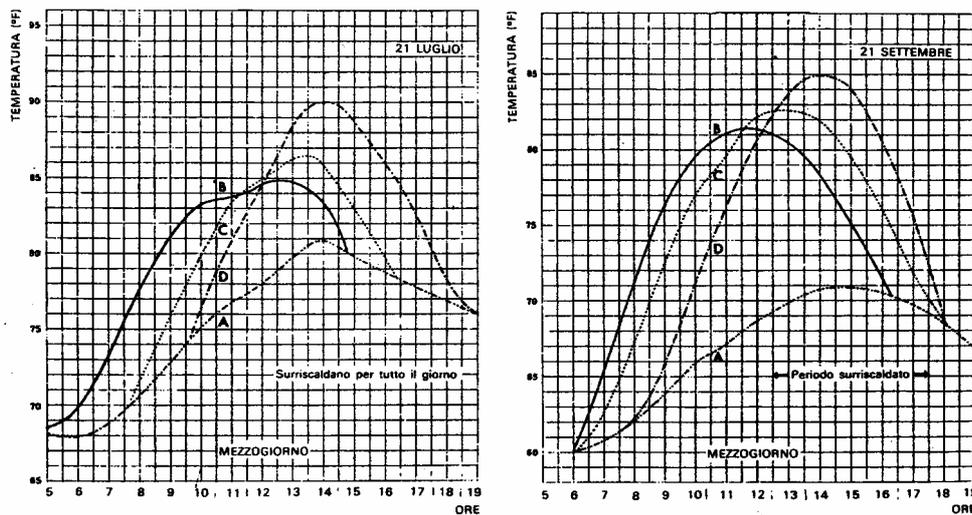


FIG. 5.18 – Applicazione del metodo sole aria dell'Olgay per l'area di New York.

Un'orientazione verso sud-ovest determina un surriscaldamento della superficie che specialmente in estate può causare disagio.

Teoricamente il problema, però, dovrebbe essere valutato in modo che la temperatura cada nella zona di comfort e dovrebbe essere costante tutto il giorno o essere vicino a condizioni di equilibrio di scambio termico. Tali condizioni sono praticamente impossibili da ottenere, ciò che invece si può tentare di ottenere è una distribuzione della temperatura totale più o meno simmetrica intorno all'asse del mezzogiorno. Ciò è perfettamente verificato con una superficie orientata a sud-est, nonostante che l'esposizione verso ovest determina un picco maggiore di tale funzione, ma completamente sbilanciato verso le ore pomeridiane.

In definitiva l'orientazione verso sud-est viene considerata *un'orientazione equilibrata* nella fascia temperata degli Stati Uniti nella zona di New York, per una latitudine media di 42°, che può essere considerata una latitudine media per il Molise. Infatti la latitudine di 42° corrisponde alla cittadina di Termoli sull'Adriatico.

Da tali grafici si nota immediatamente come una parete esposta completamente ad est, o ovest, riceve una notevole quantità di radiazione solare che può provocare surriscaldamento in estate. In inverno invece dette direzioni ricevono una radiazione solare non molto diversa dalla parete esposta completamente a sud.

Partendo dai dati di radiazione oraria giornaliera media mensile calcolata, avendo già a disposizione i dati di temperatura oraria giornaliera media mensile, si è calcolata la temperatura sole-aria per le diverse esposizioni.

I coefficienti usati nella formula di cui sopra sono stati posti  $\alpha=0,60$  e  $h_{ec}=23,2$  (in caso di vento debole).

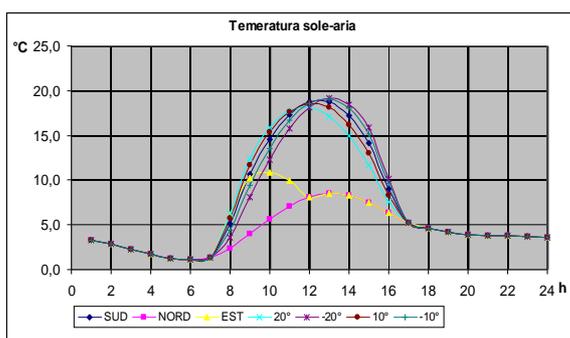


FIG. 5.19 Campobasso – mese di gennaio

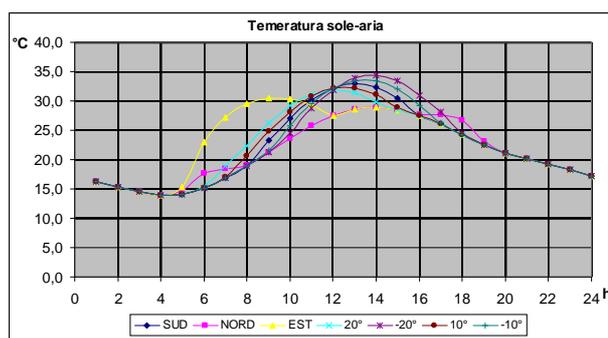


FIG. 5.20 - Campobasso – mese di giugno

Dall'esame dei grafici risulta che la superficie che meglio rispetta il criterio della simmetria delle temperature rispetto al mezzogiorno solare è la superficie orientata a +20° (rivolta a sud-est). È utile notare che alla superficie di -20° (esposta a sud ovest) associata una temperatura sole-aria superiore e spostata verso le ore pomeridiane. Tutto ciò significa surriscaldamento nei periodi estivi, anche se nei periodi invernali non ci sono grandi differenze di temperatura sole-aria per le diverse orientazioni.

Resta quindi confermato, così come trattato dall'Olgay che le superfici esposte a sud-est sono quelle che maggiormente bilanciano la distribuzione della temperatura, e quindi anche degli scambi di calore radiativi/convettivo, rispetto al mezzogiorno solare.

Tuttavia l'edificio, normalmente, è composto da almeno quattro superfici verticali di confine e l'aver calcolato la superficie migliore a fini dell'orientamento significa poter disporre gli ambienti giusti in corrispondenza di quella superficie.

### ORIENTAMENTI OTTIMALI PER I VANI DI EDIFICI RESIDENZIALI

	N	NE	E	SE	S	SO	O	NO
Camere da letto		X	X	X	X			
soggiorno				X	X	X	X	
pranzo			X	X	X	X	X	
cucina		X	X					X
lavanderia	X	X						X
ambienti pluriuso				X	X	X	X	
bagni	X	X						X
ripostiglio	X	X						X
terrazze			X	X	X	X	X	
corpi scala	X	X						X

TAB. 5.4 Esposizioni ottimali per i diversi ambienti dell'edificio.

### 5.3.3 Ipotesi di massima per l'orientamento di un edificio di forma parallelepipedo.

Una prima valutazione di massima per una forma ottimale potrebbe essere quella di valutare la somma della radiazione incidente su tutte le superfici dell'edificio sia nel periodo sottoriscaldato che in quello surriscaldato e valutarne l'andamento come nel caso di una singola superficie.

Di seguito viene riportato un esempio di una ipotetica casa, situata in Campobasso, di forma parallelepipedo e viene fatta ruotare, con step di 10°, e si è visto che la forma che riesce ad intercettare la massima radiazione solare in inverno e la minima in estate è quella che presenta la forma allungata, con rapporto di 1:2, con il lato maggiore esposto completamente a sud, ossia la prima serie con i lati orientati a 0°, 90°, -180°, -90°.

10 5 3		R <sub>tot</sub> _cdd R <sub>tot</sub> _hst												
L LATO1/3 L LATO2/4 ALTEZZA		Periodo sottoriscaldato (Novembre - Dicembre - Gennaio - Febbraio) Periodo surriscaldato (giugno - luglio - agosto)												
LATO1	LATO2	LATO3	LATO4	H LATO1	H LATO1	H LATO2	H LATO2	H LATO3	H LATO3	H LATO4	H LATO4	H CRIZZ	H CRIZZ	H TOT
0	90	-180	-90	6232,42	10700,37	3955,19	2047,68	3377,37	1448,05	3955,19	2047,68	2857,00	12273,50	17522,18
10	100	-170	-80	6376,99	10559,80	3819,71	1688,41	3665,32	1448,05	4057,59	2491,74	2857,00	12273,50	17829,61
20	110	-160	-70	6748,49	10142,57	3608,30	1348,54	4065,63	1448,24	4086,54	2930,78	2857,00	12273,50	18518,96
30	120	-150	-60	7173,32	9464,19	3300,68	1068,64	4700,78	1451,45	4044,44	3381,72	2857,00	12273,50	19249,22
40	130	-140	-50	7578,18	8627,59	3024,81	863,04	5391,09	1539,90	3942,40	3856,67	2857,00	12273,50	19936,47
50	140	-130	-40	7884,80	7713,35	2865,54	769,95	6049,61	1766,07	3789,09	4313,79	2857,00	12273,50	20419,05
60	150	-120	-30	8088,89	6763,44	2350,39	725,73	6661,37	2137,29	3586,66	4732,10	2857,00	12273,50	20687,30
70	160	-110	-20	8193,08	5861,56	2032,81	724,12	7216,60	2897,08	3374,24	5071,29	2857,00	12273,50	20816,74
80	170	-100	-10	8135,18	4883,47	1782,66	724,03	7639,41	3376,82	3188,49	5279,90	2857,00	12273,50	20745,75

TAB. 5.5 Radiazione solare ricevuta da un edificio di forma parallelepipedo.

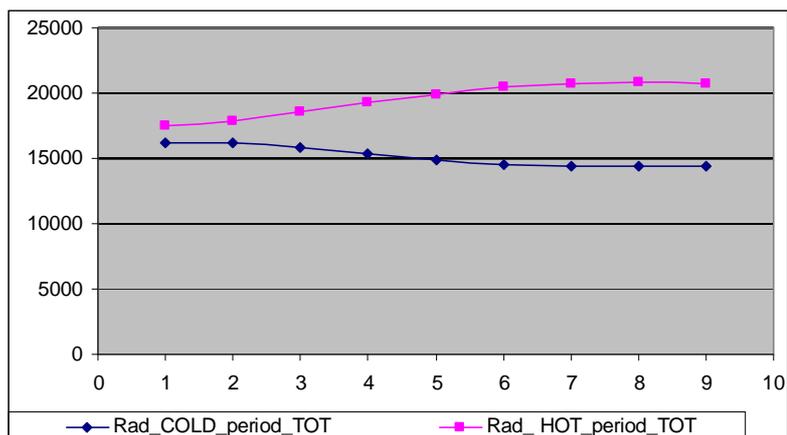


FIG. 5.21 - Radiazione solare ricevuta da un edificio di forma parallelepipedica con diverse orientazioni

Successivamente, però, si è provveduto a calcolare la temperatura sole aria per l'edificio con le facciate orientate nella serie n.1 (sud, est, nord, ovest) e si è messa a confronto detta temperatura con quella scaturente dall'orientamento della serie n.2. (20°, 110°, -160°, -70°).

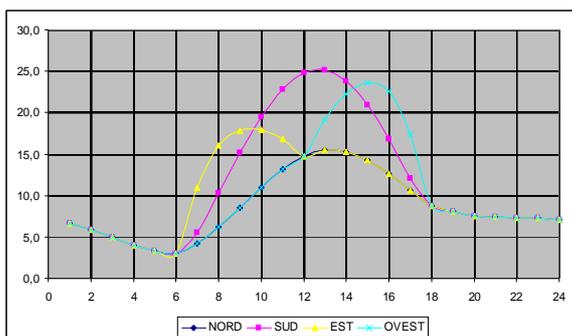


FIG. 5.22 - Campobasso – gennaio – serie n.1

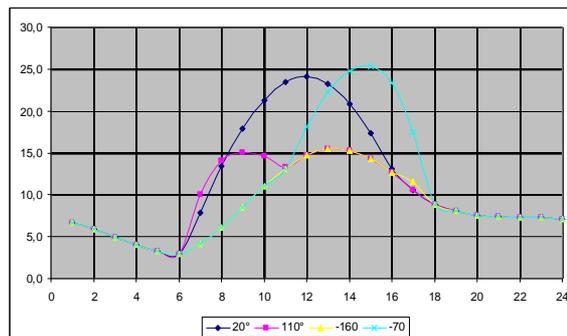


FIG. 5.23 - Campobasso – gennaio – serie n.2

Dai diagrammi si nota che la temperatura sole aria non ha grandi differenze, anche se la superficie che intercetta una temperatura maggiore è sempre quella rivolta a sud. La serie n.2 tuttavia continua a distribuire lo stesso valore di temperatura per circa altre 2 ore nel pomeriggio.

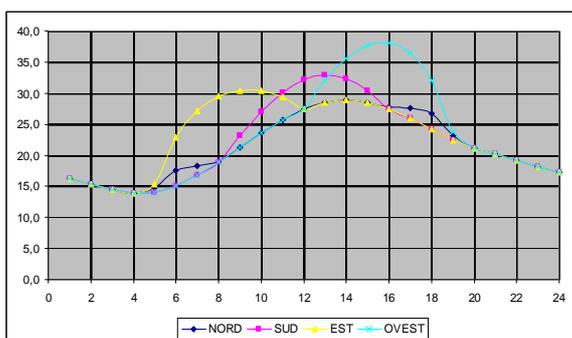


FIG. 5.24 - Campobasso –giugno –serie n.2

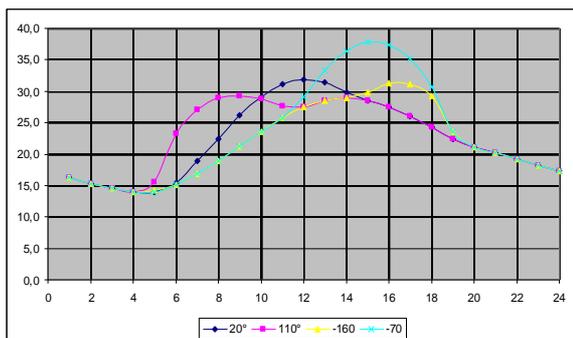


FIG. 5.25 - Campobasso – giugno – serie n.2

In estate, invece si nota sempre un notevole aumento di temperatura nelle pareti esposte ad ovest, ma nella seconda serie i picchi di temperatura sono confrontabili, cioè c'è una migliore distribuzione della temperatura sui quattro lati dell'edificio. Invece, il problema dell'eccessiva temperatura sul lato ovest si può risolvere semplicemente con una schermatura solare.

Quindi anche in questo caso, per un edificio di forma parallelepipedica è preferibile un orientamento che espone la facciata principale rivolta a sud-est.

Relativamente alla forma planimetrica, però, si crede che un edificio quadrato abbia le migliori caratteristiche per conservare il calore d'inverno e rimanere fresco d'estate; questa convinzione è basata sul fatto che un edificio quadrato combina il massimo volume con la minima superficie esterna. Questo principio può essere valido per gli edifici più antichi in cui, a causa delle aperture finestrate molto piccole, l'effetto dell'irraggiamento è molto piccolo. Questo però diventa un errore per gli edifici moderni dotati di finestrate ben più grandi e quindi soggetti ad una diversa dispersione termica e ad un guadagno solare.

Ecco allora che la forma ottimale di un edificio è quella che disperde la minima quantità di calore in inverno e accumula la minima quantità di calore dal sole in estate.

## 6 Le murature d'ambito: un sottosistema bioclimatico

L'economia della costruzione è il fattore che più influenza l'edilizia rurale, in quanto l'approvvigionamento dei materiali da costruzione avveniva nell'immediato ambiente circostante. Così, in special modo le murature, venivano approntate con il materiale di estrazione proveniente dal lotto su cui edificare la costruzione, in alcuni casi l'area di sedime costituiva l'area di cava della pietra o della terra. L'edilizia rurale è quindi uno stretto connubio tra condizioni economiche di coloro a cui è destinata e l'abitudine di sfruttare le risorse ambientali più immediate, un'edilizia che oggi potrebbe essere definita di tipo sostenibile ed ecocompatibile.

Il materiale preponderante nel costruito rurale molisano è la pietra, sia essa calcarea, sia essa arenaria. La pietra calcarea si trova ovunque, nel piccolo campo, lungo il corso dei torrenti, lungo le scarpate di colline o montagne, l'approvvigionamento di questo materiale di certo non è stato un grande problema nel passato specialmente per le zone più interne.

Nelle zone montuose quindi la pietra diviene elemento caratteristico della struttura verticale, diviene muro e pilastro, stipite ed architrave, lastra di copertura e pavimentazione. Il contadino costruttore sfrutta la pietra locale per quanto più gli è possibile. Anche nei luoghi dove la pietra scarseggia, essa è sapientemente approvvigionata e posta in opera nei punti più delicati della costruzione, come nel cantonale.



FIG. 6.1 – Costruzione in pietra – Baranello (CB)

Verso la costa invece si ritrova una pietra arenaria dal colore ocra. Le tipologie murarie sembrano cambiare, così pure la malta che diventa sempre più povera di calce e più ricca di materiale terroso da rendere estremamente vulnerabili queste costruzioni. Proprio a ridosso della costa invece si hanno notizie di strutture edilizie in terra cruda e paglia, oggi non

più rinvenibili. Le costruzioni rurali sono fabbriche essenzialmente povere nei materiali, nella misura in cui si tende a prediligere l'elemento lapideo, che, già presente in natura, richiede minori tempi e costi di lavorazione. Pertanto, l'impiego del laterizio nelle strutture portanti risulta essere piuttosto raro e, a volte, è limitato ai soli piani superiori. Utilizzato prevalentemente per gli elementi decorativi e di finitura,

è presente soprattutto nelle aperture dei vani murari per realizzare piattabande ed archi ribassati, orli e mazzette.

Altro materiale fortemente usato in passato è la terra cruda impastata con paglia.

In Molise tali architetture sono scomparse, anche se nella tradizione orale si tramandano tecniche costruttive adatte per ricoveri di fortuna in ambito prettamente rurale. Infatti tra Termoli, Petacciato e Montenero di Bisaccia gli anziani raccontano

di come si impastava la terra, spesso con l'ausilio degli animali, che con il loro pestare degli zoccoli contribuivano ad impastare la terra con la paglia.

Di queste costruzioni oggi non ne resta alcuna, tuttavia, non a grande distanza, a Casalinocontrada (Ch), se ne trovano ancora diverse costruite proprio con la tecnica raccontata



FIG. 6.2 – Edificio in terra battuta, Casalinocontrada (CH)

dagli anziani di Petacciato.

### 6.1 Tipologie murarie

Strutturalmente la maggior parte delle murature dell'edilizia rurale sono costituite da muri a sacco cioè realizzati con due paramenti, uno interno ed uno esterno, con del materiale di pezzatura minore all'interno. Il paramento unico è essenzialmente associato ad una muratura di mattoni. La caratteristica che accomuna le varie tipologie rinvenute è essenzialmente lo spessore murario, notevolmente superiore a quello dettato da esigenze statiche. L'enorme spessore, variabile tra i 90 cm e i 60 cm, per le murature in pietra, tra i 45 cm e 25 cm per le murature in mattoni, rappresenta un espediente bioclimatico di non poca importanza. Infatti le proprietà termiche della pietra associate a notevoli spessori murari fa sì che la muratura si comporti da volano termico. Più precisamente, come meglio si vedrà in seguito, una muratura di tipo pesante, specialmente nel periodo estivo, rappresenta una barriera all'onda di calore che l'attraversa smorzandola di intensità e sfasandola nel tempo. All'analisi delle tipologie murarie si è cercato di raccogliere dati bibliografici che tenessero conto dei parametri fisici atti a descrivere il comportamento termico della parete.

Nella bibliografia, però, non è stato possibile trovare dei dati specifici associabili a determinati tipi di muratura.

Tali parametri sono costituiti essenzialmente dalla Conducibilità termica  $\lambda$  (W/mK), dal Calore Specifico  $c$  (J/Kg°C) e dalla massa volumica  $\rho$  (Kg/m<sup>3</sup>).



FIG. 6.3 – Sezione muraria parete in pietra.

In mancanza di una sperimentazione si è proceduto ad una valutazione di diverse tabelle, a volte anche con valori contrastanti fra loro, per arrivare ad un valore stimato. Quello che risulta chiaro da tali tabelle è la diversità del parametro  $\lambda$  del materiale puro da quello della parete, cioè costituita da materiale disomogeneo. Infatti all'interno di una

muratura di pietra è possibile trovare diversi materiali, quali materiali a pezzatura maggiore diversi da quelli a pezzatura minore, rinzeppamenti con cocci di laterizio, malte a base di calce impastate con gran quantità di materiale tufaceo. A esempio per le murature con ciottoli di fiume si stima che siano composte da un 35% di malta e da un 65% di materiale litico. Questo tipo di muratura risulta essere molto disomogeneo, pertanto la reale conducibilità termica può essere ottenuta solamente attraverso valutazioni sperimentali.

Anche le costruzioni in laterizio, spesso presentano disomogeneità di materiale, in quanto spesso si impiegano mattoni pieni e forati, ma non disposti a strati regolari verticali.

Le forme più ricorrenti sono: il *pressato*, che è un mattone pieno (13 x 27 x 5.5 centimetri), il *foratone*, caratterizzato da due grandi fori circolari (29 x 26 x 12 centimetri). Nelle murature, ove

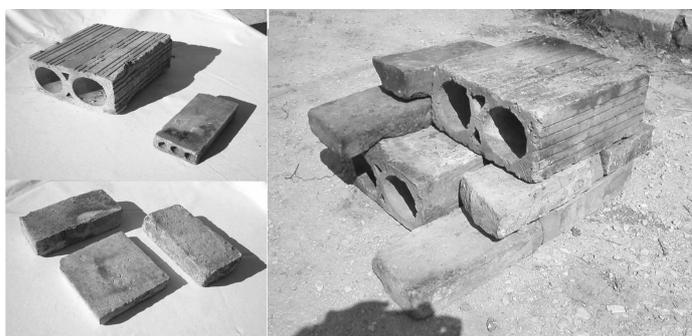


FIG. 10-4 Tipologie di laterizi ricorrenti.

presente, il laterizio è un bucatone, utilizzato per la rapidità di posa in opera, per la minore quantità di malta necessaria allo scopo e per il minor costo di produzione rispetto al mattone pieno a parità di volume. L'impiego di tale mattone, che va messo in opera orizzontalmente in modo da avere i fori orizzontali disposti

longitudinalmente; si associa a quello del pressato, e, con ricorsi alterni di foratoni e di pressati, sia in orizzontale che in verticale, si ottiene una inconsueta listatura che garantisce una maggiore resistenza alla muratura.

Un procedimento di stima della conducibilità che potrebbe seguirsi è quello della media pesata sul volume di pietra e di malta presente in 1 mc di muratura, pertanto alcuni valori sono stati estratti dalla norma UNI 10355.

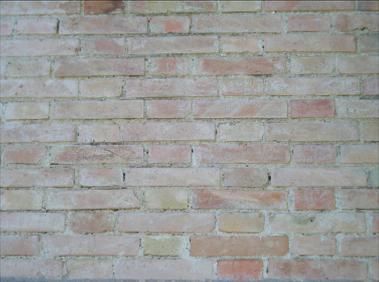
Materiale	$\rho$ (Kg/m <sup>3</sup> )	$\lambda$ (W/mK)
Malta di calce e gesso	1400	0,70
Malta di calce/ calce e cemento	1800	0,90
Calcare	1900	1,50
Calcare	2100	1,60
Laterizio pieno	1800	0,72

TAB. 6.1 – Conducibilità termica di materiali costituenti murature tradizionali.

Quindi se si ipotizza una muratura costituita da malta di calce in percentuale del 20% e il restante 70% da calcare compatto potremmo stimare la conducibilità  $\lambda = 0,70 \times 1,6 + 0,9 \times 0,20 = 1,3$  W(mK).

Di seguito sono riportate le principali tipologie murarie rinvenute sul territorio molisano con la corrispondente conducibilità termica stimata.

<b>M1</b>	<b>Muratura in pietra arenaria e ciottoli</b>
	<p><u>Materiale costituente</u>: ciottoli di fiume di origine calcarea e pietra arenaria.  <u>Lavorazione dei conci</u>: praticamente assente  <u>Localizzazione</u>: fascia prospiciente la costa  <u>Massa volumica</u>: 2000 Kg/mc  <u>Conducibilità termica</u>: 1,4 W/m°C  <u>Capacità termica massica</u>: 0.8 KJ/Kg°C</p>
<b>M2</b>	<b>Muratura in pietra calcarea con rinzeppamenti in laterizio</b>
	<p><u>Materiale costituente</u>: pietra calcarea con rinzeppamenti in laterizio  <u>Lavorazione dei conci</u>: conci appena sbozzati  <u>Localizzazione</u>: prevalentemente zone interne  <u>Massa volumica</u>: 2200 Kg/mc  <u>Conducibilità termica</u>: 1,5 W/m°C  <u>Capacità termica massica</u>: 0.8 KJ/Kg°C</p>

<b>M3</b>	<b>Muratura in pietra calcarea sbazzata</b>
	<p><u>Materiale costituente</u>: pietra calcarea <u>Lavorazione dei conci</u>: conci sbazzati</p> <p><u>Localizzazione</u>: prevalentemente zone interne</p> <p><u>Massa volumica</u>: 2200 Kg/mc</p> <p><u>Conduttività termica</u>: 1,6 W/m°C</p> <p><u>Capacità termica massica</u>: 0.8 KJ/Kg°C</p>
<b>M4</b>	<b>Muratura in pietra calcarea squadrata</b>
	<p><u>Materiale costituente</u>: pietra calcarea</p> <p><u>Lavorazione dei conci</u>: conci lavorati a vista sul paramento esterno</p> <p><u>Localizzazione</u>: prevalentemente zone interne</p> <p><u>Massa volumica</u>: 2600 Kg/mc</p> <p><u>Conduttività termica</u>: 1,7 W/m°C</p> <p><u>Capacità termica massica</u>: 0.8 KJ/Kg°C</p>
<b>M5</b>	<b>Muratura in mattoni pieni</b>
	<p><u>Materiale costituente</u>: mattoni pieni</p> <p><u>Tipo di mattone</u>: "pressato"</p> <p><u>Localizzazione</u>: prevalentemente fascia costiera,</p> <p><u>Massa volumica</u>: 1800 Kg/mc</p> <p><u>Conduttività termica</u>: 0.8 W/m°C</p> <p><u>Capacità termica massica</u>: 0.8 KJ/Kg°C</p>
<b>M6</b>	<b>Muratura mista in mattoni pieni ed occhialoni</b>
	<p><u>Materiale costituente</u>: pietra calcarea</p> <p><u>Lavorazione dei conci</u>: conci lavorati a vista sul paramento esterno</p> <p><u>Localizzazione</u>: zone interne, fascia costiera, escluso alto Molise</p> <p><u>Massa volumica</u>: 1500 Kg/mc</p> <p><u>Conduttività termica</u>: 0.8 W/m°C</p> <p><u>Capacità termica massica</u>: 0.8 KJ/Kg°C</p>
<b>M7</b>	<b>Muratura in terra e paglia</b>
	<p><u>Materiale costituente</u>: terra e paglia</p> <p><u>Lavorazione dei conci</u>: materiale messo in opera ancora plastico senza casseri</p> <p><u>Localizzazione</u>: Abruzzo</p> <p><u>Massa volumica</u>: 1700 Kg/mc</p> <p><u>Conduttività termica</u>: 1,2 W/m°C</p> <p><u>Capacità termica massica</u>: 0.8 KJ/Kg°C</p>

## 6.2 Comportamento termico delle murature massicce

I calcoli di dispersione del calore dalle pareti esterne di edifici viene condotto, normalmente, ipotizzando un regime termico stazionario. Si ipotizza, cioè, che le temperature, sia all'esterno che all'interno dell'edificio, siano costanti nel tempo. In realtà durante l'arco della giornata la temperatura esterna e quella interna variano secondo determinate leggi che normalmente si possono approssimare a sinusoidi. Varia, di conseguenza, la modalità di valutazione delle dispersioni termiche perché

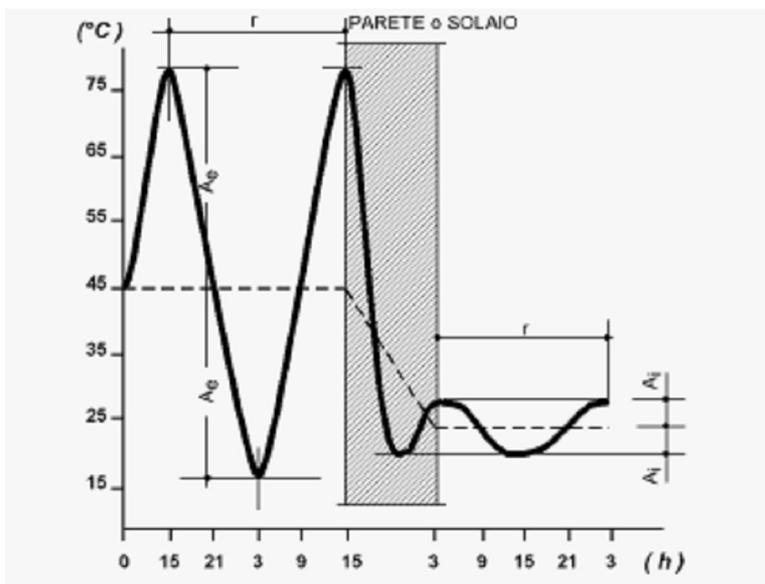


FIG. 6-5 – Andamento della temperatura intorno ad una parete

nel secondo caso entrano in gioco diversi parametri che nel regime termico stazionario sono completamente trascurati. In realtà la parete subisce l'effetto combinato di due caratteristiche: l'accumulo termico, dovuto alla Capacità termica del materiale, e la resistenza termica.

### 6.2.1 Capacità termica

La capacità termica di un materiale descrive la sua attitudine ad accumulare calore che successivamente viene ceduto all'ambiente. Tanto più la capacità termica è elevata tanto meno cambiano le temperature dell'ambiente interno al variare delle temperature esterne. In termini di grandezza termofisica essa è rappresentata dal *calore specifico* che indica la quantità di calore che 1 metro cubo di materiale può accumulare aumentando di un grado la sua temperatura. Per una variazione  $\Delta t$  di temperatura l'accumulo di calore si può calcolare con la relazione:  $Q = c \cdot m \Delta t$  essendo:  $c$  il calore specifico unitario;  $m$  la massa unitaria;  $\Delta t$  la variazione di temperatura.

La tabella seguente riporta il valore dei calori specifici medi di alcuni materiali tradizionali.

Materiale	Massa Volumica $\rho$ (Kg/m <sup>3</sup> )	Conduttività termica $\lambda$ (W/mK)	Calore specifico (J/kgK)	Diffusività termica (m <sup>2</sup> /s*10 <sup>7</sup> )
Muratura in pietra calcarea	2100	1,7	840	9,63
Muratura in pietra arenaria	2000	2	840	11,9
Muratura in mattoni pieni	1800	0,7	840	4,63
Terra	1600	0,6	850	4,41

TAB. 6.2 – Valori delle grandezze termofisiche dei materiali tradizionali da costruzione.

Come si nota, dalla TAB. 6.2, la muratura di pietra calcarea è, tra i materiali tradizionali, quello che ha una capacità termica maggiore. L'influenza della capacità di accumulo termico di una parete sul comfort ambientale può essere messo in evidenza da un esempio. Nelle costruzioni antiche i materiali pieni, pesanti, presentano una grande capacità di accumulo, i muri si riscaldano lentamente dopo, che si è acceso l'impianto, fino a raggiungere la temperatura di comfort ambientale. D'altra parte, una volta spento l'impianto, i muri si raffreddano altrettanto lentamente restituendo il calore, prima accumulato, all'ambiente. Al contrario, con pareti leggere, molto isolate, è possibile raggiungere più velocemente la temperatura voluta, ma altrettanto rapidamente si ottiene il ritorno a temperature basse una volta spento l'impianto di riscaldamento. La capacità termica è influenzata dalla disposizione degli strati. Se ad esempio prendiamo una parete massiccia e la isoliamo dall'interno, avremo la stessa trasmittanza termica di una parete isolata dall'esterno. Dal punto di vista della dispersione del calore le situazioni si equivalgono, ma non è la stessa cosa dal punto di vista della capacità di accumulo termico. Infatti la parete massiccia isolata dall'esterno si comporta, come un volano termico, cioè cede calore per irraggiamento quando vengono interrotti gli apporti di calore.

### 6.2.2 Diffusività termica

L'equazione della trasmissione del calore per conduzione, in termini più generici, può

essere scritta come:

$$\nabla^2 T = \frac{1}{\alpha} \cdot \frac{\partial T}{\partial t}$$

Nel regime variabile invece le proprietà intervengono congiuntamente attraverso la diffusività termica, misurata in m<sup>2</sup>/s, che è una *proprietà di trasporto* che interviene nei transitori termici ed è definita come:

$$\alpha = \frac{\lambda}{\rho \cdot c}$$

dove:

$\lambda$  = conduttività (W/m • °C);  $\rho$  = densità (Kg/m<sup>3</sup>);  $c$  = calore specifico (J/°C • kg)

Osservando la sua espressione vengono evidenziate due attitudini del mezzo tra loro antagoniste: la capacità di condurre l'energia termica ( $\lambda$ ) e di immagazzinarla ( ). Elevati valori di implicano transienti rapidi, ossia rapidità di risposta alle sollecitazioni termiche e viceversa, in pratica il tempo necessario al riscaldamento del materiale. Come si vede dalla precedente tabella le murature in pietra necessitano di un maggior tempo per riscaldarsi, viceversa impiegano più tempo a cedere il calore. Questa caratteristica, fa sì che tali murature sono molto adatte come accumulatori termici.

### 6.3 L'inerzia termica

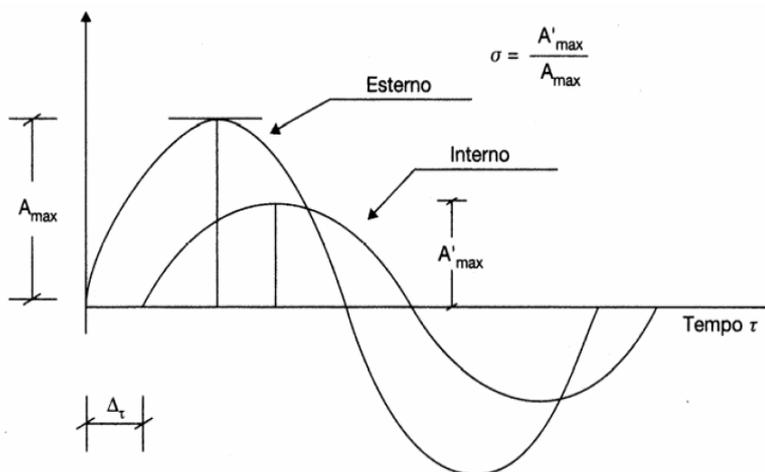


FIG. 6.6 – Smorzamento e sfasamento dell'onda di calore.

Nell'analizzare il bilancio termico di un edificio, generalmente, così come da normativa, si considera la temperatura esterna di progetto come una grandezza costante. In realtà, come già si è avuto occasione di

notare, la superficie esterna di una parete muraria è soggetta ad uno scambio termico per convezione, quindi non stazionario, e ad uno scambio termico di tipo radiativo dovuto all'irraggiamento solare che non risulta essere per niente costante. Ecco allora che il sistema edificio impianto si trova ad operare in una situazione di regime variabile, e non costante come prescritto dalla normativa. Per valutare tale comportamento, occorre introdurre il concetto di *inerzia termica* ovvero la capacità di accumulare calore e quindi di attenuare e ritardare gli effetti delle variazioni di temperatura esterna. Se si ipotizza un andamento sinusoidale della temperatura esterna<sup>1</sup> che lambisce una parete e allo stesso modo si ipotizza un andamento sinusoidale della temperatura sul lato interno per effetto della situazione esterna, gli effetti dell'inerzia termica possono essere rappresentati con l'attenuazione e lo sfasamento temporale delle variazioni di temperatura che si verificano sulla faccia interna in corrispondenza delle variazioni di temperatura che si manifestano sulla faccia esterna. Mentre una diminuzione della trasmittanza termica limita il flusso di

<sup>1</sup> La temperatura esterna a cui far riferimento è la temperatura sole-aria.

calore che attraversa la parete, l'incremento dell'inerzia termica fa sì che si riduce l'ampiezza dell'oscillazione della temperatura sulla faccia interna e aumenta l'intervallo di tempo  $\Delta t$  che intercorre tra il valore massimo dell'onda esterna il raggiungimento del valore massimo dell'onda di calore sulla superficie interna. I suddetti parametri sono molto utili al fine di giudicare l'efficacia di una struttura ad opporsi alle variazioni climatiche esterne per poter giudicare all'interno la qualità delle condizioni di confort ambientale.

Lo smorzamento e il ritardo dell'onda termica non sono definibili con formule di calcolo semplici, in quanto essi dipendono dalla capacità di accumulo termico di ciascun strato (a sua volta funzione della conducibilità, del peso specifico, del calore specifico) e dalla sua resistenza termica. Infatti una parete ben isolata, cioè con bassa trasmittanza termica e bassa capacità di accumulo è caratterizzata da uno smorzamento elevato e un ritardo dell'onda termica abbastanza basso. Valori alti del ritardo dell'onda termica è una caratteristica propria delle pareti pesanti quale quelle in pietra. Avere una parete ad alta inerzia termica equivale a massimizzare la capacità della parete di accumulare calore, magari in certe ore del giorno, per poi cederlo in un momento successivo. Inoltre tali pareti permettono di smorzare i picchi di temperatura che si possono avere nelle ore più calde del periodo estivo.

### 6.3.1 La norma UNI ISO EN 13786

Il principio su cui si fonda la norma UNI ISO EN 13786 è basato sulla conduzione termica in componenti edili composti da diversi strati piani, paralleli, omogenei con condizioni al contorno sinusoidali regolari e flusso termico monodirezionale.

Questo significa che le variazioni di temperatura e di flusso termico all'interno della parete possono essere esplicitate secondo una espressione armonica, ossia in serie di Fourier. L'equazione monodimensionale del calore può essere risolta per un singolo strato di materiale omogeneo con condizioni sinusoidali al contorno. Pertanto la temperatura ed il flusso termico sulla faccia esterna possono essere espressi in funzione di quelli della faccia interna tramite una matrice di trasferimento termico i cui fattori sono costituiti da numeri complessi.

$$\begin{pmatrix} \theta_e \\ q_e \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{21} & Z_{22} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \theta_i \\ q_i \end{pmatrix}$$

Gli elementi della matrice sono calcolati come segue:

$$Z_{11} = Z_{22} = \cosh(\xi) \cos(\xi) + j \sinh(\xi) \sin(\xi)$$

$$Z_{12} = -\frac{\delta}{2\lambda} (\sinh(\xi) \cos(\xi) + \cosh(\xi) \sin(\xi) + j(\cosh(\xi) \sin(\xi) - \sinh(\xi) \cos(\xi)))$$

$$Z_{21} = -\frac{\delta}{\lambda} (\sinh(\xi) \cos(\xi) - \cosh(\xi) \sin(\xi) + j(\sinh(\xi) \cos(\xi) + \cosh(\xi) \sin(\xi)))$$

dove  $\delta$  è definita profondità di penetrazione periodica, cioè la profondità alla quale l'ampiezza delle variazioni di temperatura è ridotta di un fattore  $e=2,718$ , sempre nell'ipotesi di materiale omogeneo soggetto a variazioni sinusoidali di temperatura sulla sua superficie.

$$\delta = \sqrt{\frac{\lambda T}{\pi \rho c}} \quad T = \frac{86400}{2\pi} \quad \xi = \frac{d}{\delta}$$

dove:  $T$  rappresenta il periodo della funzione temperatura, o flusso di calore, calcolato su 24h.

Avendo da analizzare una parete multistrato costituita da  $n$  strati, la matrice di trasferimento termica ( $Z$ ) è data dal prodotto matriciale delle  $n$  matrici di ogni singolo

strato:

$$(Z) = \begin{pmatrix} Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{21} & Z_{22} \end{pmatrix} = (Z_n) \cdot (Z_{n-1}) \cdot \dots \cdot (Z_2) \cdot (Z_1)$$

Per convenzione lo strato  $n=1$  è lo strato più interno della parete.

Considerando che si hanno scambi anche per convezione sulle superfici interna ed esterna, la matrice risultante è:

$$Z_{ee} = \begin{pmatrix} 1 & -R_e \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{21} & Z_{22} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1 & -R_i \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Dove le resistenze termiche  $R_e$  esterna e  $R_i$  interna sono pari, per convezione, rispettivamente a 0,04 e 0,13  $W/m^2K$ .

Quindi la matrice di trasferimento ( $Z$ ) permette il calcolo delle variazioni di temperatura  $\theta_i$  e della densità del flusso termico  $q_i$  quando sono note le quantità  $\theta_e$  e  $q_e$  sull'altro lato o viceversa. L'elemento che più interessa della matrice ( $Z$ ) è il modulo dell'elemento  $Z_{12}$  definito dalla norma come l'ampiezza della temperatura sul lato 2 quando il lato 1 è soggetto ad una variazione periodica di densità di flusso termico con un'ampiezza di 1  $W/m^2$ . Tale elemento infatti è utilizzato per il calcolo del fattore di decremento e del ritardo del fattore di decremento. Quest'ultimo fattore è sempre inferiore all'unità e vuole essere un parametro che individua lo smorzamento dell'onda termica. Tale parametro è definito come il rapporto tra la trasmittanza termica dinamica e la trasmittanza termica in condizioni stazionarie, ossia

$$f = \frac{|q_m|}{|\theta_n| \cdot U} \text{ che per una parete diventa } f = \frac{|q_e|}{|\theta_i| \cdot U} \text{ ed è calcolabile come: } f = \frac{1}{|Z_{12}| \cdot U}$$

dove U è la trasmittanza termica dell'intera parete.

Un valore del fattore di decremento prossimo ad 1 significa che la muratura non è in grado di smorzare l'onda termica, cioè il picco dell'onda, in termini di temperatura o di flusso, sulla superficie esterna equivale allo stesso picco sulla superficie interna. Viceversa un valore prossimo a zero, tipico delle murature pesanti in pietra, è indice di uno smorzamento molto elevato. Il ritardo del fattore di decremento invece corrisponde al ritardo temporale tra il massimo di un effetto e il massimo della causa corrispondente, cioè al tempo intercorso tra il picco di massima dell'onda termica su una parete della superficie e il corrispondente picco massimo, per effetto del precedente, dal lato opposto della parete.

Il ritardo del fattore di decremento è dato dalla seguente relazione:

$$\Delta t_f = \frac{T}{2\pi} \arg(Z_{12})$$

Tale fattore è un parametro che quantifica lo sfasamento temporale, pertanto valori alti, oltre le 10 h come quelli delle pareti pesanti in pietra, sono valori appartenenti ad una muratura con alta inerzia termica.

La norma UNI EN ISO 13786, pur nella sua complessità di trattazione, definisce un parametro che individua la capacità termica riferita ad un lato dell'elemento. Quindi per una parete potremmo individuare una capacità termica  $C_2$  per il lato esterno ed una capacità termica  $C_1$  per il lato interno.

Tali parametri sono definiti dalla seguente relazione:

$$C_1 = A \cdot \frac{T}{2\pi \cdot \operatorname{Im}\left(\frac{Z_{12}}{Z_{11} - 1}\right)} \quad C_2 = A \cdot \frac{T}{2\pi \cdot \operatorname{Im}\left(\frac{Z_{12}}{Z_{22} - 1}\right)}$$

dove A rappresenta la superficie del componente edilizio.

Tale norma definisce anche le capacità termiche areiche che corrispondono alle precedenti diviso per la superficie dell'elemento e si misurano in  $J/m^2K$ .

La divisione in capacità termica del lato esterno, e viceversa del lato interno, risultano molto importanti quando si è in presenza di murature multistrato con isolante. Infatti la presenza dell'isolante determina una zona con una minore capacità termica ed una con una maggiore capacità termica, l'isolante pertanto, in presenza di murature con alta inerzia termica, andrà posizionato sempre verso l'esterno in modo

che il lato interno possa accumulare calore per poi ricederlo nuovamente all'interno quando la fonte di calore viene attenuata.

### 6.3.2 La norma UNI ISO EN 13786: elaborazioni

Per la valutazione dei parametri introdotti dalla norma UNI EN ISO 13786 è stato elaborato un foglio di calcolo per una muratura che può essere divisa in 5 strati.

Si riportano di seguito 6 elaborazioni costituite da tre tipiche murature, pietra, mattone e terra. Si è inoltre provato ad isolare dall'esterno la muratura in pietra e la muratura in mattoni. Il valore della conduttività  $\lambda$  dell'isolante è stato scelto pari 0,04 W/m<sup>2</sup>K che corrisponde al valore del polistirene.

Parete	Trasmittanza W/m <sup>2</sup> K	Massa areica kg/m <sup>2</sup>	Coeff. di attenuazione	Sfasamento h	Capacità termica int. C1	Capacità termica est. C2
Parete in pietra intonacata sui lati	1,58	1520	0,04	18,49	282,12	282,12
Parete in pietra con isolante di s=10 cm sul lato esterno e intonaco su due lati	0,32	1505	0,01	19,44	274	25,28
Parete in pietra con isolante di s=5 cm sul lato esterno e intonaco su due lati	0,53	1504	0,01	18,99	275	28,24
Parete di mattoni pieni intonacata sui lati	1,94	504	0,37	20,28	184,31	184,31
Parete di mattoni pieni con isolate s=5 cm sul lato esterno e intonacata sui lati	0,57	506	0,14	22,27	191,03	31,08
Parete in terra	1,42	1074	0,08	19,56	225,64	225,64

TAB. 6.3 – Inerzia termica: valori caratteristici per alcune tipologie di murature isolate e non.

Da tale tabella si desume subito che un elevato spessore dell'isolamento esterno influisce solamente sulla trasmittanza e non sui parametri inerenti l'inerzia termica. Tuttavia analizzando i valori limite della trasmittanza dettati dal Dlgs 192/05, per la zona climatica E, (Campobasso e dintorni), le nuove costruzioni devono avere una U limite di 0,46 W/m<sup>2</sup>K e dal 2009 valori di 0,37 W/m<sup>2</sup>K, pertanto tali valori limiti potrebbero essere alla portata anche dei vecchi fabbricati rurali.

Di seguito si riportano delle schede analitiche delle tipologie di muratura della precedente tabella TAB. 6.3 elaborate con l'opportuna predisposizione di fogli di calcolo.

Materiale	<b>Pietra calcarea compatta</b>					
-----------	---------------------------------	--	--	--	--	--

Resistenza sup. interna	0,04	Spessore parete	0,70	m
-------------------------	------	-----------------	------	---

INTONACO INTERNO	d1	$\rho$	c	$\lambda$	$\delta$	$\xi$
in malta di calce	0,025	1800	840	0,9	0,128	0,195

STRATO INTERNO	d3	$\rho$	c	$\lambda$	$\delta$	$\xi$
	0,2	2200	840	1,6	0,154	1,296

STRATO INTERMEDIO	d2	$\rho$	c	$\lambda$	$\delta$	$\xi$
	0,25	2200	840	1,6	0,154	1,620

STRATO ESTERNO	d4	$\rho$	c	$\lambda$	$\delta$	$\xi$
	0,2	2200	840	1,6	0,154	1,296

INTONACO ESTERNO	d4	$\rho$	c	$\lambda$	$\delta$	$\xi$
in malta di calce	0,025	1800	840	0,9	0,128	0,195

Resistenza sup.esterna	0,13
------------------------	------

Trasmittanza termica U	<b>1,58</b>	W/mqK
Massa areica m	<b>1520</b>	Kg/mq

fattore di DECREMENTO	<b>0,04</b>	-
sfasamento o RITARDO	<b>18,49</b>	h

Conduttanza periodica L11	-9,97-7,83j
Conduttanza periodica L22	-9,97-7,83j

Capacità termica int.C1	<b>282,12</b>	KJ/(mqK)
Capacità termica est.C2	<b>282,12</b>	KJ/(mqK)

<b>Matrice di trasferimento termico della parete</b>	
<b>Z11</b>	<b>Z12</b>
9,40-72,49j	1,83+14,33j
<b>Z21</b>	<b>Z22</b>
-359,23+538,77j	41,73-120,98j

<b>Matrice di trasferimento termico degli strati</b>	
<b>Z11</b>	<b>Z12</b>
-4,97-50,94j	2,85+2,876j
<b>Z21</b>	<b>Z22</b>
-359,23+538,77j	-4,97-50,94j

Materiale	<b>Pietra calcarea compatta con isolante esterno (10 cm)</b>				
-----------	--	--	--	--	--

Resistenza sup. interna	0,04	Spessore parete	0,79	m
-------------------------	------	-----------------	------	---

INTONACO INTERNO	d1	$\rho$	c	$\lambda$	$\delta$	$\xi$
in malta di calce	0,025	1800	840	0,9	0,128	0,195

STRATO INTERNO	d3	$\rho$	c	$\lambda$	$\delta$	$\xi$
	0,35	2200	840	1,6	0,154	2,268

STRATO INTERMEDIO	d2	$\rho$	c	$\lambda$	$\delta$	$\xi$
	0,3	2200	840	1,6	0,154	1,944

STRATO ESTERNO	d4	$\rho$	c	$\lambda$	$\delta$	$\xi$
	0,1	30	1400	0,04	0,162	0,618

INTONACO ESTERNO	d4	$\rho$	c	$\lambda$	$\delta$	$\xi$
in malta di calce	0,015	1800	840	0,9	0,128	0,117

Resistenza sup. esterna	0,13
-------------------------	------

Trasmittanza termica U	<b>0,32</b>	W/mqK
Massa areica m	<b>1505</b>	Kg/mq

fattore di DECREMENTO	<b>0,01</b>	-
sfasamento o RITARDO	<b>19,44</b>	h

Conduttanza periodica L11	-9,80-8,00j
Conduttanza periodica L22	-0,42-1,747j

Capacità termica int.C1	<b>274,94</b>	J/(mqK)
Capacità termica est.C2	<b>25,28</b>	J/(mqK)

Matrice di trasferimento termico della parete	
<b>Z11</b>	<b>Z12</b>
883,83-1202,72j	-108,80+274,16j
<b>Z21</b>	<b>Z22</b>
-2486,93-856,98j	518,34+39,41j

Matrice di trasferimento termico degli strati	
<b>Z11</b>	<b>Z12</b>
784,36-1236,99j	13,90+114,93j
<b>Z21</b>	<b>Z22</b>
-2486,93-856,97j	195,04-71,99j

Materiale	<b>Pietra calcarea compatta con isolante esterno (d= 5</b>				
-----------	--	--	--	--	--

Resistenza sup. interna	0,04	Spessore parete	0,74	m
-------------------------	------	-----------------	------	---

INTONACO INTERNO	d1	$\rho$	c	$\lambda$	$\delta$	$\xi$
in malta di calce	0,025	1800	840	0,9	0,128	0,195

STRATO INTERNO	d3	$\rho$	c	$\lambda$	$\delta$	$\xi$
	0,35	2200	840	1,6	0,154	2,268

STRATO INTERMEDIO	d2	$\rho$	c	$\lambda$	$\delta$	$\xi$
	0,3	2200	840	1,6	0,154	1,944

STRATO ESTERNO	d4	$\rho$	c	$\lambda$	$\delta$	$\xi$
	0,05	30	1400	0,04	0,162	0,309

INTONACO ESTERNO	d4	$\rho$	c	$\lambda$	$\delta$	$\xi$
in malta di calce	0,015	1800	840	0,9	0,128	0,117

Resistenza sup. esterna	0,13
-------------------------	------

Trasmittanza termica U	<b>0,53</b>	W/mqK
Massa areica m	<b>1504</b>	Kg/mq

fattore di DECREMENTO	<b>0,01</b>	-
sfasamento o RITARDO	<b>18,99</b>	h

Conduttanza periodica L11	-9,80-7,99j
Conduttanza periodica L22	-0,785-1,69j

Capacità termica lato int.C1	<b>275,09</b>	KJ/(mqK)
Capacità termica lato est.C2	<b>28,24</b>	KJ/(mqK)

Matrice di trasferimento termico della parete	
<b>Z11</b>	<b>Z12</b>
380,18-671,78j	-39,07+147,46j
<b>Z21</b>	<b>Z22</b>
-1401,62-29,15j	269,43-64,55j

Matrice di trasferimento termico degli strati	
<b>Z11</b>	<b>Z12</b>
324,11-672,95j	13,84+57,39j
<b>Z21</b>	<b>Z22</b>
-1401,62-29,15j	87,22-68,34j

Materiale	<b>Parete in mattoni pieni</b>	
-----------	--------------------------------	--

Resistenza sup. interna	0,04	Spessore parete	0,28	m
-------------------------	------	-----------------	------	---

INTONACO INTERNO	d1	$\rho$	c	$\lambda$	$\delta$	$\xi$
in malta di calce	0,015	1800	840	0,9	0,128	0,117

STRATO INTERNO	d3	$\rho$	c	$\lambda$	$\delta$	$\xi$
	0,08	1800	840	0,8	0,121	0,663

STRATO INTERMEDIO	d2	$\rho$	c	$\lambda$	$\delta$	$\xi$
	0,09	1800	840	0,8	0,121	0,746

STRATO ESTERNO	d4	$\rho$	c	$\lambda$	$\delta$	$\xi$
	0,08	1800	840	0,8	0,121	0,663

INTONACO ESTERNO	d4	$\rho$	c	$\lambda$	$\delta$	$\xi$
in malta di calce	0,015	1800	840	0,9	0,128	0,117

Resistenza sup. esterna	0,13
-------------------------	------

Trasmittanza termica U	<b>1,94</b>	W/mqK
Massa areica m	<b>504</b>	Kg/mq

fattore di DECREMENTO	<b>0,37</b>	-
sfasamento o RITARDO	<b>20,28</b>	h

Conduttanza periodica L11	-6,37-8,80j
Conduttanza periodica L22	-6,37-8,80j

Capacità termica int.C1	<b>184,31</b>	KJ/(mqK)
Capacità termica est.C2	<b>184,31</b>	KJ/(mqK)

Matrice di trasferimento termico della parete	
<b>Z11</b>	<b>Z12</b>
-5,32+3,78j	0,79-1,17j
<b>Z21</b>	<b>Z22</b>
47,74-2,28j	-9,62+3,98j

Matrice di trasferimento termico degli strati	
<b>Z11</b>	<b>Z12</b>
-3,41+3,69j	-3,70E-002-0,53j
<b>Z21</b>	<b>Z22</b>
47,74-2,28j	-3,41+3,69j

Materiale	<b>Parete in mattoni pieni con isolamento esterno S=5</b>					
-----------	---	--	--	--	--	--

Resistenza sup. interna	0,04	Spessore parete	0,33	m
-------------------------	------	-----------------	------	---

INTONACO INTERNO	d1	$\rho$	c	$\lambda$	$\delta$	$\xi$
in malta di calce	0,015	1800	840	0,9	0,128	0,117

STRATO INTERNO	d3	$\rho$	c	$\lambda$	$\delta$	$\xi$
	0,1	1800	840	0,8	0,121	0,829

STRATO INTERMEDIO	d2	$\rho$	c	$\lambda$	$\delta$	$\xi$
	0,15	1800	840	0,8	0,121	1,243

STRATO ESTERNO	d4	$\rho$	c	$\lambda$	$\delta$	$\xi$
	0,05	30	1400	0,04	0,162	0,309

INTONACO ESTERNO	d4	$\rho$	c	$\lambda$	$\delta$	$\xi$
in malta di calce	0,015	1800	840	0,9	0,128	0,117

Resistenza sup. esterna	0,13
-------------------------	------

Trasmittanza termica U	<b>0,57</b>	W/mqK
Massa areica m	<b>506</b>	Kg/mq

fattore di DECREMENTO	<b>0,14</b>	-
sfasamento o RITARDO	<b>22,27</b>	h

Conduttanza periodica L11	-6,95-6,86j
Conduttanza periodica L22	-0,86-1,86j

Capacità termica int.C1	<b>191,03</b>	KJ/(mqK)
Capacità termica est.C2	<b>31,08</b>	KJ/(mqK)

Matrice di trasferimento termico della parete	
<b>Z11</b>	<b>Z12</b>
-58,70+6,49j	11,52-5,61j
<b>Z21</b>	<b>Z22</b>
60,28+89,23j	-18,85-13,84j

Matrice di trasferimento termico degli strati	
<b>Z11</b>	<b>Z12</b>
-56,29+10,06j	3,45-4,86j
<b>Z21</b>	<b>Z22</b>
60,28+89,23j	-11,01-2,24j

Materiale	<b>Parete in terra</b>					
-----------	------------------------	--	--	--	--	--

Resistenza sup. interna	0,04	Spessore parete	0,63	m
-------------------------	------	-----------------	------	---

INTONACO INTERNO	d1	$\rho$	c	$\lambda$	$\delta$	$\xi$
in malta di calce	0,015	1800	840	0,9	0,128	0,117

STRATO INTERNO	d3	$\rho$	c	$\lambda$	$\delta$	$\xi$
	0,2	1700	840	1,2	0,152	1,316

STRATO INTERMEDIO	d2	$\rho$	c	$\lambda$	$\delta$	$\xi$
	0,2	1700	840	1,2	0,152	1,316

STRATO ESTERNO	d4	$\rho$	c	$\lambda$	$\delta$	$\xi$
	0,2	1700	840	1,2	0,152	1,316

INTONACO ESTERNO	d4	$\rho$	c	$\lambda$	$\delta$	$\xi$
in malta di calce	0,015	1800	840	0,9	0,128	0,117

Resistenza sup. esterna	0,13
-------------------------	------

Trasmittanza termica U	<b>1,42</b>	W/mqK
Massa areica m	<b>1074</b>	Kg/mq

fattore di DECREMENTO	<b>0,08</b>	-
sfasamento o RITARDO	<b>3,64</b>	h

Conduttanza periodica L11	-8,17-7,43j
Conduttanza periodica L22	-8,17-7,43j

Capacità termica int.C1	<b>225,64</b>	KJ/(mqK)
Capacità termica est.C2	<b>225,64</b>	KJ/(mqK)

Matrice di trasferimento termico della parete	
<b>Z11</b>	<b>Z12</b>
-13,27-42,13j	5,29+7,43j
<b>Z21</b>	<b>Z22</b>
-82,68+346,53j	-5,83-73,32j

Matrice di trasferimento termico degli strati	
<b>Z11</b>	<b>Z12</b>
-16,58-28,27j	2,90+0,82j
<b>Z21</b>	<b>Z22</b>
-82,68+346,53j	-16,58-28,27j

### 6.3.3 Le norma UNI 10375

La norma UNI 10375 descrive il metodo per il calcolo della temperatura interna degli edifici durante il periodo estivo. In particolare l'Appendice A descrive i metodi per la determinazione dei parametri di attenuazione e di sfasamento dell'onda termica, attraverso un procedimento simile a quello della norma UNI EN ISO 13786, ma gli elementi della matrice di trasferimento termica non sono proprio gli stessi. Per completezza si riportano tali schemi.

$$\begin{pmatrix} \theta_i \\ q_i \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} m_1 & m_2 \\ m_3 & m_1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \theta_e \\ q_e \end{pmatrix}$$

Gli elementi della matrice sono calcolati come segue:

$$m_1 = \cosh(p + i \cdot p) \quad m_2 = -\frac{l \cdot \sinh(p + i \cdot p)}{\lambda \cdot (p + i \cdot p)} \quad m_3 = -\frac{\lambda \cdot (p + i \cdot p) \cdot \sinh(p + i \cdot p)}{l}$$

dove:

$$p = \sqrt{\frac{\pi \cdot l^2 \cdot \rho \cdot c}{86400 \cdot \lambda}}$$

Per pareti composte da più strati, le matrici relative a ciascuno strato devono essere moltiplicate con quelle degli altri strati in modo da avere una matrice globale di trasmissione. I parametri che descrivono l'inerzia termica si calcolano nel modo seguente:

- Il coefficiente di attenuazione è pertanto un numero complesso dato da:

$$f = \frac{|q_e|}{|\theta_i| \cdot U} \text{ dove } U \text{ è la trasmittanza della parete,}$$

- il fattore di attenuazione è dato dal modulo del coefficiente di attenuazione:

$$f_a = \frac{1}{|M_2| \cdot U}$$

- lo sfasamento temporale è dato da: 
$$\varphi = \frac{12}{\pi} \arctan\left(\frac{\text{Im}(f)}{\text{Re}(f)}\right)$$

L'Appendice A, inoltre, è dotato di uno strumento tabellare molto utile, in quanto a partire dalla trasmittanza termica della parete e la massa fisica areica<sup>2</sup> si riesce ad avere un valore di massima del fattore di attenuazione e dello smorzamento. Di seguito si riporta detta tabella.

---

<sup>2</sup> La massa areica di una parete è pari alla sommatoria della massa volumica per lo spessore del relativo strato

$U$ W/(m <sup>2</sup> K)	$m$ kg/m <sup>2</sup>											
	150		200		250		300		350		400	
	$f_a$	$\varphi$	$f_a$	$\varphi$	$f_a$	$\varphi$	$f_a$	$\varphi$	$f_a$	$\varphi$	$f_a$	$\varphi$
< 0,4	0,45	6	0,35	8	0,25	10	0,15	12	0,10	14	0,07	16
0,4-0,6	0,48	6	0,40	8	0,30	9	0,20	10	0,15	12	0,12	14
0,6-0,8	0,54	6	0,46	8	0,35	9	0,27	10	0,20	12	0,14	14
> 0,8	0,60	6	0,50	8	0,43	8	0,27	10	0,20	12	0,14	14

$U$  è la trasmittanza termica della parete;  
 $m$  è la massa fisica areica della parete (ottenuta come somma dei prodotti della massa volumica di ciascun strato per il relativo spessore).

TAB. 6.3 – Norma UNI EN ISO 13786 – Appendice A – Prospetto IX – coefficiente di attenuazione e sfasamento (in ore) per pareti verticali.

Tale tabella, ottima per murature di tipo moderno, non è utilizzabile per murature pesanti, in quanto già una muratura di mattoni pieni a due teste, cioè di spessore 25 cm, presenta una massa areica di 450 Kg/m<sup>2</sup>, una muratura in pietra calcarea, invece, di 70 cm di spessore presenta una massa areica di circa 1400 Kg/m<sup>2</sup>. Inoltre anche la trasmittanza termica di una parete siffatta va oltre i valori presente in tabella.

Tuttavia da tale tabella è possibile desumere un principio molto utile, almeno per le murature tradizionali: a parità di materiale il fattore di attenuazione è una funzione decrescente dello spessore, viceversa lo smorzamento è una funzione crescente dello spessore murario.

In conclusione è possibile affermare quindi che una muratura con una buona inerzia termica deve avere uno coefficiente dia attenuazione il più basso possibile e uno smorzamento più alto possibile. Questa combinazione, infatti è ottenibile solo con una muratura di tipo pesante, in quanto generalmente i materiali con ottimo potere isolate (cioè con un  $\lambda$  abbastanza basso) sono molto leggeri e quindi con un basso potere di smorzamento. La muratura pesante come quella in pietra, e come meglio si vedrà in seguito, pur avendo trasmittanze termiche superiori all'unità, posseggono fattori di attenuazione bassi e smorzamento elevati, il che le rende ottimali soprattutto nel periodo estivo. Non si riportano schede di elaborazione di tipologie murarie in quanto le analisi eseguite per la norma UNI EN ISO 13786 sono del tutto paragonabili a quelle della norma UNI 10375 con scostamenti del tutto accettabili.

## 6.4 Metodi numerici per l'analisi del flusso di calore attraverso una parete monostrato e pluristrato.

I metodi che di seguito verranno proposti ed analizzati sono il metodo di Alford e il metodo delle differenze finite così come proposto dal Threlkeld<sup>3</sup>.

L'importanza di tali metodi sta nel fatto che le condizioni ambientali al contorno di una parete non sono costanti perciò i dati input delle temperature al contorno vengono assunti, per ipotesi, con andamento sinusoidali durante l'arco della giornata. In particolare, per tener conto degli effetti della radiazione solare e della temperatura esterna, si utilizza la temperatura  $T_{sa}$  sole-aria<sup>4</sup> che verrà espressa in termini di serie di Fourier, mentre la temperatura interna verrà considerata costante.

### 6.4.1 Temperatura Sole-aria: sviluppo in serie di Fourier

La radiazione solare costituisce la maggiore fonte di energia ricevuta durante l'estate da una parete muraria, ma per analizzare il comportamento termico della parete occorre far riferimento ad un bilancio termico, che oltre alla radiazione solare assorbita, tenga conto della radiazione infrarossa scambiata, oltre che le perdite o i guadagni di calore dovuti ai moti convettivi dell'aria sulla parete. Un metodo semplificato, di seguito proposto, tiene conto della temperatura-sole aria, cioè di quella temperatura fittizia dell'aria esterna, che in assenza di radiazione solare sulla parete, determina lo stesso scambio di calore che si avrebbe per irraggiamento della parete. La temperatura sole aria  $t_{sa}$  è espressa dalla seguente formula:

$$t_{sa} = t_e + \frac{I_T \alpha_s}{h_e} - \frac{\varepsilon \Delta R}{h_e} \quad \frac{\varepsilon \Delta R}{h_e} = 4^\circ\text{C} \cdot \cos \delta \quad \delta = \text{inclinazione sup.}$$

Il secondo termine tiene conto degli scambi radiativi di tipo infrarosso e dipende dalla copertura del cielo. L'ASHRAE consiglia questo fattore correttivo pari a 4°C per le superfici orizzontali, 0°C per quelle verticali, per quelle intermedie il termine tale fattore è valutato in funzione del coseno dell'inclinazione della superficie sull'orizzontale. La norma UNI 10375, al prospetto II, definisce tre valori per il coefficiente di assorbimento solare  $\alpha_s$  in funzione del colore della parete: 0.3 chiaro, 0.6 medio, 0.9 scuro. Il coefficiente di scambio liminare esterno  $h_e$  viene posto pari a 14,5 w/m<sup>2</sup>k e quello interno pari  $h_i$  pari a 8,2 W/m<sup>2</sup>k; il valore  $I_T$  rappresenta la

<sup>3</sup> T.H. Kuehn, J.W. Ramsey, J.L. Threlkeld, Thermal Environmental Engineering, Prentice Hall, 1997.

<sup>4</sup> Già definita nel paragrafo 5.3.2

quantità di radiazione solare incidente sulla superficie, il cui calcolo è stato proposto nei capitoli precedenti.

Se si considera la temperatura media giornaliera mensile, questa può essere vista come una funzione periodica di 24 ore all'interno di un intero mese, quindi come una funzione  $t_{sa}=f(\theta)$  dove i valori di  $\theta$  rappresenta il valore dell'ora di riferimento che varia ovviamente tra le 0:00 e le 24:00.

$$t_{sa} = t_{sa,m} + M_1 \cos \omega_1 \theta + N_1 \sin \omega_1 \theta + M_2 \cos \omega_2 \theta + N_2 \sin \omega_2 \theta + \dots + M_n \cos \omega_n \theta + N_n \sin \omega_n \theta$$

oppure in forma più compatta:

$$t_{sa} = t_{sa,m} + \sqrt{M_1^2 + N_1^2} \cdot \cos(\omega_1 \theta - \psi_1) + \sqrt{M_2^2 + N_2^2} \cdot \cos(\omega_2 \theta - \psi_2) + \dots + \sqrt{M_n^2 + N_n^2} \cdot \cos(\omega_n \theta - \psi_n)$$

$$t_{sa} = t_{sa,m} + \sum_{n=1}^{\infty} t_{sa,n} \cdot \cos(\omega_n \theta - \psi_n) \quad \text{dove} \quad t_{sa,n} = \sqrt{M_n^2 + N_n^2} \quad \text{e} \quad \psi_n = \frac{N_n}{M_n}$$

I coefficienti  $t_{sa,n}$  e  $\psi_n$  sono gli n coefficienti armonici della serie.

In questa formula è importante l'assunzione dei segni, infatti il  $\sin \psi_n$  deve avere lo stesso segno di  $N_n$  e il  $\cos \psi_n$  deve avere lo stesso segno di  $M_n$ .

Gli altri parametri:

$\omega_1 = 2\pi/T$ , dove T è il periodo della funzione  $t_{sa}$ , e cioè 24 ore, questo per la prima armonica. Per la seconda armonica  $\omega_2 = 2 \omega_1$  e per l'ennesima  $\omega_n = n\omega_1$ .

$$t_{sa,m} = \frac{1}{24} \int_0^{24} t_{sa} \cdot d\theta \approx \frac{1}{24} \sum_0^{23} t_{sa} \quad \text{Non si commette grande errore se si sostituisce}$$

l'integrale con la sommatoria e si considera un  $d\theta$  pari ad un'ora. Praticamente il primo termine diventa la media della temperatura sole aria nell'arco della giornata.

$$M_n = \frac{1}{12} \int_0^{24} t_{sa} \cdot \cos \omega_n \theta \cdot d\theta \approx \frac{1}{12} \sum_0^{23} t_{sa} \cdot \cos \omega_n \theta \quad N_n = \frac{1}{12} \int_0^{24} t_{sa} \cdot \sin \omega_n \theta \cdot d\theta \approx \frac{1}{12} \sum_0^{23} t_{sa} \cdot \sin \omega_n \theta$$

Si è quindi impostato un apposito foglio di calcolo per la ricerca delle incognite da ricercare che sono sono gli n coefficienti M ed N, oltre il valore medio della  $t_{sa}$ . Si è visto che la funzione  $t_{sa}$  è praticamente descritta già alla seconda armonica, cioè ai coefficienti  $M_2$  e  $N_2$ .

### 6.4.2 I colori del costruito rurale

L'architettura rurale molisana si distingue anche per i suoi colori, tenui e delicati, ma precisi e distinguibili all'interno del paesaggio rurale, che mostra, invece, colori forti, vivi, e soprattutto variabili con le coltivazioni e con le stagioni: verde di primavera, giallo ocra d'estate, color terra d'autunno e bianco d'inverno. Punti singolari di colori

ben precisi individuano i manufatti costruiti, ad uso sia abitativo, che strettamente agricolo, che, nel materializzare l'abitare, imprimono il segno dell'uomo nel paesaggio. Ciascun piccolo oggetto rurale con il suo spessore culturale ed i propri colori costituisce un segno diverso del costruito che fa del paesaggio naturale un paesaggio agrario. Puntini bianchi, rosa, celeste, verdi, blu e color terracotta personalizzano un contesto naturale e lo umanizzano fino ad appartenergli intrinsecamente. Ed anche i colori sono rigorosamente naturali e ottenuti mediante procedimenti altrettanto naturali. Ogni elemento architettonico è individuato da un colore ben preciso. La facciata risulta essere generalmente dipinta di rosa meno frequente è l'edificio dipinto di un celeste violaceo, di giallo o di bianco. Ci sono edifici che appaiono di un colore bianco sporco solo perché non risultano essere pitturati. Infatti nell'edilizia più povera, specialmente quella strettamente agricola, le pareti esterne non hanno neanche l'intonaco, ma sono soltanto compiante con uno strato di malta di calce che copre i giunti e lascia affiorare la pietra, in modo da far apparire l'elemento di fabbrica di confine quasi bianco o grigio chiaro.

La casa rurale si avvale di una serie di sottili cromatismi affinché possano essere distinguibili la partizione architettonica delle facciate. Infatti le cornici marcapiano, le fasce cantonali e gli orli delle aperture risultano essere bianchi. In particolare il bordo delle aperture, spesso, lascia intravedere la cornice di mattoni pieni con cui è costruita, appena velata dal latte di calce che le conferisce il tipico colore bianco.

Al di sotto della romanella, invece, una fascia, che corre lungo le falde del tetto e prosegue lungo la linea di gronda, risulta essere di colore blu o di bianco, a seconda del colore di fondo della parete. Da ciò che emerge guardando il paesaggio rurale, non risultano quindi colori prettamente scuri. Un colore scuro, in ambito rurale, può derivare esclusivamente dal colore della pietra di tipo lavica, che se ben comune nel vicino beneventano, in Molise risulta del tutto assente. I colori invece tendenti al grigio sono relativi a formazioni di calcari argilloso-marnosi, tipici dell'alto Molise. Per quanto detto, il coefficiente  $\alpha_s$  di assorbimento solare non potrà mai essere pari al massimo indicato dalla norma Uni 10375. Infatti detti colori, risultano essere in tinta pastello, cioè chiari. Pertanto valori medi di 0,6 saranno da associarsi solamente a colori delle tonalità del blu o del viola, ma solo in casi limitati. Così pure edifici che presentano pietra a faccia vista, non presentano mai un bianco acceso, tranne per i calcari compatti di cava. Si riportano di seguito, in riferimento ai colori rilevati, i relativi coefficienti di assorbimento solare  $\alpha_s$ .

<p><b>Rosa <math>\alpha_s= 0,45</math></b></p>	<p><b>Giallo <math>\alpha_s= 0,40</math></b></p>
	
<p><b>Celeste <math>\alpha_s= 0,5</math></b></p>	<p><b>Bianco <math>\alpha_s= 0,30</math></b></p>
	
<p><b>Mattone <math>\alpha_s= 0,45</math></b></p>	<p><b>Pietra scura <math>\alpha_s= 0,5</math></b></p>
	
<p><b>Verde <math>\alpha_s= 0,45</math></b></p>	<p><b>Pietra chiara <math>\alpha_s= 0,35</math></b></p>
	

Di seguito si riporta il grafico che evidenzia come nelle ore più calde l'influenza del colore fa oscillare la Tsa di circa 6 gradi nelle condizioni più sfavorevoli nel mese di luglio a Campobasso.

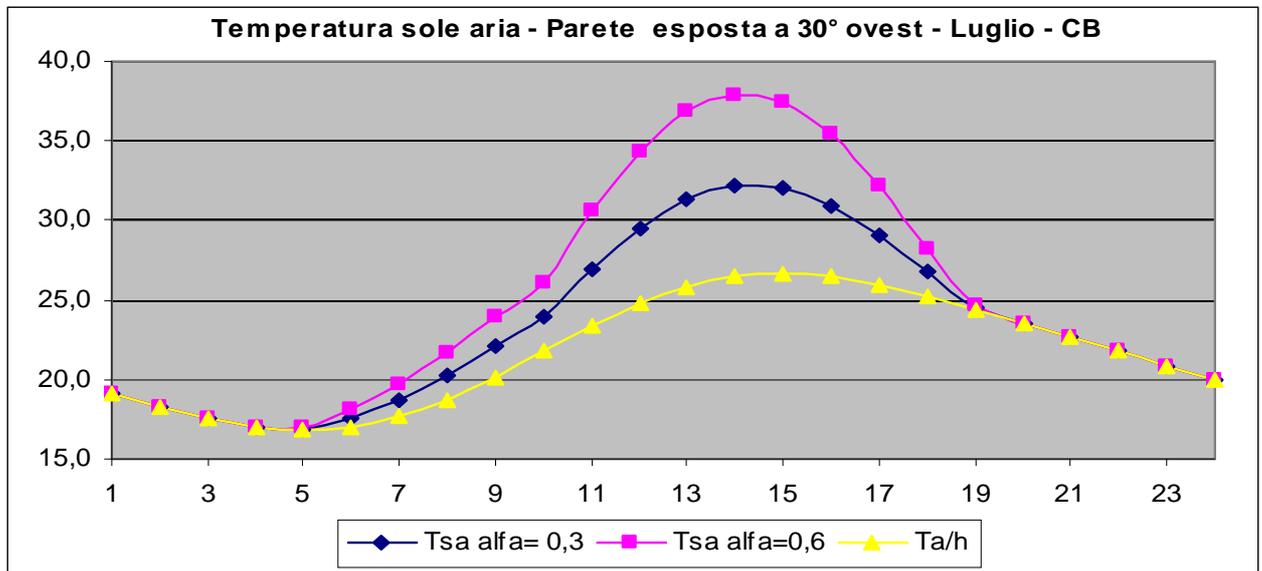


FIG. 6.7– Confronto della Tsa in funzione del colore.

### 6.4.3 Determinazione del flusso di calore attraverso una parete monostrato

In questo paragrafo si riporta la trattazione di *Alford* per una parete monostrato. In particolare si analizzerà come è governato il flusso di calore attraverso una parte omogenea sottoposta ad irraggiamento periodico, appunto di 24 ore.

Occorre prima fare delle ipotesi:

- Il muro è piano ed indefinito, ma con sezione definita e spessore  $d$ ;
- Il muro è di materiale omogeneo;
- I coefficienti liminari  $h_e$  e  $h_i$  sono costanti;
- Le variazioni di temperatura non influenzano la conducibilità termica;
- La temperatura interna è costante;
- Il coefficiente di assorbenza solare è indipendente dall'inclinazione dei raggi solari;

In questo modo il flusso di calore è perpendicolare alla parete stessa e diventa monodirezionale, pertanto l'equazione che governa il fenomeno fisico è:

$$\frac{\partial t}{\partial \theta} = \frac{\lambda}{\rho c} \cdot \frac{\partial^2 t}{\partial x^2}$$

dove:  $t$  è la temperatura,  $\theta$  la variabile temporale,  $\lambda$  la conducibilità termica,  $\rho$  la massa,  $c$  il calore specifico.

Le condizioni al bordo possono scriversi tenendo conto che il flusso di calore sulla parete esterna ( $x=0$ ) è di tipo convettivo, così pure sulla parete interna ( $x=d$ ).

$$q_e = -\lambda \left( \frac{\partial t}{\partial x} \right)_{x=0} = h_e (t_{sa} - t_{pareteest}) \quad q_i = -\lambda \left( \frac{\partial t}{\partial x} \right)_{x=d} = h_i (t_i - t_{pareteint})$$

La soluzione dell'equazione differenziale può essere scritta secondo *Alford* (e altri):

$$q_i = U \left[ (t_{sa,m} - t_i) + \sum_{n=1}^{\infty} \mu_n t_{sa,n} \cos(\omega_n \vartheta - \psi_n - \varphi_n) \right]$$

La forma della soluzione è essa stessa una serie di Fourier i cui coefficienti armonici  $t_{sa,m}$ ,  $t_{sa,n}$  e  $\psi_n$  sono gli stessi dell'espressione in serie di Fourier della temperatura sole-aria, e pertanto calcolabili secondo le procedure mostrate nel paragrafo precedente. Gli altri due coefficienti  $\mu_n$  e  $\varphi_n$ , che rappresentano rispettivamente il fattore di smorzamento e sfasamento dell'onda termica e andranno determinati attraverso i passaggi matematici che si riportano di seguito.

$$U = \left( \frac{1}{h_e} + \frac{d}{\lambda} + \frac{1}{h_i} \right)^{-1} \quad \alpha_d = \frac{\lambda}{\rho c} \quad \sigma_n = \sqrt{\frac{\omega_n}{2\alpha_d}}$$

$$V_n = \frac{h_e h_i}{\sigma_n \lambda \sqrt{y_n^2 + Z_n^2}}$$

$$Y_n = \left( \frac{h_e h_i}{2\sigma_n^2 \lambda^2} + 1 \right) \cos \sigma_n d \cdot \sinh \sigma_n d + \left( \frac{h_e h_i}{2\sigma_n^2 \lambda^2} - 1 \right) \sin \sigma_n d \cdot \cosh \sigma_n d + \left( \frac{h_e + h_i}{\sigma_n \lambda} + 1 \right) \cos \sigma_n d \cdot \cosh \sigma_n d$$

$$Z_n = \left( \frac{h_e h_i}{2\sigma_n^2 \lambda^2} + 1 \right) \sin \sigma_n d \cdot \cosh \sigma_n d - \left( \frac{h_e h_i}{2\sigma_n^2 \lambda^2} - 1 \right) \cos \sigma_n d \cdot \sinh \sigma_n d + \left( \frac{h_e + h_i}{\sigma_n \lambda} + 1 \right) \sin \sigma_n d \cdot \sinh \sigma_n d$$

$$\mu_n = \frac{V_n}{U} \quad \varphi_n = \arctan \left( \frac{Z_n}{Y_n} \right)$$

Anche in quest'ultimo passaggio è importante l'assunzione dei segni, infatti il  $\sin \varphi_n$  deve avere lo stesso segno di  $Z_n$  e il  $\cos \varphi_n$  deve avere lo stesso segno di  $Y_n$ .

#### 6.4.4 Metodo di Alford: applicazioni

Le analisi di seguito riportate in TAB.6.7 e TAB. 6.8 riguardano pareti, con differente spessore, sia in mattoni pieni che in pietra, che si trovano esposte a  $-50^\circ$  ovest, nel mese di luglio a Campobasso. Pertanto dapprima verrà calcolata la temperatura sole aria in differenti situazioni di colore, poi calcolati tutti i parametri del metodo e infine, si riportano i valori del flusso termico ottenuto nella tabella riepilogativa.

La temperatura interna viene assunta costante pari a 20°C.

Temp. media		25,53			FOURIER SERIES	
n	a <sub>n</sub>	b <sub>n</sub>	t <sub>sa,n</sub>	ψ <sub>n</sub>		
1	-4,88	-5,41	7,29	3,98		
2	0,88	1,60	1,82	1,07		

Muratura di mattoni			d1	0,13			
ρ	c	λ	t <sub>i</sub>	h <sub>i</sub>	h <sub>e</sub>	α <sub>d</sub>	U
1800	0,8	0,8	20	7,70	25,00	5,56E-04	3,01
n	ω <sub>n</sub>	σ <sub>n</sub>	Y <sub>n</sub>	Z <sub>n</sub>	V <sub>n</sub>	φ <sub>n</sub>	μ <sub>n</sub>
1	0,26	15,35	-7,78	13,81	9,89E-01	2,08	3,29E-01
2	0,52	21,71	-27,37	3,04	4,02E-01	3,03	1,34E-01

Muratura di mattoni			d2	0,27			
ρ	c	λ	t <sub>i</sub>	h <sub>i</sub>	h <sub>e</sub>	α <sub>d</sub>	U
1800	0,8	0,8	20	7,70	25,00	5,56E-04	1,97
n	ω <sub>n</sub>	σ <sub>n</sub>	Y <sub>n</sub>	Z <sub>n</sub>	V <sub>n</sub>	φ <sub>n</sub>	μ <sub>n</sub>
1	0,26	15,35	-63,36	-120,50	1,15E-01	4,23	5,84E-02
2	0,52	21,71	561,82	-121,22	1,93E-02	6,07	9,79E-03

Muratura di pietra			d3	0,6			
ρ	c	λ	t <sub>i</sub>	h <sub>i</sub>	h <sub>e</sub>	α <sub>d</sub>	U
2200	0,8	1,75	20	7,70	25,00	9,94E-04	1,95
n	ω <sub>n</sub>	σ <sub>n</sub>	Y <sub>n</sub>	Z <sub>n</sub>	V <sub>n</sub>	φ <sub>n</sub>	μ <sub>n</sub>
1	0,26	11,47	944,65	1098,59	6,62E-03	0,86	3,39E-03
2	0,52	16,23	-16003,17	-12967,16	3,29E-04	3,82	1,69E-04

Muratura di pietra			d4	0,8			
ρ	c	λ	t <sub>i</sub>	h <sub>i</sub>	h <sub>e</sub>	α <sub>d</sub>	U
2200	0,8	1,75	20	7,70	25,00	9,94E-04	1,59
n	ω <sub>n</sub>	σ <sub>n</sub>	Y <sub>n</sub>	Z <sub>n</sub>	V <sub>n</sub>	φ <sub>n</sub>	μ <sub>n</sub>
1	0,26	11,47	-14374,49	-197,83	6,67E-04	3,16	4,18E-04
2	0,52	16,23	374126,64	373578,67	1,28E-05	0,78	8,04E-06

TAB.6.7 – Calcolo dei parametri armonici.

Dopo aver calcolato tutti i parametri richiesti dal metodo si passa al calcolo del flusso termico, espresso in Wh/m<sup>2</sup>, che si genera sulla parete interna, in conseguenza di una temperatura interna costante.

TEMPERATURA SOLE-ARIA			Esposizione parete -50			
mes	$\alpha_s$	h	flusso calore (Wh/m <sup>2</sup> )			
7	0,60	23,2	d1 matton	d2 matton	d3 pietra	d4 pietra
ora	T <sub>media/h</sub>	T <sub>sa-Four.</sub>	0,13	0,27	0,6	0,8
1	19,1	21,0	23,59	10,85	10,78	8,82
2	18,2	20,4	22,66	11,07	10,76	8,82
3	17,5	19,9	21,18	11,28	10,75	8,82
4	17,0	19,3	19,25	11,45	10,74	8,82
5	16,8	19,1	17,04	11,58	10,74	8,82
6	17,0	19,2	14,79	11,67	10,73	8,82
7	17,7	20,0	12,72	11,70	10,73	8,82
8	18,8	21,5	11,03	11,69	10,74	8,82
9	20,2	23,5	9,86	11,63	10,74	8,82
10	21,8	26,1	9,29	11,52	10,75	8,82
11	23,3	28,8	9,32	11,38	10,76	8,81
12	24,7	31,3	9,86	11,20	10,78	8,81
13	25,8	33,2	10,82	11,00	10,79	8,81
14	26,5	34,3	12,05	10,79	10,80	8,81
15	26,7	34,4	13,46	10,57	10,81	8,81
16	26,5	33,6	14,94	10,38	10,82	8,81
17	26,0	32,1	16,45	10,21	10,83	8,81
18	25,3	30,1	17,94	10,09	10,83	8,81
19	24,4	27,9	19,40	10,03	10,83	8,81
20	23,5	26,0	20,79	10,03	10,83	8,81
21	22,6	24,3	22,03	10,10	10,82	8,82
22	21,8	23,1	23,05	10,23	10,81	8,82
23	20,9	22,2	23,72	10,41	10,80	8,82
24	20,0	21,5	23,93	10,62	10,79	8,82

TAB.6.8 – Flusso di calore sulla parete interna relativamente a diverse tipologie di murature.

La tabella TAB. 6.8, sopra riportata, contiene i valori del flusso di calore, relativi al mese di giugno a Campobasso, che si genera sulla facciata interna di una parete di colore medio-scuro all'esterno, cioè con un  $\alpha_s = 0.60$ , situazione limite per i colori riscontrati in ambito molisano. Si sono riporti tali valori nei grafici seguenti.

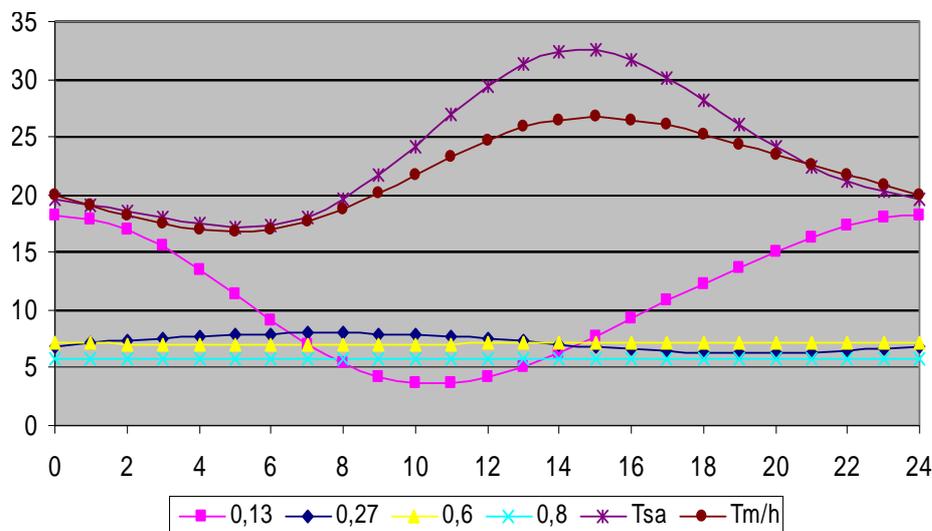


FIG. 6.8 - Flusso di calore q (Wh/m<sup>2</sup>) sulla faccia interna di una parete chiara all'esterno per diverse tipologie di muratura: in mattoni (d=13cm e d=27cm) - in pietra (d=60cm e d=80cm).

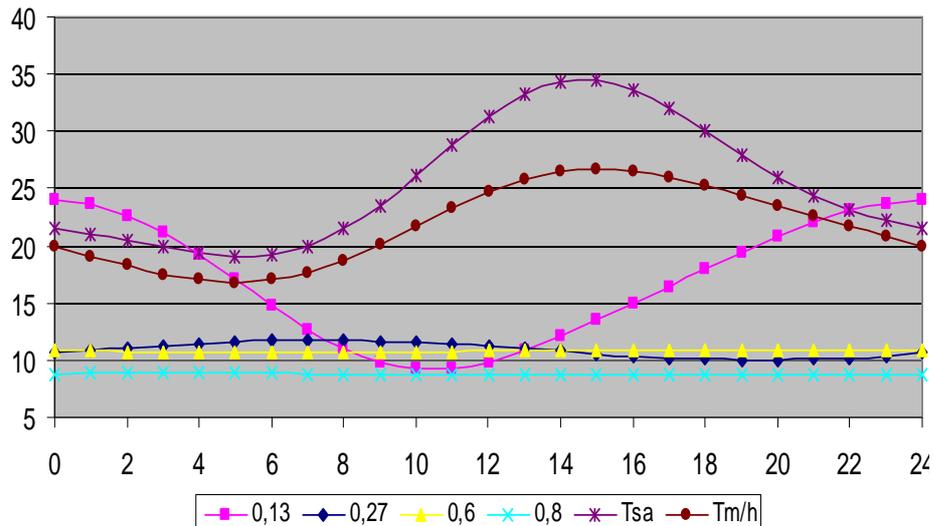


FIG. 6.9 - Flusso di calore  $q$  ( $\text{Wh/m}^2$ ) sulla faccia interna di una parete scura all'esterno per diverse tipologie di muratura: in mattoni ( $d=13\text{cm}$  e  $d=27\text{cm}$ ) - in pietra ( $d=60\text{cm}$  e  $d=80\text{cm}$ ).

E' interessante notare che la variazione di flusso termico nelle 24h ha un andamento sinusoidale per una parete di mattoni ad una testa, per quelle a due teste, l'oscillazione c'è ma è già piccola. Per le pareti in pietra l'onda di calore è quasi piatta. Tale risultato era comunque ovvio, in quanto tali murature, come già visto, hanno un fattore di attenuazione molto basso, inferiore a 0,1, pertanto in questi casi l'ampiezza dell'onda del flusso di calore è praticamente trascurabile.

Un altro confronto interessante è quello di riportare sullo stesso grafico un tipo di parete costituita dalla stessa tipologia di materiale, ma a differenti spessori e colore.

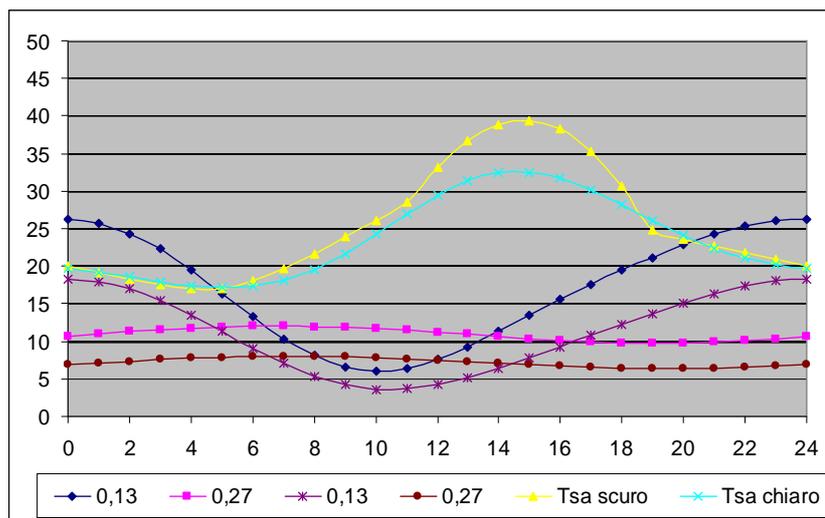


FIG. 6.10 - Flusso di calore ( $\text{Wh/mq}$ ) da parete chiara e scura - Mur. mattoni ( $S=13\text{cm}$  e  $S=27\text{cm}$ )

Le curve del flusso di calore restano quasi parallele. Tuttavia si vede che al diminuire dello spessore aumenta la differenza del flusso tra una parete scura e una parete chiara.

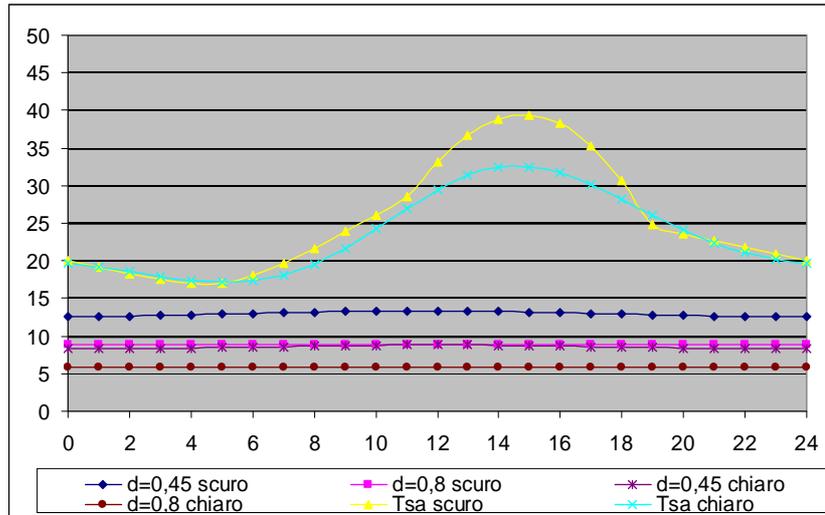


FIG. 6.11 - Flusso di calore (Wh/mq) da parete chiara e scura Mur. pietra ( S= 45cm e S=80cm )

Di seguito si riportano in tabella, la differenza di flusso termico tra una parete chiara e una parete scura, per tre diversi tipi di materiale: mattone, pietra e terra.

Flusso di calore (Wh/mq) - parete in pietra			
Spes. (m)	Parete scura	Par. Chiara	$\Delta q_i$
0,45	13,32	8,79	4,52
0,60	10,85	7,14	3,70
0,75	9,25	6,09	3,16
0,90	8,08	5,32	2,76

Flusso di calore (Wh/mq) - parete in mattoni			
Spes. (m)	Parete scura	Parete chiara	$\Delta q_i$
0,13	26,29	18,24	8,05
0,27	12,00	7,98	4,02
0,41	8,24	5,43	2,81
0,55	6,46	4,26	2,21

Flusso di calore (Wh/mq) - parete in terra			
Spessore (m)	Colore SCURO	Colore CHIARO	DIFF
0,50	8,98	5,92	3,06
0,60	7,76	5,11	2,65
0,70	6,87	4,52	2,35
0,80	6,16	4,06	2,11

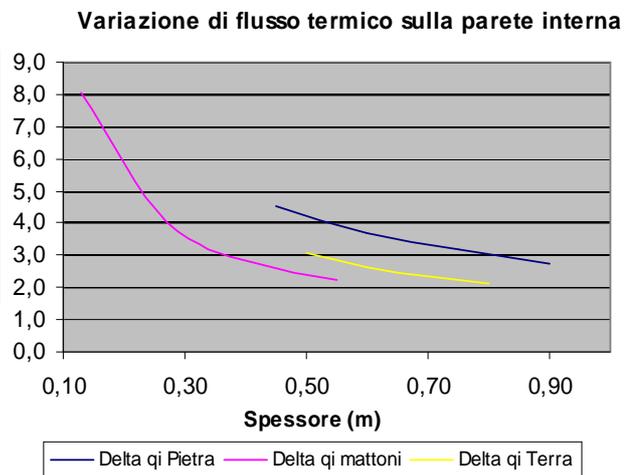


FIG 6.12 – Variazione di  $\Delta q_i$  in funzione della tipologia muraria e del colore della parete esterna.

Dai dati ottenuti, si nota che la differenza di flusso termico, di un parete scura nei confronti di una chiara, risulta più elevata per le pareti sottili rispetto a quelle spesse. In conclusione è lecito affermare che per le murature massicce il comportamento termico della parete è praticamente indipendente dalla tonalità di colore della parete esterna.

## 7 Le chiusure d'ambito: gli infissi

L'infisso sia esso porta, sia esso finestra, è l'elemento che più caratterizza l'edificio rurale dal punto di vista del valore estetico e della situazione socio-economica di chi vi abitava. Le aperture infatti, descrivono lo spartito della facciata e differenziano gli spazi funzionali, da quelli più strettamente lavorativi a quelli residenziali, attraverso la loro forma, grandezza ed il sistema di chiusura. Le aperture, sia esse porte o finestre, sono delimitate superiormente da una piattabanda in legno di quercia, o nei casi più ricercati da archetti in mattoni o da conci lapidei più o meno lavorati. Ma è soprattutto la dimensione dell'apertura che caratterizza l'aspetto bioclimatico. Infatti aperture dimensionalmente più piccole si ritrovano spesso sul lato nord, verso sud invece le aperture si aprono maggiormente per ricevere al loro interno una maggiore quantità di raggi solari.



Tuttavia la maggior parte degli edifici rurali sembra possedere aperture con dimensioni ridotte, come se tale costruzione volesse essere un organismo chiuso su se stesso, quasi introverso, lasciando all'esterno giusto piccole aperture per il ricambio dell'aria.

Tale caratteristica è comune ai manufatti di tipo povero, quelli spontanei nati dove il contadino aveva il suo piccolo podere. L'esigenza maggiore era quindi quella di disperdere il meno possibile il calore all'esterno, esigenza di coibenza termica che si realizzava con i pochi materiali a disposizione. Le costruzioni più povere presentano ancora rudimentali infissi in cui il vetro era sostituito, per esigenze di economia, da una tela cerata di colore bianco che comunque non isolava affatto l'ambiente interno.

Il legno usato sembra essere quello di castagno, anche se il cattivo stato di conservazione ormai rende quasi illeggibile il materiale costituente.

Altri edifici, quelli più isolati soprattutto, hanno il fronte principale caratterizzato dalla quasi totalità dei vanni di accesso e da finestre, gli altri prospetti sono pressoché ciechi anche per una questione difensiva. Infatti non sono rare feritoie usate per la difesa contro le scorribande notturne dei briganti a fine ottocento.

## 7.1 Tipologie di finestre

Dal punto di vista bioclimatico la finestra è l'elemento di separazione tra interno ed esterno che permette di far affluire la radiazione solare all'interno dell'abitazione. La quantità di energia solare trasmessa attraverso la finestra dipende, oltre dalle ombre portate da oggetti esterni, anche dalle ombre portate del vano finestra. Perciò la finestra a filo di parete capta maggiore radiazione solare rispetto ad una finestra posa in opera in arretrato. La nicchia infatti, in misura maggiore se esposta a sud, contribuisce, soprattutto in estate, a diminuire la superficie vetrata soleggiata. Contemporaneamente, però, la finestra deve evitare la dispersione di calore all'esterno. Essa rappresenta quindi la parte più debole, dal punto di vista delle resistenze termiche, dell'elemento di confine del manufatto edilizio, pertanto necessitava sicuramente di alcuni accorgimenti per limitare la dispersione termica.

Di seguito si riportano diverse tipologie di infissi rivenute su diverse aree del territorio molisano.

<b>F1</b>	<b>Comune:</b> Bojano, loc. Civita, borgo med.	<b>Tipologia:</b> A sportelloni
		<p>L'infisso è costituito da un telaio interno in legno su cui sono incardinati due sportelloni in legno massiccio che si aprono verso l'interno. Manca totalmente il vetro.</p>
<b>F2</b>	<b>Comune:</b> Bojano (loc. Civita), S.Elia a P.	<b>Tipologia:</b> A sportelloni, con scuretto
		<p>Tipologia di infisso con tela cerata che in antico sostituiva il vetro, con due sportelloni, soretti da un telaio in legno. L'anta maggiore a sua volta presenta uno scuretto da chiudere in funzione delle condizioni ambientali.</p>

<b>F3</b>	<b>Comune:</b> Baranello (CB)	<b>Tipologia:</b> A doppia anta e con scuretti interni
		<p>Tipologia più ricorrente costituita da due ante a vetro e due scuretti interni incernierati direttamente sull'anta. Tali scuretti, se chiusi, realizzano un sistema di chiusura totale, come se costituito da due sportelloni.</p>
<b>F4</b>	<b>Comune:</b> Castropignano (CB)	<b>Tipologia:</b> A doppio infisso
		<p>Sistema tecnologico costituito da un infisso esterno con vetri montato a filo di parete e un infisso interno costituito da due sportelloni in legno massiccio. I due infissi sono sorretti mediante cerniere da un unico telaio.</p>
<b>F5</b>	<b>Comune:</b> Agnone (IS)	<b>Tipologia:</b> Infisso con finestrino di areazione.
		<p>Tipologia esclusivamente rinveni-bile in alto Molise. Costituita da due ante con vetri e due sportelloni interni. Sull'anta a vetri, e sorretto dal telaio di quest'ultima si trova incardinato, nella parte bassa, uno sportellino di areazione. Tale tipologia scaturisce esclusiva menta dal clima rigido di queste zone. Infatti il ricambio di aria ottenibile con l'apertura dell'anta creerebbe una notevole dispersione di calore.</p>

## 7.2 Tipologie di porte

Il passaggio dall'esterno all'interno dell'edificio rurale è spesso segnato da una molteplicità di tipologie di porte, legate ognuna ad un ben preciso ambiente funzionale. Generalmente l'edificio rurale possiede più di un accesso, diversi per gli ambienti di tipo agricolo, generalmente uno o due per la parte residenziale. Gli edifici a corte invece sono costituiti da un ingresso principale, contraddistinto da un portale in pietra di grande luce per il passaggio dei carri verso la corte interna. Generalmente gli ambienti tipicamente agricoli sono costituiti da un unico vano e quindi con un'unica apertura, siano essi depositi, cantine o stalle. Una tipologia molto diffusa è quella della *mezza porta*, cioè l'anta è divisa in una parte inferiore ed una superiore che può essere mantenuta aperta quando quella inferiore è chiusa. Ognuna di queste porte è costituita da legno massiccio, generalmente legno di castagno. Tecnologicamente queste porte sono costituite da tavole inchiodate su dei telai interni che a loro volta sono incardinati su un controtelaio fissato alla parete.

<b>P1</b>	<b>Comune:</b> S.Massimo (CB)	<b>Tipologia:</b> Ad anta unica
		<p>Porta d'ingresso costituita da un'unica anta decorata. La struttura è formata da un telaio retrostante su cui vengono inchiodate tavole verticali. Alla base dell'infisso della tavole trasversali si sovrappongono alle precedenti per una maggiore protezione dalle acque meteoriche.</p> <p>Da notare il <i>foro del gatto</i> in basso a destra. Tale foro era necessario per la ventilazione interna specie se nello stesso ambiente vi è ubicato il focolare, che per il tiraggio ha bisogno di prelevare aria dall'ambiente.</p>
<b>P2</b>	<b>Comune:</b> Castropignano (CB)	<b>Tipologia:</b> <i>Mezzaporta</i> ad una anta
		<p>Questo tipo di porta, ad una sola anta, è molto utile per le stalle in quanto non permette l'uscita degli animali e contemporaneamente assicura una ventilazione, attraverso l'apertura della parte superiore, oltre che permettere l'ingresso dei raggi solari.</p>

<b>P3</b>	<b>Comune:</b> Carpinone (IS)	<b>Tipologia:</b> Porta a tre ante
		<p>Porta costituita da una parte superiore a due ante ed una parte inferiore a tre ante, era necessaria la dove si aveva l'esigenza di far passare i carri, quindi per l'accesso alle corti interne, o per gli ambienti di magazzino. La struttura della porta permette di aprire le ante a seconda del grado di soleggiamento interno, infatti l'enormità dell'infisso permetteva di trasformare il magazzino in un portico molto adatto per i lavori invernali.</p>
<b>P4</b>	<b>Comune:</b> Baranello (CB)	<b>Tipologia:</b> Mezzaporta a due ante
		<p>Tipo di porta generalmente usato per l'ingresso alla parte abitativa, sia alla cucina che alla zona delle camere da letto quando queste erano disgiunte. La mezza anta è sempre presente sia per dare luce che per attuare la ventilazione interna.</p>
<b>P5</b>	<b>Comune:</b> Catropignano (CB)	<b>Tipologia:</b> Porta a due ante
		<p>Tipo di porta rinvenuto in edifici meno poveri, usati soprattutto per il soggiorno estivo del proprietario terriero. Tecnologicamente l'infisso diventa più ricercato e curato nei dettagli costruttivi. Le tavole esterne divengono orizzontali supportate all'interno da croci antisfondamento. Il foro del gatto, utile per la ventilazione, non è più realizzato attraverso la porta, bensì attraverso il muro adiacente.</p>

<b>P6</b>	<b>Comune:</b> Frosolone (IS)	<b>Tipologia:</b> Porta a due ante con scuri esterni
		<p>Questo tipo di porta non è rinvenibile negli ambienti rurali veri e propri, bensì in quegli agglomerati dove si poteva trovare il commercio. Infatti tale infisso possiede due ante esterne facilmente removibili e portate all'interno durante il giorno in modo che la porta diventi una porta vetrata. Durante la notte, oltre che per una questione di protezione, tale scuri esterni sono molto utili per aumentare la resistenza termica dell'intero infisso.</p>
<b>P7</b>	<b>Comune:</b> Monteroduni (IS)	<b>Tipologia:</b> Porta a doppio infisso
		<p>Questo tipo di porta è quello che maggiormente realizza una resistenza termica rispetto agli altri tipi. L'infisso esterno è quello che maggiormente realizza un spessore notevole anche di 10 cm che viene chiuso quando le temperature esterne risultano essere rigide. L'infisso interno, parzialmente vetrato, permette l'ingresso della radiazione solare. Tale infisso, pertanto è rinvenibile in tutto l'alto Molise ed in quei comuni che si trovano in aree adiacenti il massiccio del Matese.</p>

## **8 Sottosistemi bioclimatici esterni: l'ombreggiamento.**

Nella tradizione costruttiva di tipo rurale l'esigenza di raffrescare gli edifici era poco sentita, proprio perché la vita, soprattutto nel periodo estivo si svolgeva all'aperto. Tuttavia, come già visto nel capitolo 6, la muratura massiccia contribuiva a smorzare l'onda termica in modo che alla sera e durante la notte l'edificio potesse rimanere ancora fresco. Tuttavia il controllo della radiazione solare poteva essere attuato mediante ombreggiamenti ottenuti con vere e proprie schermature solari costituite da alberature, pergolati, portici e, talvolta, da corti interne. Tali sistemi schermanti hanno spesso una duplice funzione: quella di creare degli spazi più freschi esterni e contemporaneamente quella di proteggere le murature dell'edificio dall'eccessivo surriscaldamento. Talvolta, invece tali sistemi sono disgiunti dall'edificio in modo da creare dei veri e propri spazi bioclimatici esterni. Infatti la vegetazione contribuisce a creare una differenza di temperatura tra la zona ombreggiata e la zona soleggiata, inoltre l'evapotraspirazione delle foglie sottrae calore agli strati d'aria adiacenti che aumentando di densità tendono a scendere. Tali condizioni, quindi, generano delle microcircolazioni di aria negli spazi ombreggiati in modo da mitigare la sensazione di disagio dovuta alle alte temperature.

### **7.1 Sistemi pergolati**

Nell'edilizia rurale molisana i pergolati sono stati da sempre utilizzati come modello per il controllo del microclima degli spazi aperti. L'accostamento del pergolato ai piani bassi dell'edificio, proprio in corrispondenza delle aperture, oltre a schermare la radiazione solare, permetteva l'ingresso di aria più fresca internamente. Tale espediente era necessario in corrispondenza dei magazzini e delle cantine dove si doveva evitare l'ingresso di aria calda in estate proprio per una migliore conservazione dei prodotti stoccati. Inoltre, in adiacenza all'ingresso della zona residenziale, il pergolato diventa uno spazio coperto di completamento all'edificio. Delimita infatti spazi esterni ampi e ben attrezzati, spesso dotati di rudimentali arredi fissi in pietra. In adiacenza alla cucina, invece, il pergolato contribuisce a creare uno spazio attrezzato dove mangiare all'aperto durante il periodo estivo.

Il pergolato bioclimatico, però, deve permettere il passaggio della radiazione solare in inverno, pertanto deve essere necessariamente costituito da vegetazione a foglia caduca. I pergolati molisani sono costituiti principalmente dalla vite che in estate permette un grande sviluppo fogliare, mentre in autunno la perdita delle foglie è

abbastanza rapida. Il vitigno riscontrato è tipicamente locale, generalmente costituito dalla varietà *Tintiglia*.

La tipologia di pergolato si è evoluta in varie forme, da quella accostata all'edificio a quella isolata, per divenire sempre più elemento di arredo di orti, giardini ed aie, in modo creare dei veri e propri spazi bioclimatici disgiunti dall'edificio dove poter svolgere lavori all'ombra in estate. Presso edifici di tipo signorile destinati quasi esclusivamente al soggiorno estivo, tale sistema diviene elemento decorativo, sovrapposto a delle sedute, modificato completamente nella forma. La tipica pergola diventa gazebo, generalmente contraddistinto da una forma emisferica della superficie ombreggiante e modellato da piante rampicanti o da roseti.

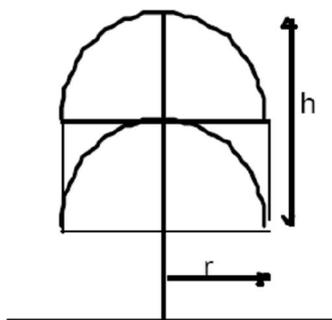
Talvolta, si rinvengono anche piante rampicanti a foglia caduca, tipo vite americana, disposte su pareti di edifici.

PE1	Comune: Jelsi (CB)	Sistema Ombra: pergolato isolato
	<p>Tipologia di pergolato non molto ricorrente. Generalmente usato per coprire spazi di servizio quali pozzi o depositi esterni. La funzione bioclimatica risulta essere poco sfruttata, bensì tale tipologia assume soprattutto un carattere di arredo degli spazi di connessione degli edifici rurali.</p>	
PE2	Comune: Jelsi (CB)	Sistema Ombra: pergolato a sbalzo
	<p>Tale tipologia è ottenuta con dei supporti a sbalzo dalla parete, che generalmente sono costituiti da piccole travi di legno, in altri casi da profilati metallici. La pergola quindi è ottenuta facendo crescere la vite su tali supporti. Tale tipologia, non essendo molto sporgente, riesce a proiettare ombre su zone limitate della muratura, pertanto risulta essere sfruttato a pieno come schermature di finestrate. Da notare che la mezza porta risulta essere schermata nella parte alta.</p>	

<b>PE3</b>	<b>Comune:</b> Castropignano (CB)	<b>Sistema Ombra:</b> pergolato in adiacenza su pali
		<p>La struttura di supporto alla pergola è realizzata mediante delle travi in legno incastrate ad una estremità nella muratura e appoggianti su pali in legno all'altra estremità. Un grigliato di <i>canne</i> costituiva l'orditura secondaria su cui ancorare i tralci della vite.</p> <p>La dimensione trasversale generalmente non supera i 3-4 m, in quanto tali dimensioni sono facilmente ottenibili con delle rudimentali travi ottenute senza particolari lavorazioni.</p>

## 7.2 Ombre portate da alberature

Lo spazio esterno all'edificio rurale è segnato sempre da alberature che generano delle ombre portate o sull'edificio stesso o su luoghi di lavoro come le aie. Generalmente l'ombreggiamento è ottenuto da piante autoctone a foglia caduca, proprio perché genera ombra in estate e permette il passaggio dei raggi solari attraverso i rami durante i periodi più freddi. La specie arborea più usata è la quercia



Forma emisferica  
 $h = 1 + 2r$

la cui defogliazione avviene nel tardo autunno, mentre la fogliazione avviene nel tardo mese di aprile. La trama fogliare risulta essere abbastanza fitta in modo che il coefficiente di ombreggiamento è circa 0,19 in estate e 0,80 in inverno.

La forma emisferica inoltre permette di avere un uno sviluppo verticale con un discreto raggio orizzontale.

<b>AL1</b>	<b>Comune:</b> Salcito (CB)	<b>Sistema Ombra:</b> alberatura a foglia caduca
		<p>La grande quercia è l'elemento che nel paesaggio individua immediatamente l'edificio rurale: non c'è edificio rurale senza una quercia nell'intorno. Tali querce sono disposte sul lato sud ovest dell'edificio in modo da poter proiettare la grande ombra sull'edificio stesso. Il raggio di una quercia simile può essere anche di 5-6m con uno sviluppo in altezza anche di 15m.</p>

<b>AL2</b>	<b>Comune:</b> Larino (CB)	<b>Sistema Ombra:</b> alberatura di sempreverdi
		<p>La casa padronale estiva invece è subito individuata da alberature non autoctone, come se tale edificio si dovesse distinguere nel paesaggio. L'effetto bioclimatico, soprattutto di schermatura, di alberature a forma conica risulta essere piuttosto limitato. Comunque la loro disposizione, e la loro altezza, non sembrano avere solo un carattere estetico, ma di schermatura e frangivento.</p>
<b>AL3</b>	<b>Comune:</b> Larino (CB)	<b>Sistema ombra:</b> alberatura di sempreverdi
		<p>Il pino potato con chioma ad ombrello è la specie che meglio identifica le case padronali per il soggiorno estivo. La loro posizione, a volte decorativa sul lato principale, a volte in posizione panoramica, non sempre riescono a schermare in modo appropriato l'edificio. Tuttavia la loro altezza e la larghezza della chioma, in diversi casi, sembra più schermare la copertura anziché le murature.</p>
<b>AL4</b>	<b>Comune:</b> Larino (CB)	<b>Sistema ombra:</b> rampicante a foglia caduca
		<p>Affinchè un rampicante possa essere considerato un sottosistema bioclimatico deve essere necessariamente a foglia caduca. Infatti la schermatura e l'evapotraspirazione delle foglie determinano sulla parete una micro ventilazione che non ne permette il surriscaldamento. Viceversa in inverno la parete si trova esposta alla radiazione solare. Anche la comune edera potrebbe essere considerata parzialmente benefica solo se presente su pareti completamente esposte ad ovest.</p>

## 9 Schedatura di rilievo della qualità bioclimatica

In questo capitolo si propone una metodologia di indagine per l'individuazione dei sottosistemi bioclimatici finora trattati i quali possono essere analizzati e individuati attraverso una schedatura di rilievo appositamente predisposta. Si è elaborato quindi una scheda per il contesto molisano, mostrata nel prosieguo, che costituisce un espediente sperimentale e pertanto potrà essere adattata, sviluppata e integrata in base al contesto ambientale e territoriale di indagine.

L'utilizzo di tale scheda risulta essere adeguata ad un rilievo speditivo delle qualità bioclimatiche intrinseche ed estrinseche degli edifici rurali, o comunque tradizionali, in modo che i dati raccolti sono utili ai fini della valutazione di un recupero energeticamente sostenibile dell'edificio.

La scheda proposta prevede innanzitutto una classificazione delle tipologie rilevate che andrà riportata attraverso una sigla in alto a destra seguito da un numero progressivo. Sono state prese in considerazione le seguenti tipologie edilizie:

CIS	Casa isolata semplice
CLI	Casa in linea
CA	Casa in aggregato
CS	Casa signorile

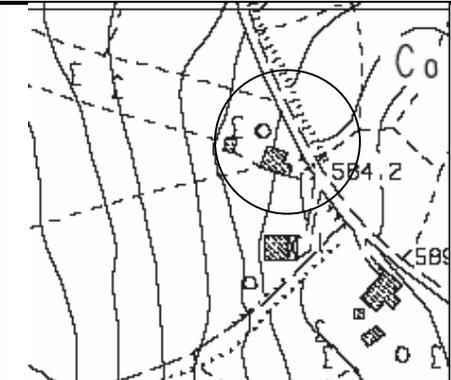
Il primo blocco di informazioni pertanto riguarda localizzazione, la tipologia, la consistenza edilizia la forma planimetrica e i caratteri costruttivi del manufatto.

		<b>CIS/01</b>
LOCALIZZAZIONE	<b>BARANELLO (CB)</b>	C.da Cervara
CONSISTENZA EDILIZIA Piano inferiore 1° livello sottotetto	Stalla e cantina seminterrata Cucina, 2 camere Deposito, stanza abitabile	
TIPOLOGIA	Casa isolata di pendio	
FORMA PLANIMETRICA	Rettangolare allungata	
CARATTERI COSTRUTTIVI murature portanti solai coperture	Pietra calcarea appena sbazzata con muratura di calce In legno / In putrelle e voltine sottostruttura in legno e manto in coppi	

Il secondo blocco di informazioni riguarda l'inquadramento climatico locale attraverso i parametri esposti nel paragrafo 3.1. Ovviamente i dati di riferimento da riportare, oltre quelli normati dal DPR 412/93 comune per comune, si può far riferimento a

quelli dell'archivio DBT dell'ENEA prendendo come riferimento il comune più vicino o comunque ad archivi locali se esistenti. Viene quindi indicato se il sito è di pianura o pendio, con la relativa esposizione e riportata la quota altimetrica. Tali dati, infatti, vogliono essere utili a capire in che contesto l'edificio si inserisce, in quanto oltre ai parametri di temperatura, dall'esposizione del versante dipende anche il soleggiamento della zona di indagine.

Infine verranno riportati i riferimenti catastali e le coordinate, come ad esempio quelle Gauss-Boaga della carta tecnica CTR del Molise, o quelle geografiche facilmente ottenibili con un normale GPS. Le coordinate riportate, ovviamente, servono essenzialmente ad individuare l'ubicazione del manufatto, e comunque nella scheda si riporterà anche un piccolo stralcio della CTR.

Planimetria CTR Molise		Zona climatica ENEA	4F2C
		Gradi Giorno DPR 412/zona	2118/E
		Venti prev.	WSW
		Sito	pendio
		Declinazione	ESE
		Quota s.l.m.	610 m
		Coord: Gauss	N 4.597.840 E 2.482.510
		Rif. Catastale	F14, p.15
		Note	

Di seguito la scheda è contraddistinta da quattro blocchi, ognuno utile a descrivere le qualità bioclimatiche di ogni lato del manufatto edilizio. Si è pensato di discretizzare l'edificio composto da quattro lati, ma tale numero non deve essere considerato un limite in quanto gli edifici in aggregato possono essere analizzati con più schede, una per ogni corpo di fabbrica. In casi particolari, come l'edificio ottagonale di Fossalto si è utilizzato un espediente, che meglio si vedrà dalla relativa scheda (CS/2), riconducendo comunque l'edificio a quattro lati. La prima indicazione che andrà rilevata è l'azimut della parete, dato facilmente rilevabile o mediante una bussola o una planimetria catastale, al fine di valutare se l'edificio ha un buon orientamento a meno. Di seguito quindi verranno indicati i dati dimensionali dell'intera parete e delle aperture presenti in modo da ottenere una percentuale di foratura. Tale percentuale, se confrontata con quella dei lati peggiormente esposti, può essere un indice di una cattiva esposizione dell'intero edificio.

	<b>Esp. Parete</b>		ENE	
	Azimut Parete		+105°	
	N. finestre	4	Sup.	2,3
	N. porte	2	Sup.	3,1
	Tot. Sup. aperture			5,4
	L	10,4	Hmed	6,8
	Tot Sup. Parete			70,7
	% forature			7,6%
	Falda del tetto		Sup.	62
	Portico			
	Pergolato			
	Alberature			
	Ambienti prospicienti: Camere, depositi e cantine			

E' stata riportata anche la superficie della falda del tetto corrispondente all'azimut della facciata in esame in quanto tale dato potrebbe essere molto utile per l'inserimento di sistemi solari attivi quali pannelli solari e pannelli a celle fotovoltaiche. In questo caso la scheda fornisce già i dati di input per il calcolo della radiazione solare ricevuta. Infine si riporta necessariamente una foto, un prospetto o comunque un qualsiasi dettaglio utile a descrivere la geometria dell'edificio; inoltre è possibile annotare anche la presenza di sottosistemi bioclimatici adiacenti l'edificio quali portici, pergolati ed alberature, sempre relativamente a una determinata esposizione. Tali dati vengono riportati per tutti e quattro i lati.

E' possibile quindi calcolare il rapporto S/V del manufatto edilizio, rapporto necessario ad analizzare l'indice di prestazione energetica dell'edificio, nell'ottica di un recupero energetico, così come indicato dal Dlgs 192/05.

Vengono quindi riportate le tipologie di infissi, se presenti e le loro caratteristiche, oltre che gli antichi sistemi di riscaldamento costituiti generalmente dall'unico camino della cucina.

Sup. tot	326,7	Vol. tot	790,4	S/V	<b>0,41</b>
<b>Infissi</b>	A filo di parete		Con scuretti interni		X
Finestre F3	Con persiana esterna		Con sportelloni interni		
Porte P1/P2/P4					
<b>Sistemi di riscaldamento</b>	Camino n.			2	
Canna fumaria su parete non perimetrale				X	
<b>Sistemi di raffrescamento</b>	Torrini di ventilazione			No	
Fori di comunic. Seminter				No	
Fontane / presenza di acqua				No	
Altri sistemi:					

Infine l'ultimo riquadro è necessario per il rilievo della qualità muraria. Pertanto andranno indicati lo spessore dei maschi murari perimetrali a secondo dell'esposizione e del livello di piano e inseriti all'interno della relativa matrice.

Le caratteristiche termiche della muratura rilevata possono essere espresse con il codice della tipologia di muratura come indicato nel paragrafo 6.1 Tipologie murarie.

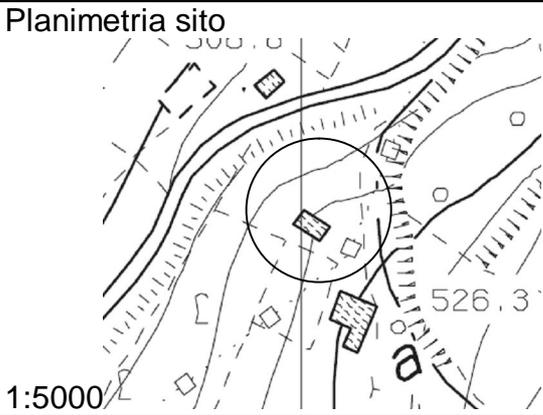
MURATURE		Spessori Parete/liv	PARETI				
			1	2	3	4	
Muratura di tipo M1 su tutte le pareti. Stato di conservazione scadente per degrado della malta.	Muratura angolo parete 1-2	LIVELLI	1			0,75	
			2	0,60	0,60		
			3				
			4				
			5				

Una volta ottenuti tali dati è possibile quindi esprimere un giudizio sulla qualità bioclimatica dell'edificio, oltre che procedere al calcolo per la verifica delle dispersioni termiche, in via preliminare, in funzione di un possibile recupero dell'edificio. Infatti come si vedrà nel capitolo 14, con i dati rilevati sarà possibile esprimere una valutazione numerica della qualità bioclimatica rilevata.

Nel seguito di riportano alcune schede compilate a titolo di esempio.

## 9.1 Esempio scheda di casa isolata

CIS/01

LOCALIZZAZIONE	<b>BARANELLO (CB)</b>	C.da Cervara		
CONSISTENZA EDILIZIA Piano inferiore 1° livello sottotetto	Stalla e cantina seminterrata Cucina, camera Deposito, cantina			
TIPOLOGIA	Casa isolata di pendio			
FORMA PLANIMETRICA	Rettangolare allungata			
CARATTERI COSTRUTTIVI murature portanti solai coperture	Pietra calcarea appena sbazzata con muratura di calce In legno / In putrelle e voltine sottostruttura in legno e manto in coppi			
Planimetria sito 	Zona climatica	ENEA		
	Gradi Giorno /Zona	4F2C		
	Venti prev.	2118/E		
	Sito	WSW		
	Declinazione	pendio		
	Quota s.l.m.	ONO		
	Coord. Gauss	490 m		
	Rif. Catastale	N 4.597.840 E 2.482.510		
	Note	F8, p.177		
		Esp. Parete	SSW	
Azimut Parete		-24°		
N. finestre		3	Sup.	3,4
N. porte		1	Sup.	2,3
Tot. Sup. aperture				5,7
L		11	Hmed	6,8
Tot Sup. Parete				74,8
% forature				7,5%
Falda del tetto		Sup.	0	
Portico				
Pergolato				
Alberature				
Ambienti prospicienti:				
	Esp. Parete	ESE		
	Azimut Parete	+67°		
	N. finestre	0	Sup.	0
	N. porte	1	Sup.	2,3
	Tot. Sup. aperture			2,3
	L	5,5	Hmed	6
	Tot Sup. Parete			33,0
	% forature			7,0%
	Falda del tetto	Sup.	21	
	Portico			
Pergolato				
Alberature				
Ambienti prospicienti:	parete di controterra			



Esp. Parete		NNE	
Azimut Parete		+154°	
N. finestre	1	Sup.	0,5
N. porte	0	Sup.	0
Tot. Sup. aperture			0,5
L	11,0	Hmed	6,8
Tot Sup. Parete			74,8
% forature			0,7%
Falda del tetto		Sup.	0,00
Portico			
Pergolato			
Alberature			
Note La parete è di controterra			

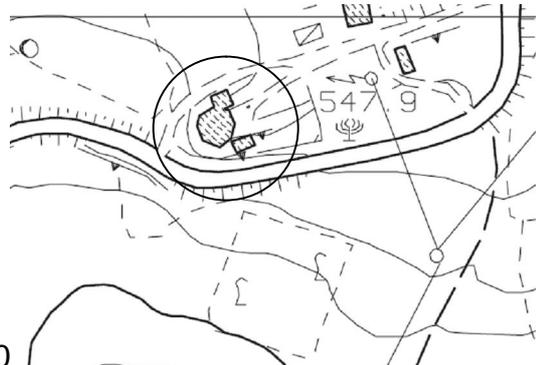


Esp. Parete		NNO	
Azimut Parete		-116°	
N. finestre	2	Sup.	1,9
N. porte	1	Sup.	2,3
Tot. Sup. aperture			4,2
L	5,5	Hmed	6,0
Tot Sup. Parete			33,0
% forature			13,%
Falda del tetto		Sup	21
Portico			
Pergolato			
Alberature			
Note			

Sup. tot	319,0	Vol. tot	411,4	S/V	<b>0,78</b>		
Infissi	A filo di parete Con persiana esterna		Con scuretti interni Con sportelloni interni	X			
Sistemi di riscaldamento	Canna fumaria su parete non perimetrale			Camino n.	1		
Altro sistema:							
Sistemi di raffrescamento	Torrini di ventilazione			No			
	Fori di comunic. Seminter			No			
	Fontane / presenza di acqua			No			
MURATURE		Spessori Parete/liv	PARETI				
Muratura di tipo M2 su tutte le pareti. Stato di conservazione scadente per degrado della malta.			1	2	3	4	
			LIVELLI	1			0,8
			2				
			3				
	4						
	Muratura parete 1	5					
Note: la parete n4 è stata ricostruita nella parte alta							

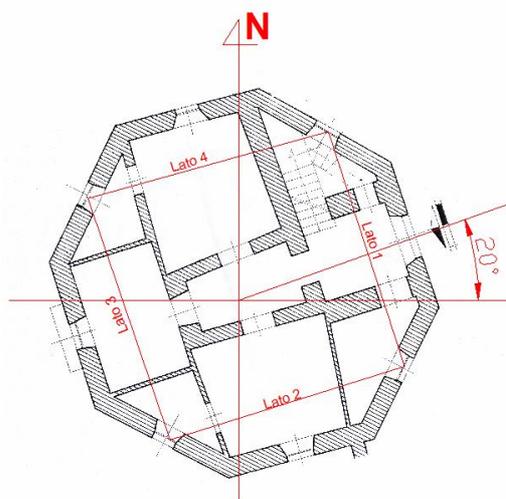
## 9.2 Esempio scheda di casa signorile

CS/01

LOCALIZZAZIONE	<b>FOSSALTO (CB)</b>		C.da S.Agnese	
CONSISTENZA EDILIZIA	1° livello Cantina seminterrata 2° livello Cucina, camere 3° livello Camere			
TIPOLOGIA	Casa isolata di pendio con corpi aggiunti di servizio			
FORMA PLANIMETRICA	Ottagonale			
CARATTERI COSTRUTTIVI	murature portanti Pietra calcarea appena sbazzata con muratura di calce solai In legno / In putrelle e voltine coperture sottostruttura in legno e manto in coppi			
Planimetria sito			Zona climatica ENEA 62400/4F Gradi Giorno /Zona 2003/D Venti prev. WNW Sito pendio Declinazione SOS Quota s.l.m. 547 m Coord. Gauss N 4.614.460 E 2.482.715 Rif. Catastale F_, p.193 Note	
	Esp. Parete N.1		ENE	
	Azimut Parete		+110°	
	N. finestre	5	Sup.	6,6
	N. porte	1	Sup.	3,4
	Tot. Sup. aperture		10,0	
	L	11,2	Hmed	13,0
	Tot Sup. Parete		145,6	
	% forature		6,9%	
	Falda del tetto	Sup.	37	
	Portico			
	Pergolato			
	Alberature			
	Ambienti prospicienti:			
		Esp. Parete N.2		SSW
Azimut Parete		-20°		
N. finestre		6	Sup.	6,6
N. porte		0	Sup.	0
Tot. Sup. aperture		6,6		
L		11,2	Hmed	13
Tot Sup. Parete		146		
% forature		4,5%		
Falda del tetto		Sup.	37	
Portico				
Pergolato				
Alberature				
Ambienti prospicienti:				



Esp. Parete N.3		ONO	
Azimut Parete		-70°	
N. finestre	7	Sup.	7,7
N. porte	0	Sup.	0
Tot. Sup. aperture			7,7
L	11	Hmed	13
Tot Sup. Parete			146
% forature			5,3%
Falda del tetto		Sup.	37
Portico			
Pergolato			
Alberature			
Note			



Pianta P.T.

Esp. Parete N.4		NNO	
Azimut Parete		-160°	
N. finestre	7	Sup.	7,7
N. porte	1	Sup.	2,3
Tot. Sup. aperture			10
L	11,2	Hmed	13
Tot Sup. Parete			146
% forature			6,9%
Falda del tetto		Sup	37
Portico			
Pergolato			
Alberature			
Note			
Edifici di servizio addossati			

Sup. tot	783	Vol. tot	1630	S/V	<b>0,48</b>
----------	-----	----------	------	-----	-------------

Infissi	A filo di parete Con persiana esterna	Con scuretti interni Con sportelloni interni	X
---------	--	---	---

Sistemi di riscaldamento	Camino n. 1 Canna fumaria su parete non perimetrale
--------------------------	--

Altro sistema:

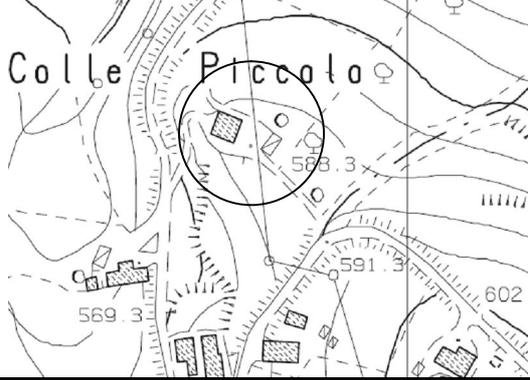
Sistemi di raffrescamento	Torrini di ventilazione	No
	Fori di comunic. Seminter	No
	Fontane / presenza di acqua	No

MURATURE		Spessori Parete/liv	PARETI			
			1	2	3	4
Muratura di tipo M2 su tutte le pareti. Stato di conservazione scadente per degrado della malta.	Muratura parete 3	LIVELLI	1		1,0	1,0
			2	0,7	0,7	0,7
			3	0,7	0,7	0,7
			4			
			5			

Note: Corpi annessi addossati sul lato nord-est.  
L'edificio anche se di otto lati si considera come schematizzata nella pianta riportata.

### 9.3 Esempio scheda di casa in aggregato

CA/01

LOCALIZZAZIONE		<b>BARANELLO (CB)</b>		C.da Colle Piccolo			
CONSISTENZA EDILIZIA		Piano inferiore 1° livello sottotetto					
		Stalla e cantina seminterrata Cucina, camere Deposito					
TIPOLOGIA		Casa di pendio					
FORMA PLANIMETRICA		Rettangolare allungata					
CARATTERI COSTRUTTIVI		murature portanti solai coperture					
		Pietra calcarea appena sbazzata con malta di calce Non rilevabile sottostruttura in legno e manto in coppi					
Planimetria: CTR Molise		Zona climatica ENEA		62400/4F			
		Gradi Giorno /zona		2118/E			
		Venti prev.		SSW			
		Sito		pendio			
		Declinazione		SSE			
		Quota s.l.m.		588 m			
		Coord. Gauss		N 4.597.570 E 2.482.915			
		Rif. Catastale		F8, p.80			
				Note La parte evidenziata non viene presa in esame, in quanto altra proprietà.			
			Esp. Parete		E		
Azimut Parete			+80°				
N. finestre	2		Sup.	2,2			
N. porte	1		Sup.	2,3			
Tot. Sup. aperture			4,5				
L	7,0		Hmed	4,5			
Tot Sup. Parete			49				
% forature			9,2%				
Falda del tetto			Sup.	0			
Portico							
Pergolato							
Alberature							
Ambienti prospicienti:							
	Esp. Parete		S				
	Azimut Parete		-10°				
	N. finestre	5	Sup.	5,5			
	N. porte	3	Sup.	6,9			
	Tot. Sup. aperture		12,4				
	L	13	Hmed	6,5			
	Tot Sup. Parete		84,5				
	% forature		15%				
	Falda del tetto		Sup.	93,6			
	Portico						
Pergolato							
Alberature							
Ambienti prospicienti:							



Esp. Parete		O	
Azimut Parete		-100°	
N. finestre	1	Sup.	1,0
N. porte	0	Sup.	0
Tot. Sup. aperture			1,0
L	7,0	Hmed	7,0
Tot Sup. Parete			49,0
% forature			2,2%
Falda del tetto		Sup.	0,0
Portico			
Pergolato			
Alberature			
Note			
La parete è di controterra			



Esp. Parete		N	
Azimut Parete		+170°	
N. finestre	0	Sup.	0,0
N. porte	0	Sup.	0,0
Tot. Sup. aperture			0,0
L	13,0	Hmed	6,5
Tot Sup. Parete			84,5
% forature			0%
Falda del tetto		Sup	15,6
Portico			
Pergolato			
Alberature			
Note			
Edificio addossato			

Sup. tot	456	Vol. tot	591	S/V	<b>0,77</b>
----------	-----	----------	-----	-----	-------------

<b>Infissi</b>	A filo di parete Con persiana esterna	Con scuretti interni  Con sportelloni interni	X
----------------	---	---	---

<b>Sistemi di riscaldamento</b>	Camino n. Canna fumaria su parete non perimetrale	1 x
---------------------------------	--	--------

Altro sistema:		
<b>Sistemi di raffrescamento</b>	Torrini di ventilazione Fori di comunic. Seminter Fontane / presenza di acqua	no no

MURATURE	Spessori Parete/liv	PARETI			
		1	2	3	4
Muratura di tipo M2 su tutte le pareti. Stato di conservazione scadente per degrado della malta.	LIVELLI	1			
		2			
		3			
		4			
		5			

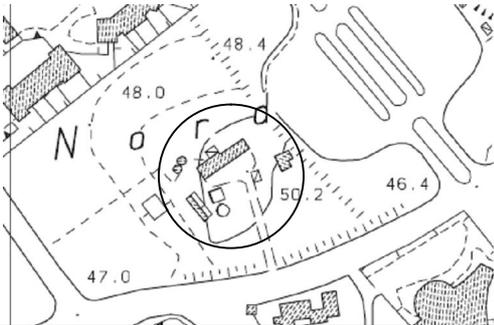


Muratura parete 1

Note: l'edificio viene schedato come tipologia in aggregato in quanto è da considerarsi solo una porzione dell'intero corpo di fabbrica.

## 9.4 Esempio scheda di casa in linea

CLI/01

LOCALIZZAZIONE	<b>Termoli (CB)</b>	C.da	
CONSISTENZA EDILIZIA Piano inferiore 1° livello sottotetto	Depositi, cantina seminterrata Cucina, 2 camere Deposito,		
TIPOLOGIA	Casa in linea		
FORMA PLANIMETRICA	Rettangolare allungata		
CARATTERI COSTRUTTIVI murature portanti solai coperture	Pietra calcarea appena sbazzata con muratura di calce In legno / In putrelle e voltine sottostruttura in legno e manto in coppi		
Planimetria sito 1:5000 	Zona climatica ENEA	33420/4C	
	Gradi Giorno /Zona	1350/C	
	Venti prev.	N/NE	
	Sito	pianura	
	Declinazione		
	Quota s.l.m.	50 m	
	Coord. Gauss	N 4.649.385 E 2.518.630	
	Rif. Catastale		
	Note		
	Esp. Parete	SSE	
	Azimut Parete	+34°	
	N. finestre	2	Sup. 2,2
	N. porte	5	Sup. 11,5
	Tot. Sup. aperture		13,7
	L	12,5	Hmed 6
	Tot Sup. Parete		75
	% forature		18,3%
	Falda del tetto	Sup.	35
	Portico	x	
	Pergolato		
	Alberature		
	Ambienti prospicienti:		
	Esp. Parete	ENE	
	Azimut Parete	+67°	
	N. finestre	2	Sup. 2,2
	N. porte	0	Sup. 0
	Tot. Sup. aperture		2,2
	L	5,5	Hmed 6
	Tot Sup. Parete		33
	% forature		6,7%
	Falda del tetto	Sup.	0
	Portico		
	Pergolato		
	Alberature		
	Ambienti prospicienti: il rudere addossato si dice essere un'antica nevieria.		

	Esp. Parete		NNW				
	Azimut Parete		+154°				
	N. finestre	3	Sup.	1,7			
	N. porte	0	Sup.	0			
	Tot. Sup. aperture			1,7			
	L	12,5	Hmed	6			
	Tot Sup. Parete			75			
	% forature			2,2%			
	Falda del tetto	Sup.	35				
	Portico						
Pergolato							
Alberature							
Note							
	Esp. Parete		OSO				
	Azimut Parete		-116°				
	N. finestre	1	Sup.	1,1			
	N. porte	0	Sup.	0			
	Tot. Sup. aperture			0,7			
	L	5,5	Hmed	6			
	Tot Sup. Parete			33			
	% forature			3,3%			
	Falda del tetto	Sup	0				
	Portico						
Pergolato							
Alberature							
Note Corpo basso addossato.							
Sup. tot	285	Vol. tot	412	S/V	0,69		
Infissi	A filo di parete Con persiana esterna		Con scuretti interni Con sportelloni interni	X			
Sistemi di riscaldamento			Camino n. Canna fumaria su parete non perimetrale	2 X			
Altro sistema:							
Sistemi di raffrescamento			Torrini di ventilazione Fori di comunic. Seminter Fontane / presenza di acqua	No No No			
MURATURE		Spessori Parete/liv		PARETI			
<p>Le pareti risultano essere ancora intonacate, la muratura che traspare sembra essere di laterizio tipo M5 o M6. Presenza di mattoni ad occhialoni nei timpani.</p>				1	2	3	4
		LIVELLI	1	0,7			
			2				
			3				
	4						
	5						
Note: Il corpo verso sud ovest non è stato considerato in quanto aggiunto posteriormente.							

## 10 ELABORAZIONE DI UNA CARTA DELLA RADIAZIONE SOLARE

La necessità di realizzare una carta solare nasce soprattutto dall'osservazione della distribuzione dell'edilizia storica. Abbiamo visto, infatti, come i centri medievali si sviluppavano soprattutto lungo i versanti declinanti a sud, come pure diverse costruzioni rurali si trovano in zone più soleggiate rispetto ad altre.

In questo capitolo, pertanto, si andranno a valutare da un punto di vista numerico, e quindi di risultato, quelle che sono le zone dove le condizioni di soleggiamento risultano ottimali per la realizzazione delle costruzioni. Si andrà quindi a verificare ciò che già era evidente da un discorso puramente di osservazione e si proporrà un metodo per l'individuazione di nuove aree dove poter sviluppare un'edilizia di tipo solare.

### 10.1 Considerazioni generali sul DEM

Un DEM (dall'inglese Digital Elevation Model), è un modello numerico digitale per la rappresentazione delle quote, e di conseguenza della superficie di un determinato territorio.

Tale modello, in genere, viene prodotto in formato raster, la cui immagine grafica viene vista come una scacchiera e ad ogni elemento della scacchiera, chiamato pixel, viene associato uno specifico colore corrispondente, a sua volta a ben determinata proprietà. Il formato dei dati corrisponde quindi ad un file contenente una matrice di  $m$  righe e  $n$  colonne. Il mondo reale viene descritto attraverso un codice, corrispondente ad un attributo che definisce le caratteristiche dell'oggetto rappresentato tramite l'elemento  $a_{ij}$  della matrice. La rappresentazione dei dati avviene attraverso la definizione di una griglia, le cui celle o pixel corrispondono agli elementi  $a_{ij}$  della matrice degli attributi. Nel caso del DEM tale attributo è il numero corrispondente alla quota altimetrica.

La suddetta griglia, al fine di poter essere utilizzata per scopi grafici e cartografici, deve essere georeferenziata, cioè organizzata secondo un sistema di riferimento e allocata opportunamente. Molto importante quindi assume il valore della dimensione del pixel, non solo per una questione geometrica, ma quanto per l'informazione restituita. Infatti la risoluzione geometrica del dato è inversamente proporzionale alla dimensione della cella.

Il DEM può essere prodotto con tecniche diverse. I modelli più raffinati sono in genere realizzati attraverso tecniche di telerilevamento che prevedono l'elaborazione

di dati acquisiti attraverso un sensore montato su un satellite, un aeromobile o una stazione a terra. Una tecnica più semplice per la produzione di DEM consiste nell'interpolazione delle isoipse che possono essere prodotte anche attraverso il rilevamento diretto sul terreno o dall'estrapolazione da una cartografia esistente.

I DEM possono essere impiegati in un sistema informativo geografico (GIS) per produrre nuovi dati, ad esempio: carte di acclività o di esposizione del versante, carte di visibilità da un punto, e come nello specifico caso una carta della radiazione solare.

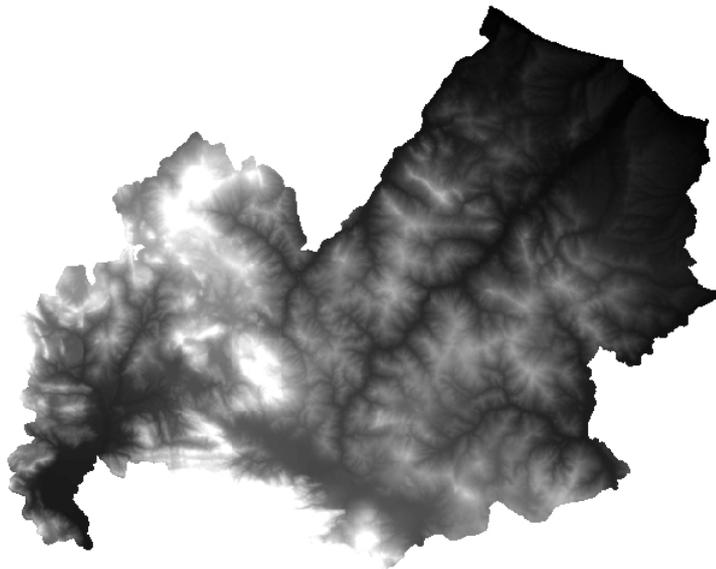


FIG. 10.1 - DEM della regione Molise, Fonte:master PRODUCTIVE COAST. Le aree scure sono quelle ad una quota minore, quelle bianche ad una quota maggiore.

Il DEM in possesso della Regione Molise che qui sopra si riporta, ha una risoluzione del pixel di 40m x 40m. Da come si può vedere le aree più scure costiere sono quelle che hanno una quota minore rispetto a quelle bianche dell'Alto Molise. Occorre comunque dotarsi di un GIS per eseguire una qualsiasi elaborazione su tale modello.

## **10.2 Elaborazione della carta della radiazione solare a partire da un DEM**

E' possibile realizzare una cartografia della radiazione solare, considerando l'area del pixel come una normale superficie esposta al sole orientata  $\alpha$  gradi rispetto al sud, elevata di  $\beta$  gradi rispetto al piano orizzontale. Tutto ciò è possibile in quanto i dati occorrenti sono contenuti negli attributi del DEM, infatti la quota altimetrica del pixel, messa in relazione rispetto ai pixel circostanti, concorre a determinare la pendenza del pixel stesso, quindi l'inclinazione rispetto al piano orizzontale. L'esposizione del pixel, invece, è ottenibile dalla pendenza del pixel e dalle

coordinate del pixel stesso precedentemente georeferenziato. Diversi sono gli algoritmi che vanno a calcolare la pendenza e l'esposizione del pixel, con risultati più a meno attendibili a seconda della finalità della carta da realizzare.

Quindi per calcolare la radiazione solare si hanno a disposizione tutti i parametri necessari per ogni pixel, a prescindere dal metodo usato. A tale scopo, in questo studio, si è usato il software ArcGis della ESRI Inc.

La necessità di definire la radiazione solare sul territorio non è rapportabile alla scala regionale ma può essere definita solo su scala locale. Infatti una definizione su scala più regionale non solo non consente una lettura dei parametri solari ma richiederebbe un'elaborazione complessa che non giustifica l'uso. Inoltre, l'esperienza, eseguita su normali PC di uso comune, mostra che non è agevole eseguire tale elaborazioni su territori molto estesi.

Si è scelto quindi, come esempio di elaborazione di una carta solare, un comune della provincia di Campobasso quale Baranello. Tale scelta, oltre per la conoscenza diretta dei luoghi, è stata operata in quanto in tale comune si osserva una distribuzione dell'edilizia rurale alquanto diffusa. Il centro urbano risulta modesto di estensione e per abitanti, le zone rurali invece sono sufficientemente popolate. Diverse sono le contrade, ma la casa rurale sparsa è molto diffusa. E' da precisare però che la tipologia edilizia riscontrata è, oltre che agricola, anche di tipo abitativa stanziale. In altri comuni, invece, l'edilizia rurale è destinata quasi esclusivamente a supporto delle lavorazioni agricole e dell'allevamento del bestiame mancando della parte prettamente abitativa. Dovendo operare su aspetti bioclimatici legati all'abitare, si è scelto, pertanto, di prendere in considerazione il comune di Baranello con un territorio rurale sufficientemente abitato. Sulla base delle precedenti considerazioni si è operato nel seguente modo:

- si è caricato nel GIS l'intero DEM molisano;
- si è sovrapposto al DEM il layer dei poligoni comunali;
- si è ritagliato il DEM per il solo comune di Baranello;
- si è sovrapposta la cartografia tecnica regionale in modo da individuare l'urbanizzazione dell'intero territorio comunale.

A seguito delle operazioni sopraindicate si è derivata la carta delle altimetrie riportata in FIG. 10.4.

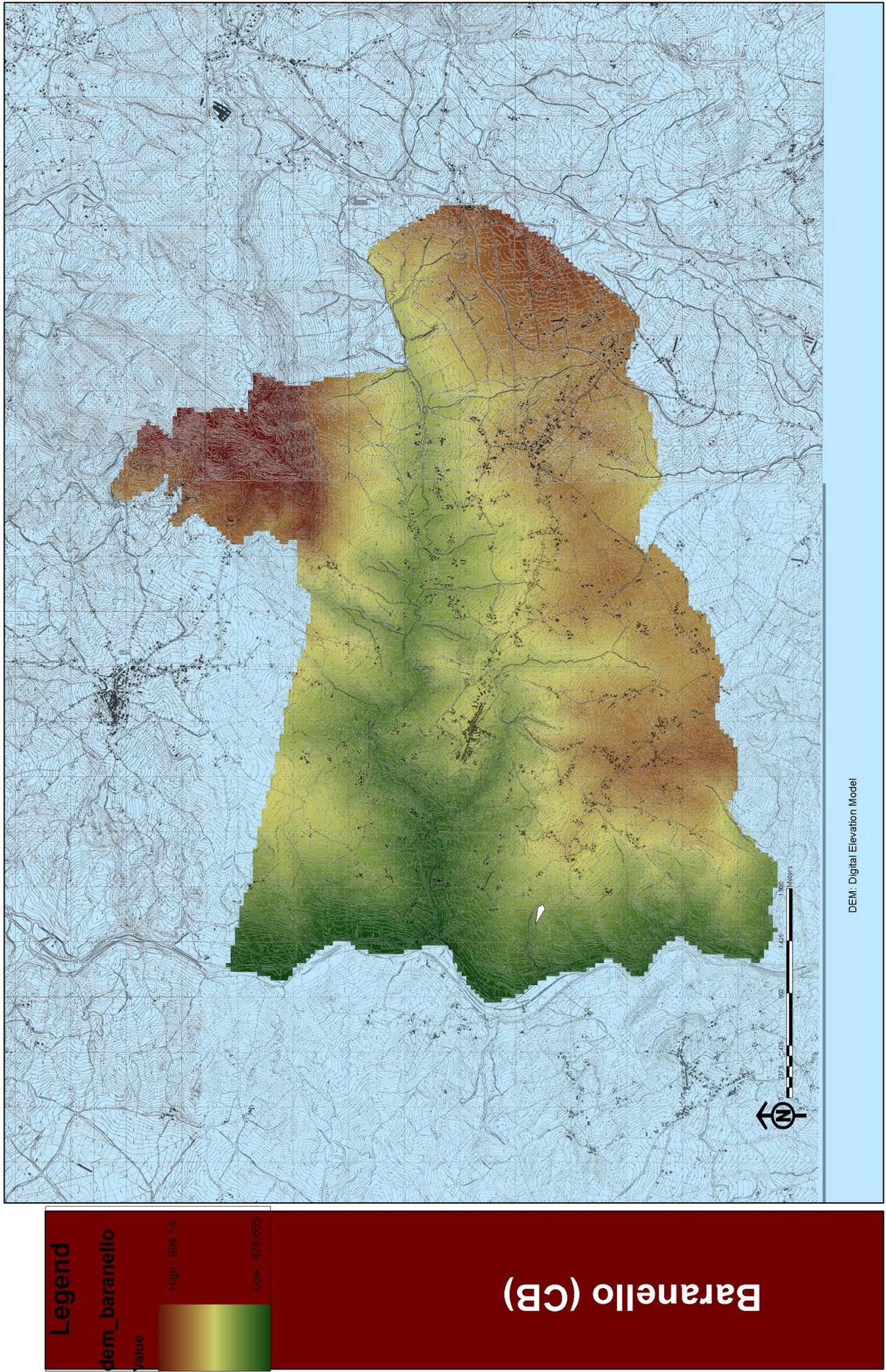


FIG. 10.4 – Elaborazione carta delle altimetrie del Comune di Baranello.

Per redigere la carta della radiazione solare il software ArcMap al suo interno, precisamente nella Arc Toolbox, è dotato di una tool che si basa sui concetti sopradescritti. Precisamente il *solar analysis tool* permette di calcolare la radiazione solare globale per una specifica località basata su un metodo che tiene conto della vista emisferica del punto di osservazione attraverso un algoritmo sviluppato dal Rich nel 1990.

$$Dir_{\theta, \alpha} = S_{\text{Const}} * \beta^{m(\theta)} * \text{SunDur}_{\theta, \alpha} * \text{SunGap}_{\theta, \alpha} * \cos(\text{AngIn}_{\theta, \alpha})$$

dove:

$S_{\text{Const}}$  Flusso solare al di fuori dell'atmosfera 1367 W/m<sup>2</sup>

$\beta$  Coefficiente di trasmissività dell'atmosfera ottenuto come rapporto della radiazione solare all'esterno dell'atmosfera e quella all'interno dell'atmosfera su un piano perpendicolare allo zenith.

Gli altri parametri sono coefficienti numerici calcolati in base alle divisioni in quadranti della vista sferica del punto di osservazione.

Inoltre, nel calcolo della radiazione solare diretta, si è visto che il coefficiente  $\beta$  viene proposto dalla tool pari a 0,5 di default, ma piccole variazioni di esso portano a valori ben diversi della radiazione solare globale. Pertanto questo approccio non è utilizzabile se non suffragato da una informazione proveniente da misure effettuate in loco sulla radiazione solare. Non avendo a disposizione, per il comune di Baranello, dati di misurazione della radiazione solare, si sono utilizzati quelli misurati dall'ENEA nel comune di Campobasso, distante solo pochi chilometri. Si è quindi costruito un algoritmo che consente di utilizzare il programma in modo appropriato e pervenire ad una informazione centrata in funzione dei dati a disposizione sulla radiazione globale del territorio preso in considerazione. A tale scopo si è operato per tentativi assegnando diversi valori al coefficiente  $\beta$  fin quando il valore della radiazione globale restituito, letto su un pixel soleggiato e con pendenza zero, praticamente coincide con quello rilevato nel giorno medio mensile dall'ENEA. Tale algoritmo è stato ripetuto per ogni mese, in modo da disporre dei valori di radiazione solare globale al suolo per l'intero anno. Tuttavia, come già visto in precedenza, i periodi maggiormente significativi ai fini bioclimatici sono quelli che vanno da novembre a febbraio (periodo freddo) e da giugno ad agosto (periodo caldo), pertanto si sono elaborate due carte da cui si evince la quantità di radiazione solare globale totale, espressa in Kwh/m<sup>2</sup>, intercettata nell'intero periodo di riferimento.

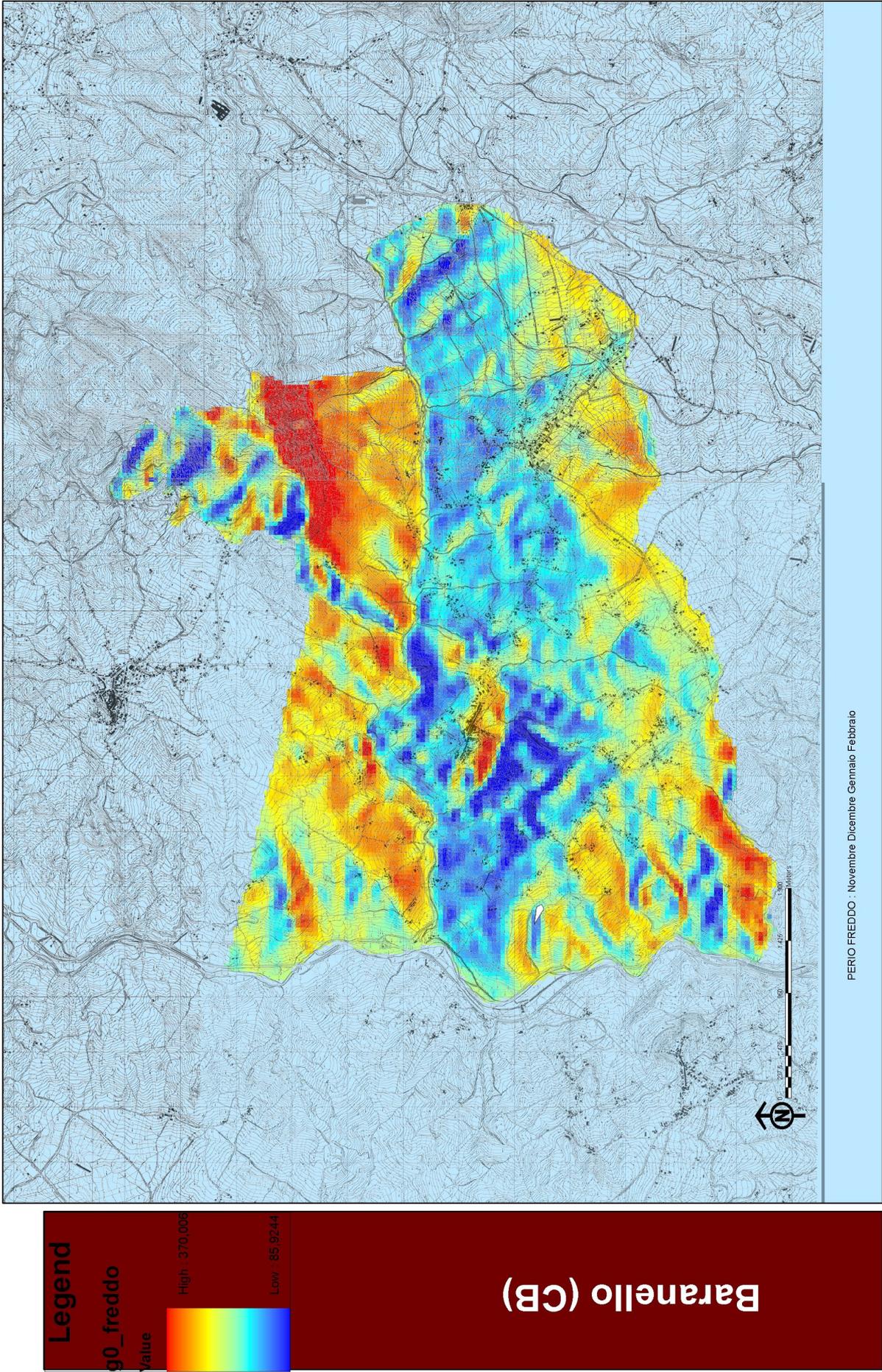


FIG. 10.5 – Carta della Radiazione solare globale al suolo ( $\text{kWh/m}^2$ ) intercettata nel periodo freddo (Novembre – Febbraio) nel comune di Baranello.

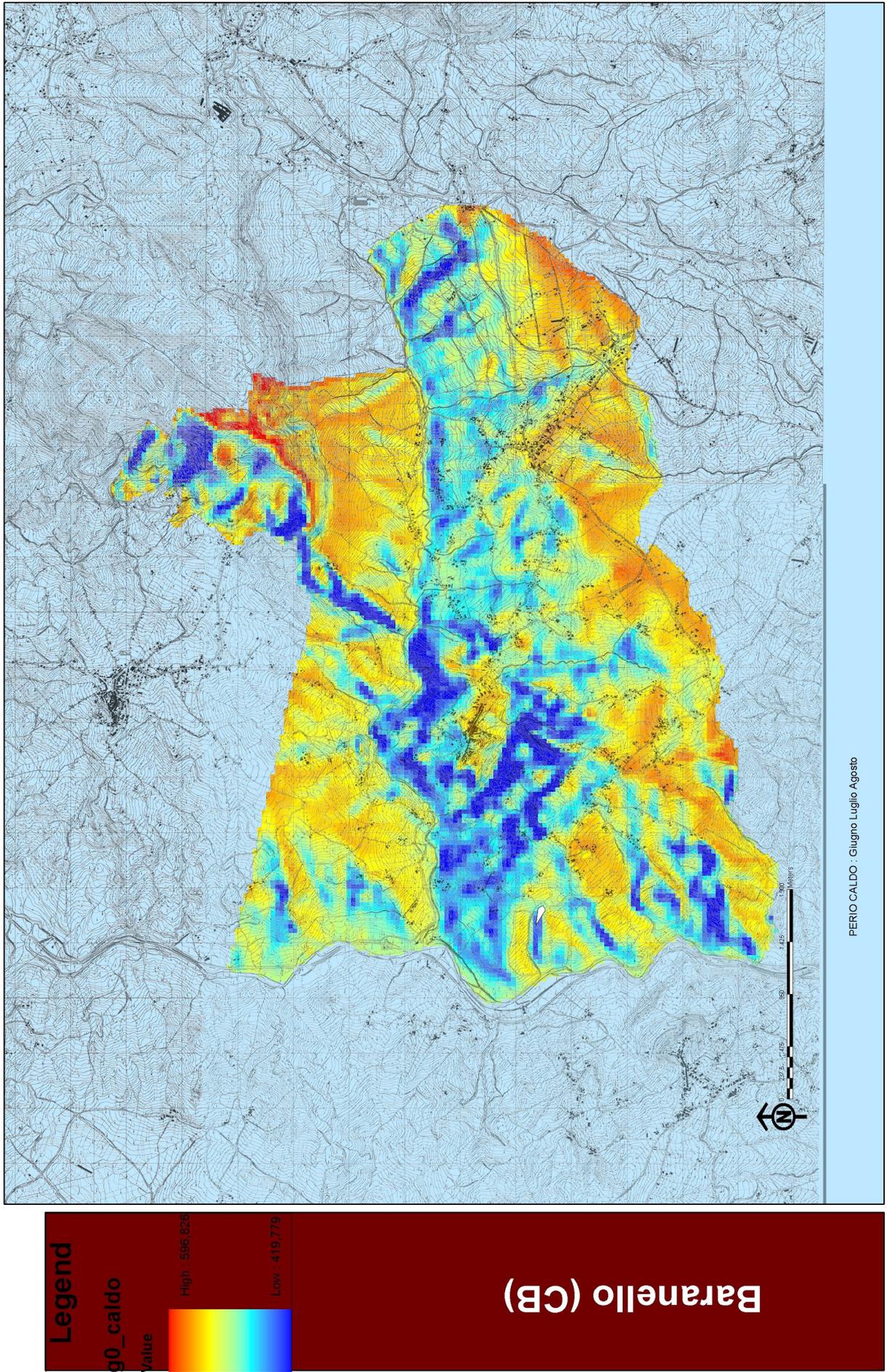
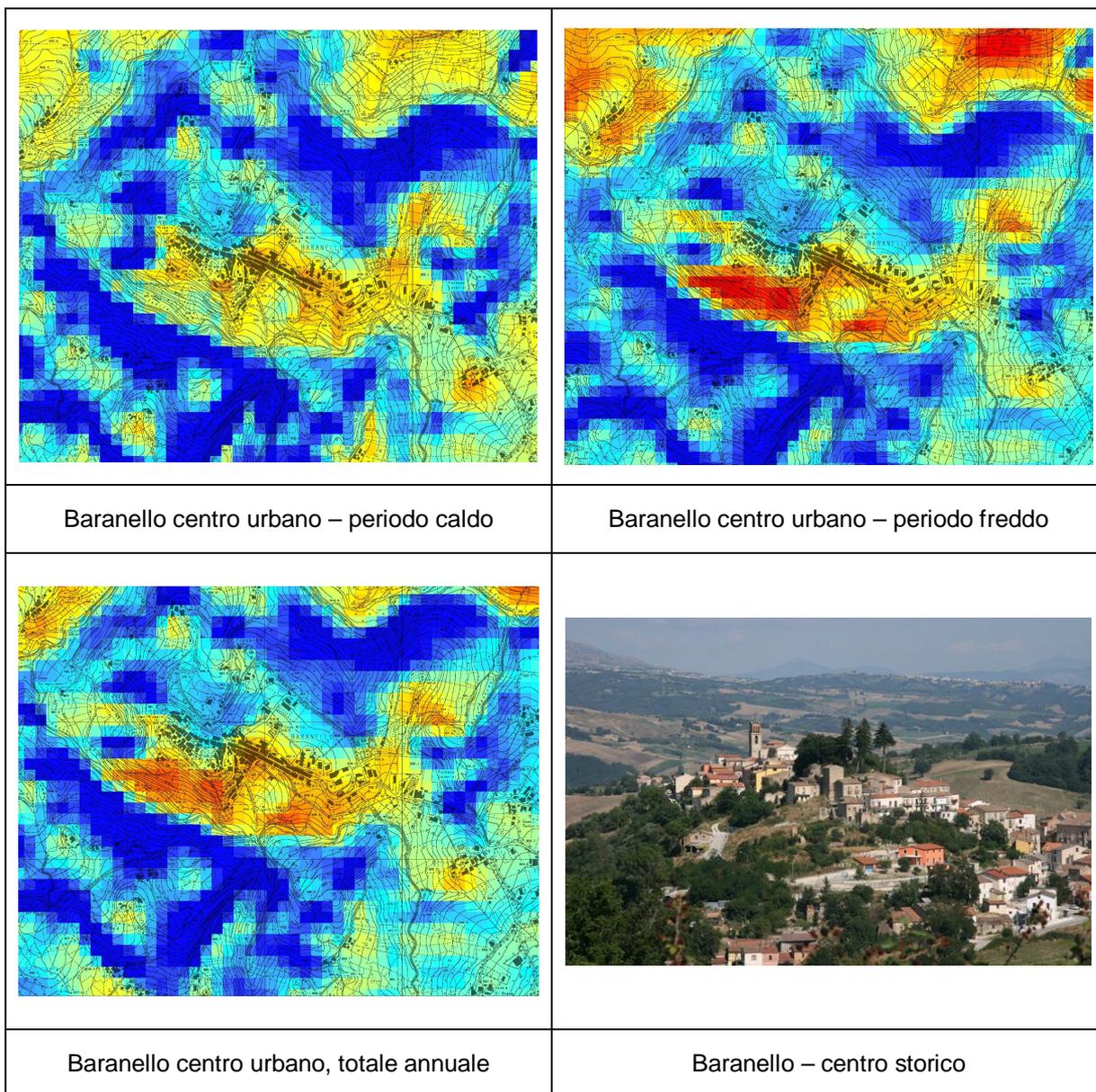


FIG. 10.6. – Carta della Radiazione solare globale al suolo ( $\text{kwh/m}^2$ ) intercettata nel periodo caldo (Giugno - Agosto) nel comune di Baranello.



Il borgo antico, o meglio dove sorgeva gran parte del paese prima del terremoto del 1805, si trova esposto sul versante di sud-est, in posizione praticamente ottimale, dove cioè si ricevono buone quantità di radiazioni solari in inverno e non troppo elevate in estate. Infatti, come si nota dagli estratti riportati sopra, il centro urbano si trova sicuramente in posizione favorevole rispetto al territorio circostante: la colorazione gialla-arancio dei pixel denota una maggior captazione di radiazione solare. La zona maggiormente colorata di arancio-rosso è la zona denominata *cannavine*, cioè le zone dove veniva coltivata la canapa che necessita di una buona esposizione solare visto il clima locale. Baranello, infatti, si trova a 610 m s.l.m. ed è classificato come ZonaClimatica E dall'attuale normativa. Difendersi dal clima freddo

pertanto era l'esigenza primaria, oltre che mettere a dimora colture più redditizie in zone con maggior soleggiamento.

In questa zona però si nota come la risoluzione del pixel di 40 m potrebbe essere grossolana in quanto l'acclività e l'accidentalità del sito potrebbero falsare la discretizzazione della pendenza del sito stesso. Infatti una migliore risoluzione del pixel porterebbe ad una maggior precisione nel calcolo della pendenza e di conseguenza della radiazione solare.

Il resto del territorio comunale si presenta per il 50% ben esposto ma la concentrazione delle case rurali non sempre si trova sui versanti favorevoli.

Questa situazione dipende da vari fattori storici ma , soprattutto dalla presenza delle vie di comunicazione.

La via di comunicazione principale, infatti, è situata, in parte, in zona poco soleggiata e diversi sono i fabbricati che si incontrano lungo i suoi bordi. Tuttavia sono presenti contrade bene esposte quali c.da Cappella, Fontepolo e Terranova.

Diverse sono anche le abitazioni moderne, costruite senza tenere in conto gli aspetti bioclimatici, che si trovano nella zona tra Largo Zullo e la stazione ferroviaria.

La zona colorata di rosso intenso, invece presenta delle particolarità, in quanto siamo in presenza di una parete quasi verticale del Monte Vairano. Su questo monte si trova l'insediamento Sannitico di Aquilonia, e proprio al disopra dell'area rossa è situata la casa di LN di cui al paragrafo 5.1.2. Questa infatti è l'ulteriore riprova che, attraverso le epoche, diverse civiltà hanno prescelto luoghi maggiormente esposti e soleggiati per far fronte alle loro esigenze di vita.

### **10.3 Criteri per l'individuazione di aree "bioclimatiche"**

Con il termine *area bioclimatica* si è voluto indicare un'area che soleggiata d'inverno, non risulti eccessivamente esposta durante l'estate, in modo da non presentare fenomeni di elevato riscaldamento estivo.

Tale condizione tradotta in numeri non risulta semplice da applicare. Se infatti per una parete verticale è facile trovare un orientamento ottimale al quale è associato la massima radiazione solare in inverno e quella minima in estate, non lo è per un territorio variamente esposto per cui è necessario effettuare un'analisi finalizzata alle singole situazioni territoriali .

In questo caso si è visto come la radiazione solare max ricevuta nel periodo freddo si aggira intorno ai 370 kWh/m<sup>q</sup>, ma valori così alti si registrano in ben poche zone e soprattutto laddove la pendenza del terreno è molto forte.

Viceversa le zone più fresche d'estate, cioè che ricevono il minimo della radiazione solare nei tre mesi caldi, si trovano completamente esposte a nord, dove ovviamente in inverno si registra il minimo della radiazione solare.

Il territorio baranellese presenta, come già detto, una vallata in direzione est ovest, quindi non ci sono grandi versanti esposti a sud est dove in estate sono protetti dal soleggiamento pomeridiano. L'ipotesi di trovare quelle aree che intercettano un valore di radiazione solare invernale superiore al 50% di quello massimo e contemporaneamente un valore di radiazione solare estiva inferiore al 50% di quello massimo non risulta verificata proprio per la conformazione orografica di questo territorio.

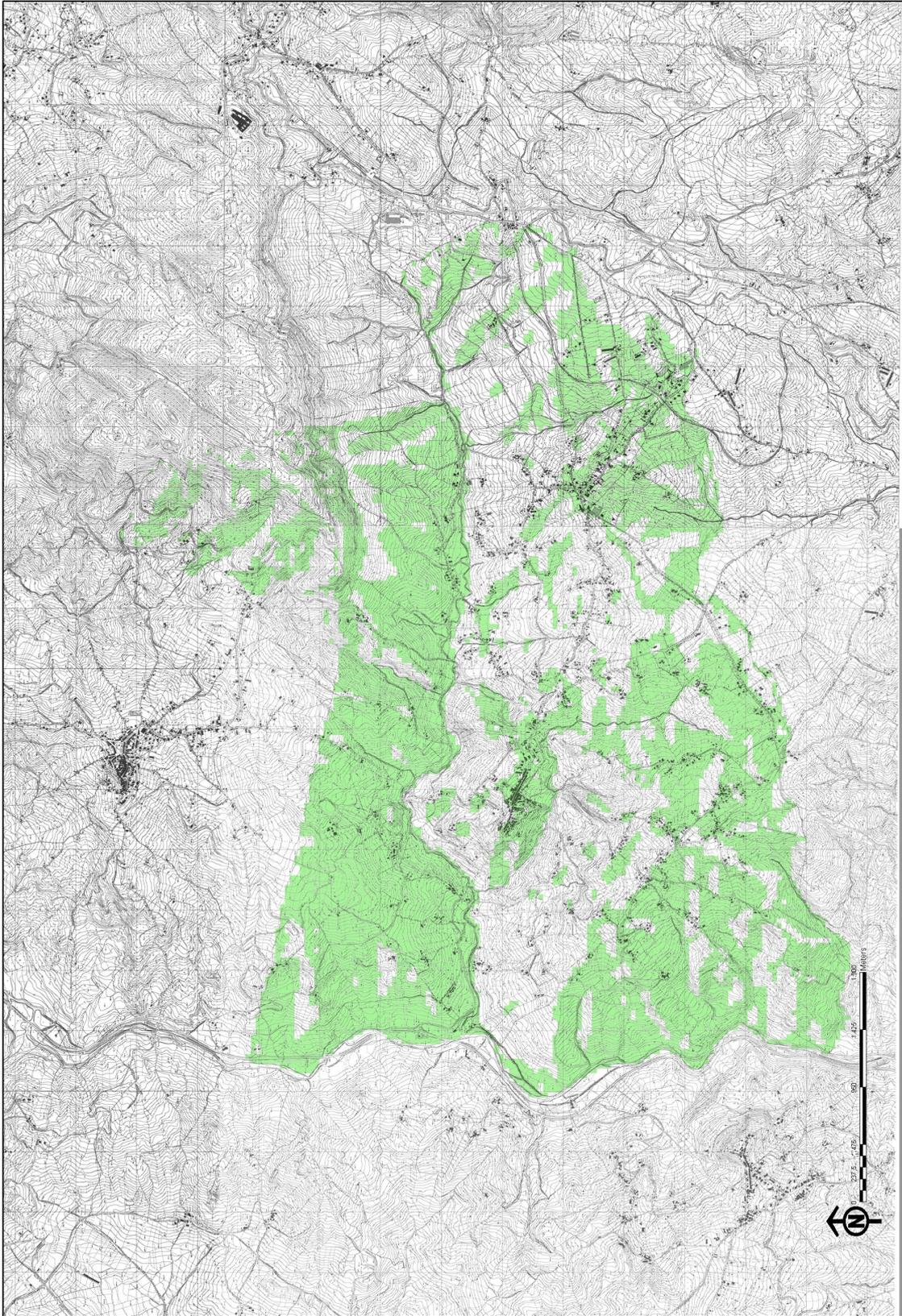
Tenendo conto di quanto esposto si è potuto constatare che apprezzabili porzioni di territorio che risultano essere abbastanza soleggiati in inverno non fossero eccessivamente surriscaldati in estate, in questo particolare caso, sono quelli che presentano una radiazione solare invernale superiore a 210 Kwh/mq e una radiazione solare estiva inferiore a 550 Kwh/mq.

Con l'aiuto del software ArcMap tali zone sono facilmente individuabili come dalla planimetria allegata mediante interrogazione parametrica per classi di valori tramite lo strumento *Raster Calculator* all'interno dell'estensione *Spatial Analyst*.

Ancora una volta si nota la presenza del centro urbano all'interno dell'area selezionata.

Tale criterio fornito, può essere utile, soprattutto in campo urbanistico, sia per l'individuazione di zone di espansione edilizia dove realizzare case di tipo "solari" e sia dove è possibile eseguire un recupero dell'architettura tradizionale rispettando i sottosistemi bioclimatici propri di quest'architettura.

In FIG. 10.7 si riporta la carta con l'individuazione delle suddette zone bioclimatiche.



Zone Calde invernali e non surriscaldate in estate

**Baranello (CB)**

Legend



FIG. 10.7. – Carta delle zone bioclimatiche nel comune di Baranello.

## 11 La finestra solare

Una finestra, se ben orientata, può essere considerata come un sistema solare passivo in quanto riesce a trasmettere la radiazione solare che la investe verso l'interno dell'edificio. Infatti la superficie vetrata che si trova esposta a sud, sempre con un margine di  $\pm 20^\circ$ , riesce a captare l'energia radiante che attraverso la superficie trasparente viene assorbita per la maggior parte dalle superfici interne di incidenza diretta.

Le superfici interne degli ambienti assorbono la radiazione ricevuta e l'energia termica che ne risulta viene accumulata nelle relative strutture aumentandone la temperatura in misura inversamente proporzionale alla loro capacità termica.

Tuttavia la semplicità costruttiva è solo apparente soprattutto per i requisiti dei materiali stessi della finestra e del sistema di accumulo. Tuttavia l'edilizia tradizionale è costituita da materiali con alta inerzia termica, e perciò in grado di assorbire la radiazione solare, ovvero di accumulare calore per poi cederlo nel tempo. In questo senso la finestra solare può essere considerata un captatore di energia solare, cioè un sistema che è in grado di trasferire all'interno dell'edificio il calore del sole.

### 11.1 Prime considerazioni energetiche

La tipologia delle aperture nell'edilizia tradizionale non risulta esser di grande superficie, né in gran numero. La tipica apertura a cui si fa riferimento, quindi, è un'apertura di 1,35 m di altezza e 0,80 m di larghezza. Non mancano, inoltre, balconi che presentano aperture più sviluppate, anche se la larghezza non varia di molto, e comunque quasi sempre rinvenibili sulle pareti più soleggiate.

La finestra di captazione è quindi esposta quanto più possibile verso sud e inserita in modo opportuno nel vano apertura della parete. Infatti l'infisso tradizionale può essere inserito nel vano finestra a filo di parete esterna o in arretrato e, a seconda dei casi varia la quantità di radiazione solare entrante. Infatti un infisso montato a filo di parete riuscirà a ricevere il massimo della radiazione solare rispetto ad un infisso arretrato, cioè come se inserito in una nicchia. In questo caso si può valutare la quantità di radiazione solare incidente in relazione rispetto a quella a filo di parete attraverso un coefficiente  $\gamma$  di riduzione del fattore finestra, come dall'abaco seguente.

$\psi$  = coefficiente di riduzione del fattore finestra

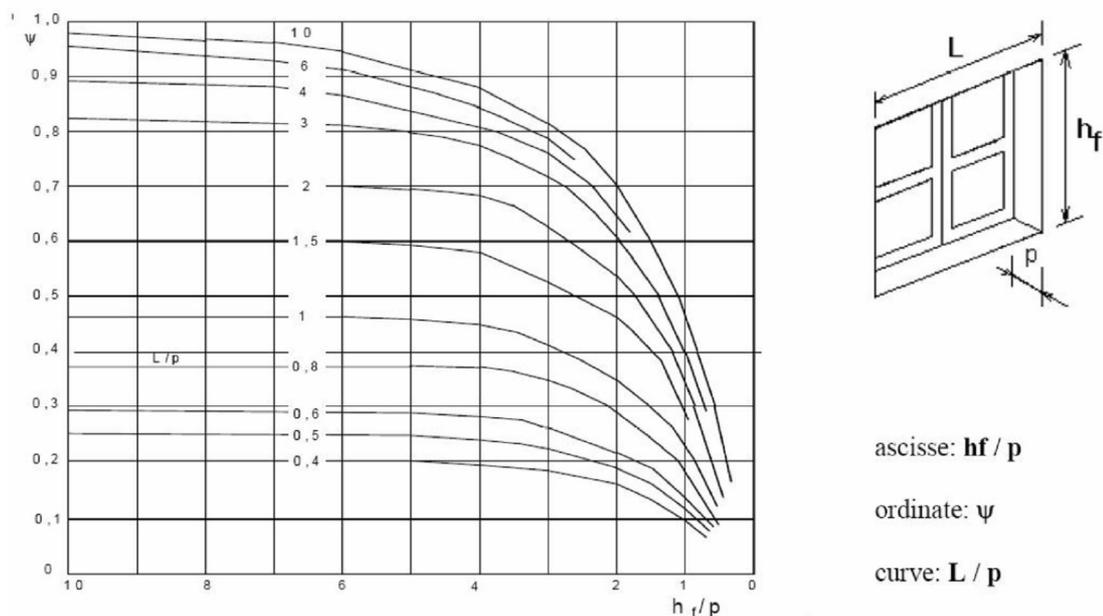


FIG. 11.1 - Abaco per la determinazione del fattore finestra  $\psi$

Inoltre è stato visto come varia la quantità di radiazione solare incidente a seconda dell'orientamento della finestra e del periodo. Riguardo al periodo invernale è stata valutata la radiazione solare incidente totale (Kwh/mq) che si riesce ad intercettare nel periodo tra novembre e febbraio su una parete verticale orientata diversamente rispetto al sud. Viceversa per il periodo estivo da giugno ad agosto. Si è costruita la tabella seguente.

PERIODO INVERNALE						Rad tot (kwh/mq) / orientamento				
						0	10	20	30	40
L	Hf	p	Hf/p	L/p	$\psi$	356	351	338	315	287
0,8	1,35	0,15	9	5,33	0,94	94%	93%	89%	83%	76%
0,8	1,35	0,2	6,75	4	0,88	88%	87%	83%	78%	71%
0,8	1,35	0,3	4,5	2,67	0,77	77%	76%	73%	68%	62%
0,8	1,35	0,4	3,375	2	0,66	66%	65%	63%	58%	53%

PERIODO ESTIVO						Rad tot (kwh/mq) / orientamento				
						0	10	20	30	40
L	Hf	p	Hf/p	L/p	$\psi$	207	212	224	239	252
0,8	1,35	0,15	9	5,33	0,94	94%	96%	102%	108%	114%
0,8	1,35	0,2	6,75	4	0,88	88%	90%	95%	101%	107%
0,8	1,35	0,3	4,5	2,67	0,77	77%	79%	83%	89%	94%
0,8	1,35	0,4	3,375	2	0,66	66%	68%	71%	76%	80%

TAB. 11.1 - Radiazione solare ricevuta in funzione della posizione dell'infisso nel vano apertura.

Si vede chiaramente che l'infisso non debba arretrare più di 15 cm per poter intercettare una radiazione accettabile che l'orientamento non debba essere oltre +/- 20° gradi rispetto al sud. Inoltre nel periodo estivo, si nota che l'orientamento della finestra può contribuire a ricevere una quantità di radiazione maggiore rispetto alla radiazione minima ottenuta con orientamento a sud. In questo caso risulta opportuno arretrare l'infisso in modo che la nicchia creatasi contribuisca ad esercitare l'effetto schermante.

Occorre perciò tener conto delle condizioni climatiche locali perché una finestra solare per eccellenza, cioè montata a filo di parete, potrebbe essere molto sconveniente in zone climatiche caratterizzate da temperature elevate in estate.

Infatti nelle nostre architetture tradizionali l'infisso montato a filo di parete si trova molto nelle zone interne, piuttosto che nelle zone costiere dove l'infisso è sempre in arretrato.

Tale espediente costruttivo risulta essere molto attuale e soprattutto utile per poter considerare una finestra di tipo solare.

Affinché, però, una finestra possa essere considerata utile agli apporti energetici occorre che il flusso energetico entrante sia sicuramente maggiore del flusso disperdente che offre la finestra. Occorre quindi valutare la trasmittanza termica della finestra.

A tale scopo, nella situazione limite, possiamo uguagliare tali fattori e trovare la trasmittanza limite nelle condizioni stazionarie di temperature interne ed esterne.

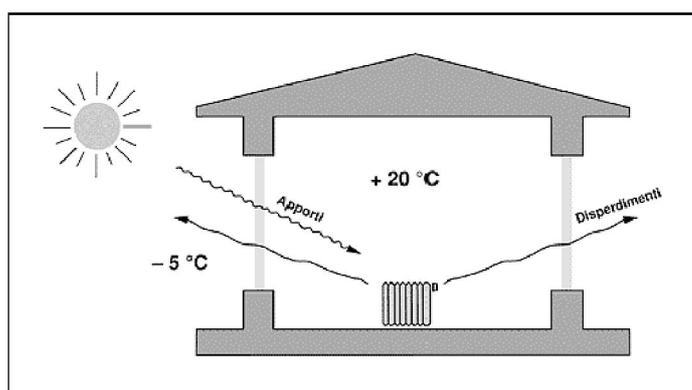


FIG. 11.2 - Schema degli apporti e delle dispersioni.

dove:

- G     Radiazione solare incidente sul piano della finestra
- g     coefficiente di trasmissione solare del vetro

$$\frac{G \cdot g}{A_f} = \frac{U_f \cdot \Delta t}{A_f}$$

$U_f$  Trasmittanza termica della finestra

$\Delta t$   $t_i - t_e$  differenza di temperatura interna esterna. Per le zone la  $t_e = -5^\circ\text{C}$ .

$A_f$  Area finestra

Per quanto riguarda la differenza di temperatura si può fare riferimento alla normativa vigente che per la zona Climatica di Campobasso di progetto pari a  $-5^\circ\text{C}$  e una temperatura interna di  $20^\circ\text{C}$ . La radiazione solare incidente sul piano verticale è quello relativo al periodo freddo da novembre a febbraio, tenuto conto del coefficiente di trasmissione solare del vetro, assunto mediamente pari a 0,75. Inoltre la radiazione solare va ulteriormente ridotta del fattore finestra per tener conto dell'effetto nicchia.

PERIODO INVERNALE				Radiazione solare / orientamento fin		
				356,68	351,99	338,09
L	Hf	p	Y	0°	10°	20°
0,8	1,35	0,15	0,94	3,49	3,45	3,31
0,8	1,35	0,2	0,88	3,27	3,23	3,10
0,8	1,35	0,3	0,77	2,86	2,82	2,71
0,8	1,35	0,4	0,66	2,45	2,42	2,32

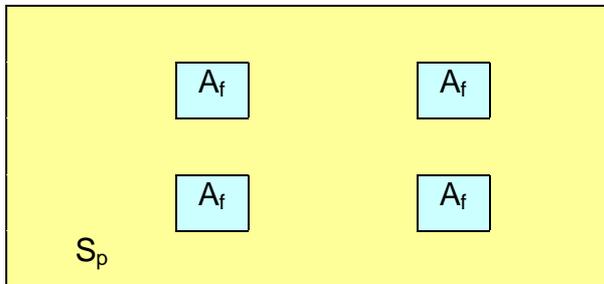
TAB. 11.2 - Radiazione solare ricevuta per diversi orientamenti.

La tabella mostra come al variare dell'esposizione della finestra la trasmittanza limite del serramento diminuisce, in special modo se l'arretramento dell'infisso rispetto al filo esterno della parete è abbastanza pronunciato.

Tali valori evidenziano l'esigenza di avere una finestra con una bassa trasmittanza termica in modo da ridurre le dispersioni termiche, pertanto già da una prima analisi è da scartare immediatamente l'uso del vetro singolo, bensì almeno di quello doppio. Occorre a questo punto fare una considerazione anche sulla percentuale di finestrate, perché se da un lato l'ingresso di radiazione solare all'interno dell'edificio contribuisce a diminuire i carichi termici in inverno, dall'altra parte una grande superficie finestrata può essere tale da disperdere nelle ore notturne più di quanto si sia accumulato nelle ore di soleggiamento. A tale scopo, però, occorrerebbe eseguire un calcolo delle dispersioni termiche sull'intero edificio preso in considerazione. Tuttavia considerato che la parete considerata utile per gli apporti solari è quella sud, si potrebbe ipotizzare, nella condizione limite, che le dispersioni

termiche dell'intera parete, nel periodo freddo da novembre a febbraio, uguagliano gli apporti solari ricevuti.

Seppur molto di massima, questo criterio può individuare una superficie utile finestrata, impostando il seguente bilancio energetico.



$$G \cdot g \cdot \Psi = U_p \cdot \Delta t \cdot T \cdot (S_p - A_f) + U_f \cdot \Delta t \cdot$$

$$\frac{A_f}{S_p} = \frac{U_p \cdot \Delta t \cdot T}{G \cdot g \cdot \Psi + U_p \cdot \Delta t \cdot T - U_f \cdot \Delta t \cdot T}$$

FIG. 11.3 - Schema delle aperture su una parete.

dove:

- G Radiazione solare incidente sul piano della finestra nei 4 mesi freddi
- g coefficiente di trasmissione solare del vetro ( nei calcoli è stato usato un valore medio di 0,75)
- $\Psi$  fattore di forma della finestra
- $U_f$  Trasmittanza termica della finestra (nei calcoli è stata usata una  $U= 2,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ )
- $U_p$  Trasmittanza termica della parete (nei calcoli è stata usata una  $U=0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ )
- $A_f$  Area finestra
- $S_p$  Area parete
- $\Delta t$   $t_i - t_e$  differenza di temperatura interna esterna. Per le zona E la  $t_e = -5^\circ\text{C}$ .
- T corrisponde alle ore del periodo freddo dei 4 mesi ( $24 \times 30 \times 4 = 2880\text{h}$ )

Si sono ottenuti, come risultato, i seguenti rapporti  $A_f/S_p$ , in giallo, corrispondenti a diversi orientamenti della parete e a diverse profondità di posa del serramento vetrato.

PERIODO INVERNALE				Radiazione solare (Kwh/m <sup>2</sup> ) / orientamento fin					
				356	351	338	315	287	257
L	Hf	p	Y	0°	10°	20°	30°	40°	50°
0,8	1,35	0,15	0,94	0,28	0,29	0,31	0,36	0,45	0,61
0,8	1,35	0,2	0,88	0,32	0,33	0,36	0,42	0,53	0,76
0,8	1,35	0,3	0,77	0,43	0,45	0,49	0,60	0,82	1,38
0,8	1,35	0,4	0,66	0,66	0,69	0,80	1,07	1,80	7,39

TAB. 11.3 - Rapporti  $A_f/S_p$  per diversi orientamenti.

Si evince che orientamenti che vanno oltre i 20° rispetto al sud hanno bisogno di una più grande superficie vetrata per uguagliare le dispersioni termiche, cosa che nel periodo estivo potrebbe risultare alquanto svantaggiosa. Inoltre anche l'arretramento della finestra occorre che sia il meno possibile.

Tuttavia nell'edilizia tradizionale non si riscontrano affatto valori così alti della percentuale di forature nella parete, infatti tali valori si aggirano intorno al 10 - 15%. Ecco allora l'importanza di utilizzare al meglio tali apporti, utilizzando materiali adatti, riservando magari % più alte alle nuove costruzioni, o corpi aggiuntivi, in modo da non alterare le proporzioni prospettiche.

## **11.2 Calcolo della trasmittanza termica secondo la norma uni en iso 10077**

In questo paragrafo verrà analizzata la trasmittanza termica di alcuni infissi tipici della tradizione, sia per forma che per materiali, in modo da poterla confrontare tra di loro. Infatti l'infisso semplice, quello con scuretti e quello con sportelloni presentano diverse trasmittanze che messe a confronto mostrano come i sistemi tradizionali risultano alquanto attuali in tema di risparmio energetico.

Il calcolo che segue viene però rapportato ad un infisso nuovo, in quanto quelli antichi difficilmente sono recuperabili, ma soprattutto per riproporre un sistema tradizionale parzialmente reinterpretato che potrebbe costituire un modello di infisso da riproporre nell'architettura tradizionale. Infatti, non è più pensabile attualmente riproporre infissi con un sol vetro, bensì la tecnologia attuale si è consolidata nel produrre e assemblare sistemi vetrocamera costituiti da 3 lastre. Quello che inoltre si vuol cercare di evidenziare se un infisso tradizionale in legno massiccio con un sistema di vetrocamera può essere considerato competitivo dal punto di vista energetico.

### **11.2.1 Considerazioni sul sistema vetrato**

Si è già visto come una finestra "solare" debba essere dotata di idonea trasmittanza termica, ottenuta soprattutto con un sistema di vetrato adatto che permetta il passaggio della radiazione solare. Non tutto il flusso radiativo incidente attraversa il vetro. Una porzione di questo viene assorbito, un'altra riflessa. Il rapporto fra la radiazione incidente e quella che attraversa il vetro è il cosiddetto fattore solare  $g$ , variabile a seconda del sistema vetrato e del tipo di vetro.

Analizzando la radiazione solare, in breve, può dirsi che è compresa essenzialmente in una banda di lunghezza d'onda compresa tra i 300 nm ed i 3000 nm alla quale il vetro comune float nel suo spettro di trasmissione energetica presenta una trasparenza quasi completa. All'interno dell'edificio, invece, la radiazione solare che attraversa il vetro colpisce pareti, solai ed oggetto che si riscaldano e a loro volta emettono energia sottoforma di radiazioni infrarosse nettamente superiori a 3000 nm alle quali il vetro risulta sostanzialmente opaco. L'energia rimane sostanzialmente intrappolata all'interno dell'ambiente costruito dando origine al fenomeno comunemente denominato effetto serra. Tuttavia il vetro disperde una gran quantità di calore per convezione e per conduzione. La sua conducibilità termica  $\lambda$  è di 1w/mk. Al fine di diminuire la trasmittanza termica del sistema vetrato si utilizzano sistemi a vetro camera costituiti da una o due intercapedini, riempite di aria o gi altro gas, al fine di migliorare le capacità isolanti dell'infisso. L'intercapedine varia da un minimo di 6 mm ad un max di 15 mm, valore oltre il quale l'eccessivo aumento degli scambi convettivi all'interno dell'intercapedine annulla la miglior resistenza termica offerta dall'aria.

La trasmittanza termica del pacchetto vetrato è facilmente ricavabile dalla norma UNI EN ISO 10077 al punto 5.2. Si utilizza, quindi, la seguente relazione:

$$U_g = \frac{1}{R_{si} + \sum_1^n \frac{S_i}{\lambda_i} + \sum_1^{n-1} R_s + R_{se}}$$

dove:

- $R_{si}$  Resistenza termica superficiale interna pari a 0,13 m<sup>2</sup>K/W per superfici verticali e per normali vetri con remissività superiore a 0,8 (Allegato A UNI EN ISO 10077)
- $R_{se}$  Resistenza termica superficiale esterna pari a 0,4 m<sup>2</sup>K/W per superfici verticali e per normali vetri con remissività superiore a 0,8 (Allegato A UNI EN ISO 10077)
- $R_s$  Resistenza termica dell'intercapedine d'aria del vetrocamera (Allegato C UNI EN ISO 10077 )
- $\lambda_i$  Conducibilità termica del vetro pari a 1,0 w/mk (Allegato B UNI EN ISO 10077)

Si sono quindi calcolate le trasmittanze termiche di un vetrocamera a doppio strato 4-6-4 nonché di quelli a triplo strato 4-6-4-6-4 e 4-9-4-9-4

Trasmittanza Termica vetrocamera (W/mqK)									
Rse	d1 vet	d1aria	Rs	d2vet	d2aria	Rs	d3vet	Rsi	Ug
0,04	4	6	0,127	4	0	0	0	0,13	<b>3,28</b>
0,04	4	6	0,127	4	6	0,127	4	0,13	<b>2,29</b>
0,04	4	9	0,154	4	9	0,154	4	0,13	<b>2,04</b>

TAB. 11.4 - Trasmittanze di alcuni sistemi vetrati.

Ma è da tener presente che il vetro a sua volta si riscalda e riemette radiazioni nel campo dell'infrarosso quindi disperdendo all'esterno calore radiativo.

Esistono particolari vetri che riducono questo fenomeno, i cosiddetti vetri basso emissivi (o low-e). Essi sono trasparenti alle radiazioni termiche solari, lasciandole così entrare all'interno dell'edificio, e contemporaneamente impediscono la fuoriuscita della radiazione termica emessa dai corpi riscaldanti. In questo modo, attraverso una drastica riduzione delle dispersioni termiche, e riflettendo calore, permettono un notevole risparmio dei costi energetici di riscaldamento. Questi vetri sono rivestiti di ossidi metallici che, una volta depositati sul vetro, ne rafforzano le proprietà di isolamento termico e di controllo solare. I vetri low-e con qualsiasi procedimento ottenuti riducono gli scambi termici per irraggiamento, inoltre applicati come vetri isolanti, cioè due lastre separate da un gas pesante a conduttività inferiore, riducono notevolmente lo scambio termico per conduzione (contatto con aria) rispetto a vetri isolanti ottenuti con vetro semplice. Il principale problema dei vetri low-e è l'irraggiamento solare, che se di inverno apporta energia termica gratuitamente ed è quindi positivo, d'estate questo a determinate latitudini e per grandi superfici vetrate può essere un problema per il raffrescamento dell'edificio.

Trasmittanza Termica vetrocamera low-e (W/mqK)										Ug float	%
Rse	d1 vet	d1aria	Rs	d2vet	d2aria	Rs	d3vet	Rsi	Ug low-e		
0,04	4	9	0,191	4	0	0	0	0,13	<b>2,71</b>	<b>3,28</b>	17
0,04	4	6	0,191	4	6	0,191	4	0,13	<b>1,77</b>	<b>2,29</b>	23
0,04	4	9	0,259	4	9	0,259	4	0,13	<b>1,43</b>	<b>2,04</b>	30

TAB. 11.4 - Trasmittanze di sistemi vetrati low-e.

La tabella mostra come la diminuzione della trasmittanza è più sensibile sui pacchetti a vetrocamera che presentano una intercapedine più ampia.

Tali pacchetti vetrati potrebbero, all'occorrenza, essere montati anche su telai di vecchi infissi, in modo da realizzare un restauro energeticamente efficiente. Tuttavia i problemi si potrebbero avere proprio all'aderenza tra il vecchio infisso e il pacchetto vetrocamera, vanizzando il guadagno di resistenza termica. Nell'architettura rurale, quella povera, tale discorso ovviamente non è fattibile, tuttavia in edifici padronali, o in edifici storici, tale discorso andrebbe ulteriormente approfondito e studiato in laboratorio al fine di conservare la stessa tipologia di infisso pur reinterpretandolo e integrandolo con sistemi tecnologicamente più avanzati.

### 11.2.2 Applicazione ai sistemi di chiusura tipici

Per la valutazione della trasmittanza dell'infisso si è quindi fatto riferimento alla norma UNI EN ISO 10077. In sintesi la detta norma Uni fa riferimento alla seguente equazione:

$$U_w = \frac{(A_g U_g + A_f U_f + L_g \Psi_g)}{(A_g + A_f)}$$

dove:

$A_g$  Area della vetratura in mq

$U_g$  trasmittanza termica dell'elemento vetrato in  $W/m^2K$

$A_f$  area del telaio in mq definita come l'area della proiezione della superficie del telaio su un piano parallelo al vetro. Corrisponde alla'rea più grande tra l'area della superficie frontale interna e la'rea della superficie frontale esterna.

$U_f$  trasmittanza termica del telaio in  $W/m^2K$

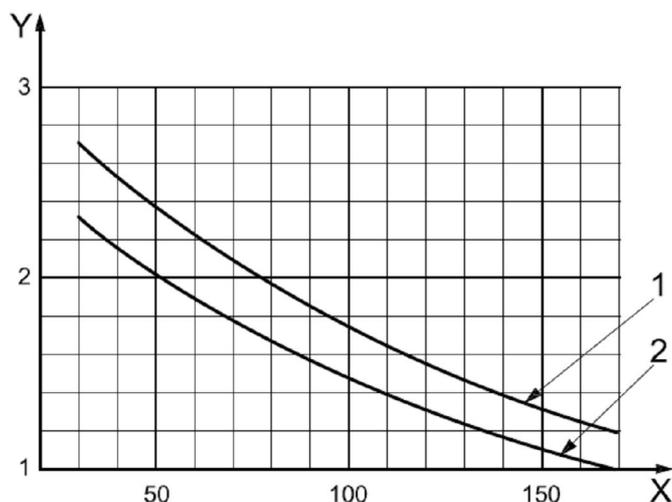
$L_g$  perimetro della vetratura in metri, se il perimetro visto dall'interno differisce da quello visto dall'esterno, deve essere assunto il valore maggiore di tale lunghezza.

$\Psi_g$  trasmittanza lineare in  $W/mK$  dovuta alla presenza del distanziatore del pacchetto vetrocamera.

I parametri geometrici sono facilmente individuabili.

Per quanto riguarda la trasmittanza del telaio dell'infisso si è fatto riferimento esclusivamente a quello di legno, in particolare legno duro quale quello di quercia o

castagno, e si è scelta una  $U_f$  di  $2 \text{ w/m}^2\text{K}$  corrispondente ad uno spessore di 80 mm come dal seguente grafico (Allegato D UNI EN ISO 10077, punto D.3)



**Key**  
 X thickness of frame,  $d_f$ , expressed in millimetres  
 Y thermal transmittance of frame,  $U_f$ , in  $\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$   
 1 hardwood (density  $700 \text{ kg/m}^3$ ,  $\lambda = 0,18 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ )  
 2 softwood (density  $500 \text{ kg/m}^3$ ,  $\lambda = 0,13 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ )

FIG. 11.4 - Determinazione della conducibilità dei telai – Allegato D, UNI EN ISO 10077.

Infine la trasmittanza termica lineare  $\Psi_g$  dei distanziatori metallici del vetrocamera, per gli infissi in legno, può essere assunta pari 0,05 per vetri normali e 0,06 per vetri basso emissivi.

Dsx (cm)	Dc (cm)	Ddx (cm)	Ds (cm)	INFISSO SINGOLO						
8	10	8	8		vetro 4-6-4	vetro 4-6-4-6-4	vetro 4-9-4-9-4	vetro 4-6-4 low-e	vetro 4-6-4-6-4 low-e	vetro 4-9-4-9-4 low-e
				Ag (glass) (cmq)	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65
				Af (frame)	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47
				Lg (spacer l.)	4,68	4,68	4,68	4,68	4,68	4,68
				$U_f$	2	2	2	2	2	2
				$U_g$	3,28	2,29	2,04	2,71	1,77	1,43
				$\Psi_p$	0,05	0,05	0,05	0,06	0,06	0,06
				$U_w$	<b>2,95</b>	<b>2,38</b>	<b>2,23</b>	<b>2,66</b>	<b>2,12</b>	<b>1,92</b>

H tot (m)	1,4
Di (cm)	12
L tot (m)	0,80

TAB. 11.5 - Schema di calcolo della trasmittanza per un infisso tipico.

Le forme strette ed allungate delle aperture murarie determinano geometrie degli infissi che non offrono molta area vetrata in relazione all'area del telaio del serramento, Ciò ne consegue che la trasmittanza non cambia molto con il tipo di vetri utilizzato.

- **Calcolo della trasmittanza termica dell'infisso con scuretto.**

Tale tipologia di infisso introduce una resistenza termica aggiuntiva risultante dallo strato di aria tra la finestra e lo scuretto, nonché dallo scuretto stesso. Quindi la trasmittanza termica, a scuretto chiuso, è data dalla seguente formula:

$$U_{ws} = \frac{1}{1/U_w + \Delta R}$$

dove:  $U_w$  trasmittanza termica dell'intero infisso

$\Delta R$  resistenza termica addizionale dovuta alla presenza dello scuretto

Per quanto riguarda il calcolo della resistenza termica addizionale si fa riferimento all'Allegato G della suddetta norma. In particolare si fa riferimento ad un tipo di scuretto con bassa permeabilità, cioè ad uno scuretto che aderisce al telaio dell'infisso.

$$\Delta R = 0,80R_{sh} + 0.14$$

dove:  $R_{sh}$  è un coefficiente dipendente dal sistema e del materiale di oscuramento. In particolare per gli scuretti in legno risulta essere di 0,20.

C'è da dire però che tale trasmittanza termica, così calcolata, è riferita ad un infisso totalmente oscurato, pertanto la norma attuale consente di calcolare una trasmittanza media  $U_{wsm}$  ottenuta da una media pesata delle trasmittanze  $U_w$  e  $U_{ws}$ , nell'arco di una giornata, ipotizzando che lo scuretto sia aperto per 12 ore e chiuso per le rimanenti 12 . Inoltre il tipo di scuretto preso in considerazione è uno scuretto di legno di 3 cm di spessore, come quelli della tradizione.

I risultati sono stati messi a confronto nella seguente tabella.

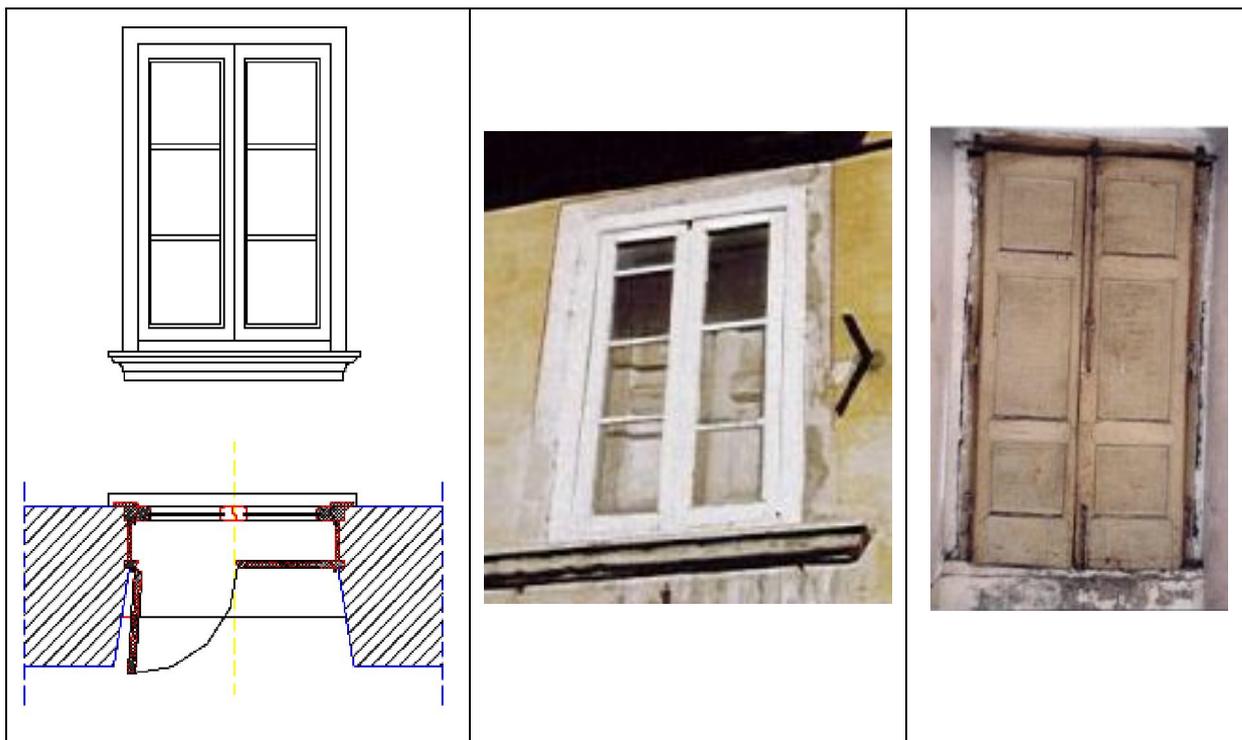
Rsh	$\Delta R$	vetro camera	$U_w$	$U_{ws}$	$U_{wsm}$	Variation %
0,2	0,30	4-6-4	2,95	1,56	2,26	23
		4-6-4-6-4	2,38	1,39	1,88	21
		4-9-4-9-4	2,23	1,34	1,78	20
		4-6-4 low-e	2,66	1,48	2,07	22
		4-6-4-6-4 low-e	2,12	1,30	1,71	19
		4-9-4-9-4 low-e	1,92	1,22	1,57	18

TAB. 11.6 - Variazione della trasmittanza con un sistema di oscuramento a scuretti.

E' interessante notare che la trasmittanza si riduce di circa del 20 %. Tuttavia anche in questo caso si evidenzia come il tipo di vetro impiegato influisce di poco, rispetto al tipo di vetrocamera scelto.

- **Calcolo della trasmittanza termica del doppio infisso**

Tale tipologia di infisso è costituito da un serramento esterno vetrato e da uno interno con scuri pannellati, denominati comunemente sportelloni.



La precedente norma UNI EN ISO 10077 prevede di calcolare la trasmittanza termica per un doppio infisso come se fosse un unico serramento. In tale caso, infatti, la trasmittanza del vetro può essere calcolata con la seguente formula, tenendo conto della resistenza termica dell'intercapedine fra i due serramenti.

$$U_{wsp} = \frac{1}{\frac{1}{U_{sp}} - R_{si} + R_s - R_{se} + \frac{1}{U_w}}$$

- dove:  $U_{wsp}$  trasmittanza termica dell'infisso complessivo  
 $U_{sp}$  trasmittanza termica del serramento a sportelloni  
 $U_w$  trasmittanza termica del serramento vetrato esterno  
 $R_s$  resistenza termica dell'intercapedine

In questo caso si è interpretata la norma, nel senso che la trasmittanza del sistema vetrato interno è stato sostituito con quella della pannellatura dell'infisso interno. Inoltre il valore della resistenza termica dell'intercapedine, ipotizzata come intercapedine non ventilata, è stato assunto pari a  $0,15 \text{ m}^2\text{K}$ .

Nella tabella che segue sono riportati i calcoli relativi ad un sistema costituito da un serramento esterno in vetro delle stesse dimensioni degli esempi precedenti e da un serramento interno costituito, per semplicità, da un telaio delle stesse dimensioni di quello esterno.

INFISSO A SPORTELLONI	
Asp (wood) (cmq)	0,65
Af (frame)	0,47
Uf	2
d pan (cm)	3
$\lambda$ pan (W/mK)	0,13
U pan	2,38
Usp	2,22

vetro camera	Uw	Uwsp	Uwspm	var %
4-6-4	2,95	1,30	2,12	28
4-6-4-6-4	2,38	1,17	1,78	25
4-9-4-9-4	2,23	1,14	1,68	25
4-6-4 low-e	2,66	1,24	1,95	27
4-6-4-6-4 low-e	2,12	1,11	1,61	24
4-9-4-9-4 low-e	1,92	1,05	1,49	23

TAB. 11.7 - Variazione della trasmittanza con un sistema di oscuramento a sportelloni interni.

Si evince subito come questo sistema di chiusura sia altamente competitivo, addirittura l'uso dei vetri basso emissivi può evitarsi. Ma ancora più interessante è notare che anche l'infisso con il vetrocamera ad una sola intercapedine offre un'ottima trasmittanza termica.

Questo sistema pertanto può essere fedelmente riproposto da nuovo. Ma è da far notare che questa tipologia di infisso si riscontra in alcune case che erano abitate da un cetto più abbiente, quindi la qualità degli infissi utilizzati era diversa dallo standard. Questo fa sì che oggi, diversi di questi, siano ancora conservati, in stato ovviamente non buono, ma sicuramente restaurabili. In tal caso è molto più facile inserire un vetrocamera ad una sola intercapedine in un vecchio infisso anziché quella a due.

## 12 Sistemi solari passivi: la serra, il portico e il muro di Trombe

### 12.1 La serra solare

La serra è un elemento captante che basa il suo funzionamento sul cosiddetto 'effetto serra', ossia il fenomeno di surriscaldamento di uno spazio confinato esposto ai raggi solari. L'accumulo di calore è dovuta al fatto che i raggi incidenti riscaldano le superfici che li intercettano trasformando la radiazione solare in calore. In questa nuova forma l'energia termica non è capace, come quella solare, di attraversare all'incontrario il vetro e resta intrappolata nell'ambiente chiuso. Il calore può essere disperso solo attraverso fenomeni conduttivi e convettivi (fenomeni di per sé più lenti). Comunemente questo fenomeno viene attribuito alle proprietà del vetro, o comunque dei materiali trasparenti, che si lasciano attraversare completamente dalla radiazione luminosa (onde corte) e contemporaneamente risultano essere opachi alla radiazione infrarossa (onde lunghe).

Quando la radiazione solare colpisce la superficie trasparente della serra, una parte viene riflessa, una parte assorbita dal materiale stesso e riemessa parte all'esterno e parte all'interno nel campo dell'infrarosso, l'altra parte, quella più consistente, attraversa la parete vetrata. Il rapporto tra la radiazione incidente e quella attraversata sul piano del vetro è il fattore solare  $F_s$ .

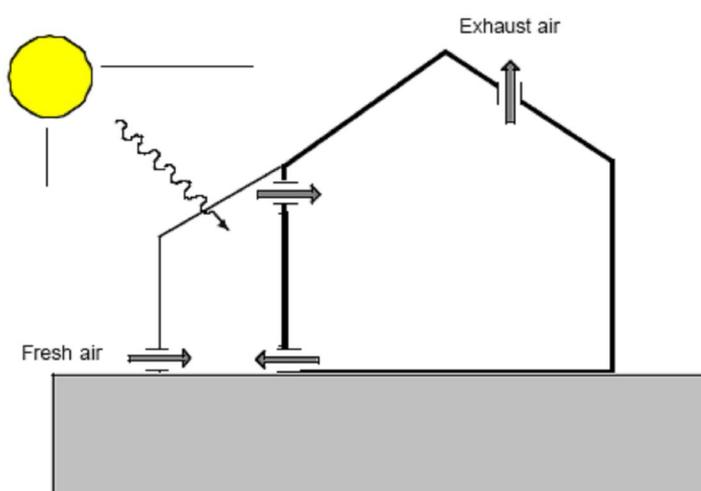


FIG. 12.1 – Schema di funzionamento di una serra solare

La parte di radiazione entrante nella serra attraversa l'aria racchiusa da questa venendo in parte assorbita dall'aria stessa che di conseguenza si riscalda. Inoltre la maggior parte di questa radiazione in parte viene riflessa, in parte viene assorbita

dagli oggetti, pavimenti e muri della serra, che aumentando di calore, riemettono la radiazione assorbita nel campo dell'infrarosso.

L'importanza di dotare le superfici opache di contorno alla sera di materiali scuri ed ad alta inerzia termica, fa sì che questi possano captare elevate quantità di radiazione solare e poterla immagazzinare per poi cederla con sfasamenti temporali di almeno 12 ore quando il sole tramonta. La casa rurale infatti ben si presta a questo tipo di applicazione presentando, come si è già visto, delle murature ad alta inerzia termica con periodi di sfasamento temporali abbastanza lunghi.

Per una migliore comprensione della dinamica di funzionamento, le serre si possono dividere principalmente in tre tipologie in funzione delle modalità e di trasferimento del calore. Tale suddivisione, però, tende all'astratto in quanto quasi sempre la serra presenta combinate insieme diverse modalità di trasferimento del calore.

1. Serra a guadagno diretto: la superficie di separazione tra serra e ambiente interno è generalmente costituita da un sistema di chiusura removibile o regolabile, ad esempio come un enorme infisso vetrato. In questo modo la serra viene ad essere un prolungamento dello spazio interno in modo che l'assorbimento della radiazione solare avvenga direttamente all'interno dello spazio abitato.
2. Serra a scambio convettivo: lo scambio di calore tra ambiente interno e serra avviene principalmente per scambio convettivo mettendo in comunicazione i due ambienti. A volte può essere un semplice infisso (di dimensioni più ridotte rispetto al precedente tipo di serra) che se lasciato aperto mette in comunicazione le due masse d'aria. A volte tale scambio convettivo può essere ottimizzato da aperture regolabili alla base del muro di separazione ed altre in sommità in modo che, sfruttando i moti ascensionali dell'aria calda, riescono a far circolare l'aria tra i due ambienti. Per i locali non adiacenti si possono sfruttare anche condotti con aspirazione forzata. In questo tipo di serra, però, il muro di accumulo deve essere dotato di uno strato di isolamento termico verso l'interno. La funzione di questo strato isolante è quello di favorire il reirraggiamento notturno del calore accumulato di giorno verso la serra e non verso la camera da letto. Tale precauzione fa sì che continui a riscaldare l'aria interna alla serra anche dopo il tramonto in modo che l'utente, a seconda della propria sensazione termica, può scegliere se dirigere l'aria calda della serra verso l'interno dell'abitazione o meno. Inoltre la sua funzione è anche

quella di evitare che la serra, nei giorni particolarmente freddi, nuvolosi e piovosi d'inverno diventi un elemento disperdente.

3. Serra scambio: la parete di separazione tra serra e spazio interno è costituita da una parete di accumulo non isolata ad alta inerzia termica in modo che lo scambio di calore che avviene all'interno sia di tipo radiativo. Da notare che la parete di separazione non è esposta all'esterno, quindi protetta ancor di più dalle dispersioni termiche. La massa termica può essere costituita anche dal pavimento, previo isolamento sottostante, in modo che anche questo contribuisca a smorzare la diminuzione di temperatura nella serra quando il sole tramonta. Una buona massa di accumulo, pertanto, è quella che ha un periodo di sfasamento di almeno 8/10 ore di ritardo.

Come è intuibile la serra solare interagisce con le condizioni climatiche al contorno e questa funziona in maniera differente anche in base all'uso che gli abitanti della casa intendono farne. E' indispensabile quindi conoscere se il manufatto è abitato tutto l'anno o solo in determinati periodi, se lo spazio confinato della serra è uno spazio di soggiorno o un connettivo, in modo da stabilire se la regolazioni di alcune parti della serra debbano essere automatiche o manuali. Si preferirà ovviamente quest'ultima soluzione se la serra è uno spazio della casa. Qualsiasi regolazione, quindi, è influenzata dalle abitudini e dalla sensibilità degli utenti.

In un serra a guadagno diretto, infatti, il serramento che funge da elemento di separazione dei due ambienti rimarrà aperto quando all'interno della serra si raggiungono i 18-20 °C, cioè in presenza di un bilancio termico positivo. In caso contrario il serramento dovrà essere chiuso e lo spazio della serra avrà il compito di diminuire le dispersioni termiche verso l'esterno perché comunque la temperatura all'interno della serra sarà sempre maggiore di quella esterna.

Per le serre a scambio convettivo vale lo stesso principio, finestre di comunicazione e griglie di aspirazione verranno comandati a seconda dell'esigenza. Se però l'aria calda della serra è canalizzata all'interno dell'abitazione tramite condotti, l'attivazione della ventilazione forzata avverrà con un termostato posto all'interno della serra. Per le serre a scambio radiativo, invece non c'è possibilità di controllo, l'unica accortezza è quella di lasciare libero da ombre il muro di accumulo.

Se in inverno la serra è un utilissimo sistema di captazione della radiazione solare, in estate diventa un sistema che va tenuto sotto controllo onde evitare il surriscaldamento della serra stessa e del resto dell'abitazione. L'ombreggiamento è

particolarmente importante per le serre dotate di copertura trasparente in quanto questa superficie è quella maggiormente esposta alla radiazione solare. Ecco che sistemi di ombre portate, quali alberi a foglia caduca risultano essere molto importanti. Non sono da sottovalutare nemmeno tende esterne di copertura, che seppur poco accettabili esteticamente riescono sensibilmente a ridurre la radiazione diretta. Inoltre, per evitare quanto più possibile l'effetto serra è necessario assicurare la ventilazione dello spazio confinato attraverso l'apertura dei serramenti in modo da garantire una temperatura interna non superiore a quella esterna. Pertanto la serra deve risultare quanto più aperta possibile. Tuttavia non bisogna dimenticare che può funzionare come camino solare. Infatti idonee aperture, magari a vasistas, nella parte più alta e altre nella parte inferiore, contribuiscono a creare un moto ascensionale dell'aria calda in modo da creare una depressione al suo interno. Ciò può contribuire a richiamare altra aria dall'interno della casa generando una micro ventilazione degli ambienti.

Il tipo di vetro può senz'altro contribuire a riflettere la radiazione solare; ne esistono diversi che presentano un rivestimento esterno utile alla riflessione della radiazione solare. In questo caso, però, il coefficiente solare  $F_s$  diminuisce fino a 0,40 il che non rende questo tipo di vetro adatto allo scopo di una serra solare come quello di intercettare una notevole radiazione solare invernale.

### 12.1.1 Tipologia e forma della serra

La forma archetipa di una serra è sicuramente quella che, addossata ad una parete dell'edificio, presenta 3 pareti laterali e una falda completamente vetrata. Esistono tuttavia serre parzialmente o totalmente incassate da diventare, al limite, una parete vetrata dell'edificio, cioè una finestra solare. Quella parzialmente incassata ovviamente dipende se l'edificio presenta

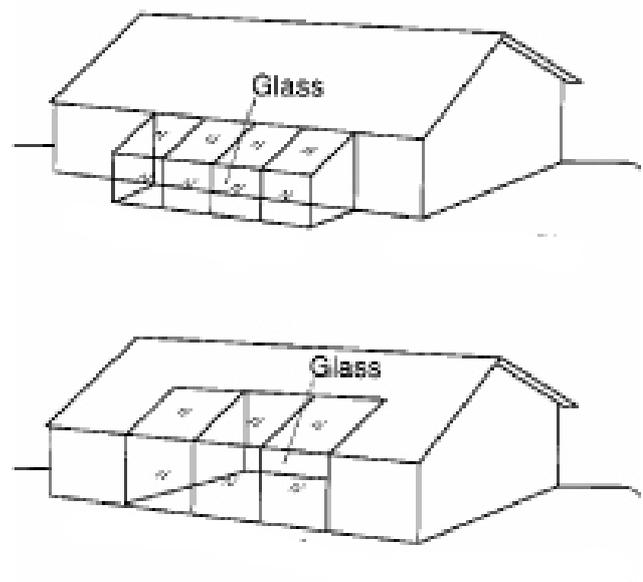


Fig. 12.2 – Serra addossata e serra incassata

spigoli e rientranze tali da potervi incassare una serra in modo che questa diventi parti integrate dell'edificio stesso. Non sempre però l'edificio viene progettato con

una serra, perciò quella di tipo addossata è quella che meglio si adatta per un recupero energetico dell'edilizia costruita.

La serra solare può essere a tutt'altezza cioè fino alla linea di gronda dell'edificio, o avere uno sviluppo verticale quanto l'interpiano dell'edificio. Si tenga presente per le serre, ad esempio a due livelli, che se il solaio dell'edificio viene prolungato nella serra stessa, questo costituisce un'ostruzione solare, pertanto la parte di serra che riceve una maggiore radiazione solare è quella superiore.

A questo punto è necessario capire come una serra solare possa ricevere il massimo della radiazione solare.

Prima di far questo, però, si è tenuto conto che la pendenza della falda della serra non debba essere troppo dissimile dalle pendenze dei tetti tradizionali. In particolare le coperture molisane, sia esse di tipo rurale o comunque tradizionali, presentano pendenze variabili tra il 30 e il 35% circa, pari ad un angolo di elevazione di variabile tra 16° e 20° della falda. Tuttavia l'inclinazione della falda, nel periodo invernale, non è di primaria importanza ai fini della captazione solare in quanto variazioni di pendenza tra il 35 e il 30% corrispondono ad una differenza di radiazione solare calcolata del 5%.

Per ciò che riguarda la falda, invece, risulta molto importante se essa è trasparente, schermata o opaca. Infatti una falda completamente trasparente, in estate contribuisce al surriscaldamento della stessa essendo i raggi solari quasi perpendicolari al piano della falda, viceversa in inverno. Tuttavia una falda completamente opaca contribuisce molto alla diminuzione del guadagno solare.

La tabella seguente, TAB. 12.1, fa riferimento ad un foglio di calcolo in cui due diverse tipologie di serre, di cui una con un solo interpiano ed una a tutt'altezza con due interpiani, vengono confrontate fra loro al fine di analizzare gli apporti solari ricevuti.

In particolare si è visto come una serra di lunghezza di 4 metri, variando la sua profondità, e quindi il suo volume, varia la quantità di radiazione solare intercettata. Da tener presente che essendo la parete a sud quella che riceve la maggior radiazione solare in inverno, questa debba essere di estensione maggiore delle altre due che in alcune ore si comportano come superfici disperdenti. Pertanto, vista la quantità di radiazione intercettata da queste ultime in relazione a quella del lato lungo, si ritiene che il rapporto tra lato corto e quello lungo debba essere compreso tra 0,5 e 0,7.

SERRA ORIENTATA A SUD 0°			orientamento parete verticale				35%-0°				Pend/orient falda		
			radiazione solare periodo freddo				-90	0	90	radiaz. solare falda			
%_f	L	p	H_grond	Ap	Af	Af/Ap	G_p1	G_L	G_p2	G_fal	G_par	G_tot	% G_fal/G_tot
35	4,00	1,50	2,50	18,29	6,36	0,35	566	3567	566	2181	4698	6879	32
35	4,00	1,75	2,50	19,82	7,42	0,37	670	3567	670	2544	4908	7452	34
35	4,00	2,00	2,50	21,40	8,48	0,40	778	3567	778	2908	5123	8031	36
35	4,00	2,50	2,50	24,69	10,59	0,43	1003	3567	1003	3635	5572	9206	39
35	4,00	3,00	2,50	28,15	12,71	0,45	1239	3567	1239	4362	6044	10406	42
35	4,00	1,50	5,50	39,29	6,36	0,16	1180	7847	1180	2181	10207	12388	18
35	4,00	1,75	5,50	42,32	7,42	0,18	1387	7847	1387	2544	10621	13165	19
35	4,00	2,00	5,50	45,40	8,48	0,19	1597	7847	1597	2908	11041	13949	21
35	4,00	2,50	5,50	51,69	10,59	0,20	2026	7847	2026	3635	11900	15534	23
35	4,00	3,00	5,50	58,15	12,71	0,22	2467	7847	2467	4362	12782	17143	25

TAB. 12.1 – Volume della serra e radiazione solare (kwh/m<sup>2</sup>) intercettata nel periodo freddo.

L'importanza di avere una falda trasparente è alquanto evidente, intercettando quest'ultima una radiazione che varia dal 30 al 40% circa di quella totale per una serra ad un solo interpiano. Per una serra invece a doppio interpiano potrebbe anche accettarsi di avere una falda opaca in quanto la radiazione intercettata varia dal 18 al 25% circa di quella totale. Tuttavia in questo caso bisognerebbe opportunamente valutare il grado di ombreggiamento, in quanto il sistema di funzionamento della serra potrebbe anche cambiare perchè il muro di accumulo potrebbe trovarsi in ombra in diverse ore del giorno.

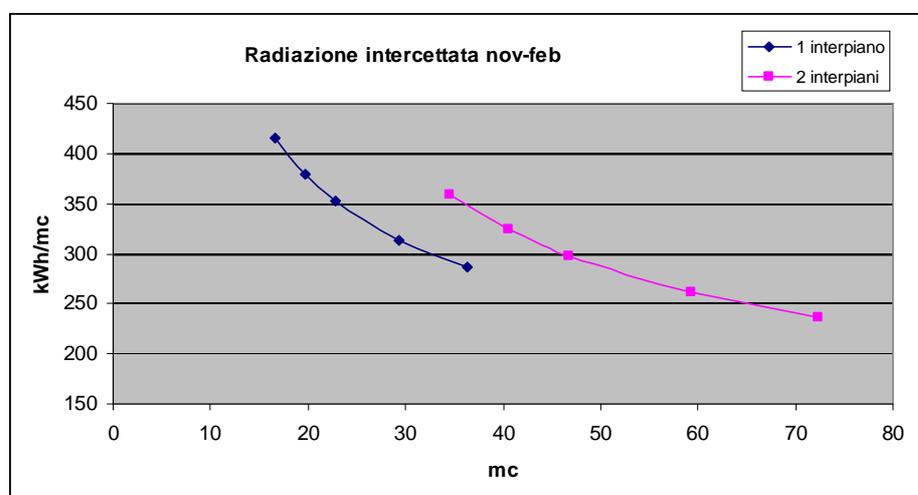


FIG. 12.3 – Variazione del rapporto Energia intercettata / Volume al variare del tipo di serra.

Mettendo invece in relazione il rapporto a radiazione intercettata con il volume si nota che al variare della grandezza della serra tale rapporto non decresce in modo proporzionale, per cui l'aumento del volume non corrisponde ad una migliore efficienza del sistema serra.

Successivamente, con altro foglio di calcolo riportato nella TAB. 12.2 si è visto come varia la radiazione intercettata dalle tipologie di serra considerate nel periodo freddo a Campobasso.

I dati hanno mostrato che orientando la serra fino ad un massimo di 25° a est o ad ovest del sud si perde non più del 5% della radiazione solare. E' da considerare, inoltre, che nel mese di febbraio il sole sorge e con un angolo, diciamo mediamente, di 70° rispetto al sud, quindi per la prima ora di sole la serra addossata si troverà in ombra. Pertanto andando oltre gli orientamenti proposti la serra si troverà ad essere in ombra nelle prime ore o, viceversa, nelle ultime ore della giornata compromettendo l'apporto energetico nel periodo freddo. Contemporaneamente nel periodo caldo si avranno dei surriscaldamenti.

Radiazione solare (kWh/mq) intercettata in tutto il periodo freddo - (Novembre-Febbraio)						0° SUD			10°SUD		20° SUD		25° SUD	
% fal	L	p	H_gron	Ap	Af	G_fal	G_par	tot_G	tot_G	% tot_G10°/ tot_G0°	tot_G	% tot_G20°/ tot_G0°	tot_G	% tot_G25°/ tot_G0°
35	4,0	1,50	2,50	18,29	6,36	2181	4698	6879	6845	99,5	6703	97,4	6617	96,2
35	4,0	1,75	2,50	19,82	7,42	2544	4908	7452	7421	99,6	7279	97,7	7194	96,5
35	4,0	2,00	2,50	21,40	8,48	2908	5123	8031	8002	99,6	7860	97,9	7777	96,8
35	4,0	2,50	2,50	24,69	10,59	3635	5572	9206	9184	99,8	9043	98,2	8962	97,4
35	4,0	3,00	2,50	28,15	12,71	4362	6044	10406	10390	99,8	10250	98,5	10174	97,8
35	4,0	1,50	5,50	39,29	6,36	2181	10207	12388	12323	99,5	12044	97,2	11879	95,9
35	4,0	1,75	5,50	42,32	7,42	2544	10621	13165	13108	99,6	12833	97,5	12675	96,3
35	4,0	2,00	5,50	45,40	8,48	2908	11041	13949	13898	99,6	13629	97,7	13477	96,6
35	4,0	2,50	5,50	51,69	10,59	3635	11900	15534	15498	99,8	15239	98,1	15100	97,2
35	4,0	3,00	5,50	58,15	12,71	4362	12782	17143	17122	99,9	16875	98,4	16750	97,7

TAB. 12.2 – Orientamento serra e radiazione solare intercettata nel periodo freddo a Campobasso.

Tuttavia un accorgimento molto utile atto ad evitare il surriscaldamento estivo è quello di usare un tipo di vetro diverso per la falda. Infatti è possibile montare dei vetri riflettenti, cioè che hanno un trattamento superficiale atto a riflettere la radiazione solare, in modo che la frazione di radiazione entrante si riduca al minimo.

Esistono in commercio sistemi vetrati che hanno un fattore solare  $g$  di poco inferiore a 0,5. Quindi rispetto ad un normale sistema vetrato basso emissivo (mediamente  $g=0,75$ ) si ha un decremento dell'energia entrate di un 25%, frazione che comunque non riduce di molto la radiazione invernale, ma comunque contribuisce a limitare quella estiva, che in valore assoluto, risulta essere nettamente superiore per la falda.

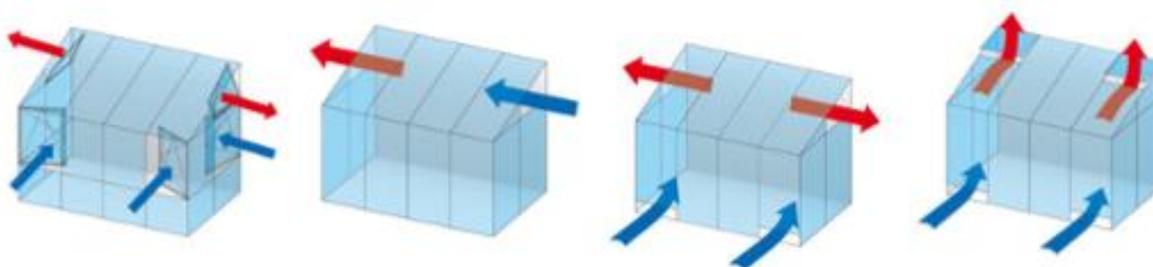


Fig. 12.4 – Sistemi di aperture per la ventilazione della serra.

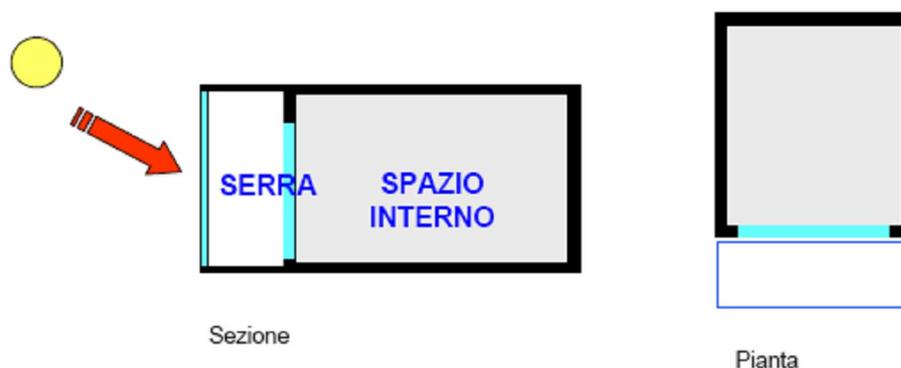
In FIG. 12.4 vengono mostrati alcuni sistemi di apertura per la ventilazione della serra. Tali sistemi potranno essere combinati anche fra loro, l'importante è che nel periodo estivo la serra risulti quanto più possibile apribile. Di fondamentale importanza sono anche le finestre sul tetto che contribuiscono a formare, come già detto, l'effetto camino in modo che l'aria calda salendo provochi una depressione da poter permetterne il ricambio. Si tenga presente che anche l'apertura di tali sistemi, o anche sistemi di canalizzazioni per l'aspirazione di aria possono essere comandati in automatico da un semplice termostato posto nella serra. Infatti in inverno possono essere montati all'interno della serra sistemi di aspirazione che immettono aria calda all'interno dell'abitazione. Quando questa risulta essere inferiore ad una determinata temperatura un termostato potrà interrompere l'erogazione di energia elettrica al sistema di ventilazione. Viceversa nei periodi caldi, verranno comandati i sistemi di apertura sul tetto. E' consigliabile, comunque, inserire aeratori permanenti nella zoccolatura della serra, sia manuali che automatici, per permettere il ricambio dell'aria anche in inverno.

## 12.2 Il metodo 5000

Uno dei procedimenti di calcolo più utilizzati per quantificare l'apporto energetico dei sistemi solari passivi è il "Metodo 5000", elaborato in Francia nel 1982 nell'abito delle attività di ricerca collegata al concorso "5000 Maisons Solares".

Tale metodo suddivide l'apporto energetico complessivo della serra addossata in quattro diversi tipi di guadagno solare, ovvero:

- la radiazione termica che penetra direttamente nel locale da riscaldare attraverso la finestra di separazione con la serra;
- la radiazione termica accumulata dal muro di separazione tra la serra e il locale da riscaldare, ceduta a quest'ultimo per conduzione;
- l'"effetto cuscinetto", dovuta all'aria calda all'interno della serra, che diminuisce le dispersioni termiche verso l'esterno;
- il preriscaldamento dell'aria di ricambio che transitando nella serra aumenta la temperatura.



Per ogni tipo di guadagno solare il Metodo 5000 prevede una scheda di calcolo. La somma dei risultati ottenuti per ognuno di esse consente di stimare l'apporto energetico complessivo della serra, sia relativo ad ogni mese che per l'intero periodo di riscaldamento.

- **Guadagni solari attraverso superfici vetrate** -  $\Phi_{sdg}$

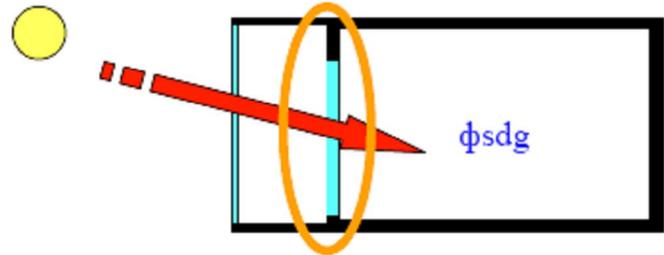
Si tratta dell'energia termica solare che penetra direttamente nell'ambiente interno attraverso la finestra che lo separa dalla serra. La quantità di energia termica che raggiunge l'ambiente interno è in funzione dell'orientamento e dalla superficie della finestra che divide la serra dallo spazio riscaldato, delle caratteristiche di trasmissione della radiazione solare della superficie vetrata della serra e di quella

che compone la finestra, della presenza di ostruzioni o schermature che possono ridurre la quantità di radiazione solare che raggiunge la finestra.

La formula di calcolo è la seguente:

$$\Phi_{sdg} = E \times \tau_s \times A_f \times m_f \times sf$$

(Kwh/giorno)



Dove:

$E$  = energia trasmessa dal vetro della finestra (Kwh/mq giorno)

$\tau_s$  = coefficiente trasmissione solare globale dell'involucro della serra ottenuto come prodotto del fattore solare del tipo di vetro della serra per il coefficiente  $m$  della serra, equivalente quest'ultimo al rapporto tra l'area vetrata della serra e area totale della serra.

$A_f$  = area della finestra tra la serra e lo spazio riscaldato (mq)

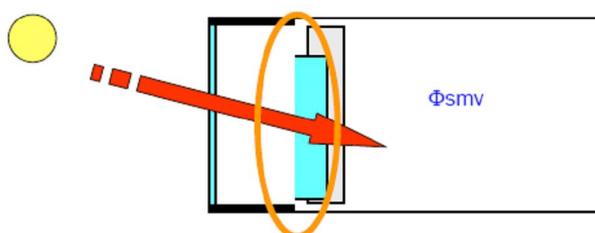
$m_f$  = rapporto tra area vetrata e area totale della finestra tra la serra e lo spazio riscaldato

$sf$  = coefficiente di schermatura

Per i valori di  $E$  si utilizzeranno i valori ottenuti dall'applicazione del metodo Liù e Jordan partendo dai valori di radiazione solare giornaliera media mensile su piano orizzontale forniti dall'archivio DBT dell'ENEA.

- **Guadagni solari da muri massicci all'interno della serra -  $\Phi_{smv}$**

Se il muro di separazione tra la serra e il locale interno è coibentato, questo apporto energetico è trascurabile, altrimenti nel periodo diurno il guadagno solare può essere significativo. Detto apporto energetico è dovuto alla radiazione solare che penetrando all'interno della serra viene assorbita dal muro che la separa dallo spazio riscaldato. L'energia accumulata viene poi ceduta per conduzione all'ambiente interno. La formula di calcolo è la seguente:



$$\Phi_{smv} = 0,11 \times U_m \times \alpha \times E_i \times \tau_s \times A_m \times sf$$

(kWh/giorno)

Dove:

$U_m$  trasmittanza termica del muro massiccio (W/mq °C)

$\alpha$  coefficiente di assorbimento del muro

$E_i$  energia incidente sul vetro della serra (Kwh/mq x giorno)

$T_s$  coefficiente di trasmissione solare del vetro della serra

$A_m$  area del muro mq

$sf$  coefficiente di schermatura

- **Guadagni solari per effetto cuscinetto e preriscaldamento dell'aria di ricambio**

L'energia solare che penetra nella serra innalza la temperatura dell'aria che vi è contenuta. Ciò determina una diminuzione delle dispersioni termiche attraverso l'involucro dell'edificio in quanto la parete di confinamento dello spazio riscaldato non si trova esposta ad una temperatura esterna  $t_e$  bensì alla temperatura  $t_s$  che si determina all'interno della serra nel periodo di soleggiamento.

$$E_s = E \times sf \times A \times m \text{ (Kwh/giorno)}$$

Dove:

$E$  energia trasmessa dal vetro della serra (Kwh/mq x giorno)

$sf$  coefficiente di ombreggiamento

$A$  area complessiva dell'involucro della serra (mq)

$m$  rapporto tra area vetrata e area complessiva dell'elemento della serra.

Successivamente si calcola l'energia intrappolata nella serra, attraverso la seguente formula:

$$F_s = (a_1 \times E_s) - (a_2 \times \Phi_{sdg}) - \Phi_{smv} \text{ (Kwh/giorno)}$$

Dove:

$E_s$  energia penetrata nella serra (Kwh/mq x giorno) precedentemente calcolata

$a_1, a_2$  coefficienti che tengono conto dell'energia solare dispersa attraverso il pavimento della serra e a causa delle riflessioni multiple al suo interno.

Per una serra con quattro superfici captanti (tre pareti laterali e una falda) con vetrocamera e con muri e pavimenti non isolati di colore chiaro si assumo  $a_1= 0.67$  e  $a_2=0.87$ , per una serra con vetro semplice  $a_1= 0.63$  e  $a_2=0.85$ .

$\Phi_{sdg}$  e  $\Phi_{smv}$  rappresentano i guadagni solari dovuti, rispettivamente, alla presenza della finestra e del muro precedentemente calcolati.

A questo punto occorre calcolare la temperatura media mensile della serra con e senza guadagni solari.

In particolare quest'ultima  $t_{sng}$  è determinata con la seguente formula:

$$t_{sng} = \frac{t_0 \cdot L_{bm} + t_t \cdot L_{hm}}{L_{bm} + L_{hm}}$$

invece la temperatura media mensile della serra  $t_s$  tenendo conto degli apporti solari, si determina con la seguente relazione:

$$t_s = t_{sng} + \frac{F_s}{0.024 \cdot (L_{hm} + L_{bm})}$$

Dove:

$t_0$  temperatura esterna media mensile;

$t_t$  temperatura di termostato dello spazio riscaldato;

$L_{hm}$  coefficiente medio di dispersione termica dallo spazio interno verso lo spazio cuscinetto;

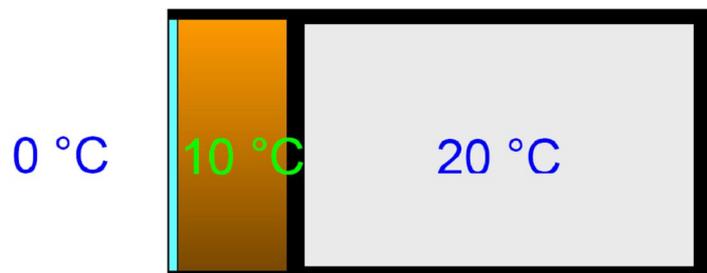
$L_{bm}$  coefficiente medio di dispersione termica dallo spazio cuscinetto verso l'esterno;

Questi ultimi due coefficienti sono funzione della superficie di scambio e della trasmittanza termica di queste, oltre che dalla portata dell'aria di ventilazione. Tali coefficienti infatti rappresentano la sommatoria dei prodotti delle tramittanze per le relative superfici di scambio. Dimensionalmente essi sono dei  $W \times ^\circ C$ , cioè mediamente il calore che scambia la superficie per ogni grado di temperatura.

A questo punto possiamo dire che il guadagno solare dovuto all'effetto cuscinetto è:

$$\Phi_{sb} = L_{hm} (t_s - t_{sng}) 0.024$$

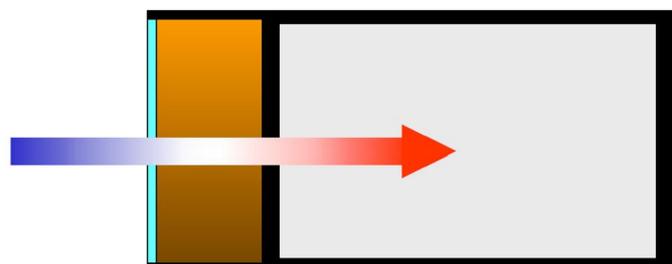
(kWh/giorno)



L'apporto solare dovuto al preriscaldamento dell'aria di ventilazione è:

$$\Phi_{sa} = 0.34 (t_s - t_{sng}) 0.024 q_b$$

(kWh/giorno)



Dove:

$q_b$  è la portata d'aria esterna introdotta nello spazio riscaldato attraverso la serra ( $m^3/h$ ). Se la serra non viene impiegata per preriscaldare l'aria di rinnovo  $\Phi_{sa} = 0$

Il guadagno solare complessivamente è pertanto:

$$\Phi = \Phi_{sdg} + \Phi_{smv} + \Phi_{sb} + \Phi_{sa}$$

Da tener presente che il metodo proposto è solo un metodo di massima, quindi utilizzato esclusivamente in via semplificativa per determinare il valore dei guadagni solari di una serra addossata.

Detti guadagni solari contribuiscono ad individuare la volumetria e la forma della serra che meglio può adattarsi ad un caso specifico oltre che per l'individuazione della classe energetica dell'edificio.

### **12.2.1 Applicazione del Metodo 5000 ad una serra solare addossata.**

Per l'applicazione di questo metodo si sono considerate le due tipologie di serra addossate già viste in precedenza, ossia quella ad un solo interpiano e quella a due interpiani. In entrambe le tipologie sono stati analizzati gli apporti solari per diverse profondità della serra. Si è ipotizzato, inoltre, la parete interposta tra serra ed abitazione dotata di un vano-porta di comunicazione dotato di un serramento vetrato e che tale muro di separazione non debba essere isolato e che sia di colore tipicamente chiaro. L'ambiente climatico di riferimento è sempre quello di Campobasso. A tale scopo è stato costruito un foglio di calcolo che tiene conto di tutto quanto sopra esposto, i cui risultati vengono esposti nelle tabelle seguenti Tab X.5 e Tabx.6. Da tali tabelle innanzitutto si vede come l'apporto energetico totale fornito all'edificio non è proporzionale al volume della serra stesso, come già era prevedibile per quanto esposto precedentemente. Tuttavia quello che interessa notare è che, per questo tipo di serra, che si sviluppa soprattutto in lunghezza, l'apporto maggiore è dovuto all'effetto buffer, cioè l'aumento di temperatura all'interno della serra, evita le perdite di calore che si avrebbero attraverso la parete di confine se fosse esposta all'aria aperta.

Di seguito si riportano dei grafici a barre in cui si evidenzia come l'apporto sopradescritto sia nettamente prevalente rispetto agli altri per tutte le geometrie proposte contraddistinte, sull'asse delle ascisse, dal volume come indicato nelle suddette tabelle.

orient	NOV	DIC	GEN	FEB
-90°	1,15	0,91	1,07	1,45
0°	3,01	2,70	2,99	3,21
90°	1,15	0,91	1,07	1,45
35%	2,89	2,35	2,71	3,55
T mg	8,4	5,2	3,75	4,25

Fs_s	m_s	U_s	Fs_fin	m_fin	Ψ	U_fin	Af	U_mu	α_mu	a1	a2	qb
0,75	0,8	2,2	0,75	0,8	0,8	2,2	2,00	1,5	0,4	0,69	0,87	25

pr.	f_%	L	p	H	Ap_W	Ap_S	Ap_E	Af	A_mur	G_NOV	Φsdg	Φsmv	Fs	Lbm	Lhm	tsng	ts	Φsb	Φsa	Φtot
1	35	4,0	1,50	2,5	4,1	10,0	4,1	6,4	10,1	34,8	1,74	1,2	21,3	63,0	19,6	11,1	21,9	5,0	2,2	10,2
2	35	4,0	1,75	2,5	4,9	10,0	4,9	7,4	10,5	37,7	1,74	1,2	23,3	68,7	20,1	11,0	21,9	5,3	2,2	10,5
3	35	4,0	2,00	2,5	5,7	10,0	5,7	8,5	10,8	40,6	1,74	1,3	25,2	74,5	20,6	10,9	22,0	5,5	2,3	10,8
4	35	4,0	2,50	2,5	7,3	10,0	7,3	10,6	11,5	46,6	1,74	1,4	29,3	86,4	21,7	10,7	22,0	5,9	2,3	11,3
5	35	4,0	3,00	2,5	9,1	10,0	9,1	12,7	12,2	52,6	1,74	1,5	33,4	98,7	22,7	10,6	22,0	6,2	2,3	11,8
6	35	4,0	1,50	5,5	8,6	22,0	8,6	6,4	22,1	62,7	1,74	2,6	39,1	109,2	37,6	11,4	22,5	10,0	2,3	16,7
7	35	4,0	1,75	5,5	10,2	22,0	10,2	7,4	22,5	66,7	1,74	2,7	41,8	118,2	38,1	11,2	22,4	10,2	2,3	16,9
8	35	4,0	2,00	5,5	11,7	22,0	11,7	8,5	22,8	70,6	1,74	2,7	44,5	127,3	38,6	11,1	22,3	10,4	2,3	17,1
9	35	4,0	2,50	5,5	14,8	22,0	14,8	10,6	23,5	78,6	1,74	2,8	49,9	145,8	39,7	10,9	22,1	10,7	2,3	17,5
10	35	4,0	3,00	5,5	18,1	22,0	18,1	12,7	24,2	86,8	1,74	2,9	55,5	164,7	40,7	10,7	22,0	11,0	2,3	17,9

pr.	f_%	L	p	H	Ap_W	Ap_S	Ap_E	Af	A_mur	G_DIC	Φsdg	Φsmv	Fs	Lbm	Lhm	tsng	ts	Φsb	Φsa	Φtot
1	35,00	4,0	1,50	2,5	4,1	10,0	4,1	6,4	10,1	29,7	1,6	1,2	17,9	63,0	19,6	8,7	17,8	4,2	1,8	8,9
2	35,00	4,0	1,75	2,5	4,9	10,0	4,9	7,4	10,5	32,0	1,6	1,2	19,5	68,7	20,1	8,5	17,7	4,4	1,9	9,1
3	35,00	4,0	2,00	2,5	5,7	10,0	5,7	8,5	10,8	34,4	1,6	1,3	21,1	74,5	20,6	8,4	17,6	4,6	1,9	9,3
4	35,00	4,0	2,50	2,5	7,3	10,0	7,3	10,6	11,5	39,2	1,6	1,4	24,3	86,4	21,7	8,2	17,5	4,9	1,9	9,7
5	35,00	4,0	3,00	2,5	9,1	10,0	9,1	12,7	12,2	44,1	1,6	1,5	27,6	98,7	22,7	8,0	17,4	5,2	1,9	10,1
6	35,00	4,0	1,50	5,5	8,6	22,0	8,6	6,4	22,1	54,1	1,6	2,6	33,3	109,2	37,6	9,0	18,5	8,5	1,9	14,7
7	35,00	4,0	1,75	5,5	10,2	22,0	10,2	7,4	22,5	57,2	1,6	2,7	35,5	118,2	38,1	8,8	18,3	8,6	1,9	14,8
8	35,00	4,0	2,00	5,5	11,7	22,0	11,7	8,5	22,8	60,4	1,6	2,7	37,6	127,3	38,6	8,6	18,1	8,7	1,9	15,0
9	35,00	4,0	2,50	5,5	14,8	22,0	14,8	10,6	23,5	66,8	1,6	2,8	41,9	145,8	39,7	8,4	17,8	9,0	1,9	15,3
10	35,00	4,0	3,00	5,5	18,1	22,0	18,1	12,7	24,2	73,3	1,6	2,9	46,4	164,7	40,7	8,1	17,5	9,2	1,9	15,6

TAB. 12.3 - Metodo 5000: apporti solari in kWh/m<sup>2</sup> giorno nel mese di Novembre e Dicembre

pr.	f_%	L	p	H	Ap_W	Ap_S	Ap_E	Af	A_mur	G_GEN	Φsdg	Φsmv	Fs	Lbm	Lhm	tsng	ts	Φsb	Φsa	Φtot
1	35,00	4,0	1,50	2,5	4,1	10,0	4,1	6,4	10,1	33,6	1,7	1,2	20,5	63,0	19,6	7,6	17,9	4,9	2,1	9,9
2	35,00	4,0	1,75	2,5	4,9	10,0	4,9	7,4	10,5	36,3	1,7	1,2	22,3	68,7	20,1	7,4	17,9	5,0	2,1	10,2
3	35,00	4,0	2,00	2,5	5,7	10,0	5,7	8,5	10,8	39,1	1,7	1,3	24,2	74,5	20,6	7,3	17,9	5,2	2,2	10,4
4	35,00	4,0	2,50	2,5	7,3	10,0	7,3	10,6	11,5	44,6	1,7	1,4	27,9	86,4	21,7	7,0	17,8	5,6	2,2	10,9
5	35,00	4,0	3,00	2,5	9,1	10,0	9,1	12,7	12,2	50,3	1,7	1,5	31,7	98,7	22,7	6,8	17,7	5,9	2,2	11,3
6	35,00	4,0	1,50	5,5	8,6	22,0	8,6	6,4	22,1	60,9	1,7	2,6	37,9	109,2	37,6	7,9	18,7	9,7	2,2	16,2
7	35,00	4,0	1,75	5,5	10,2	22,0	10,2	7,4	22,5	64,6	1,7	2,7	40,4	118,2	38,1	7,7	18,5	9,8	2,2	16,4
8	35,00	4,0	2,00	5,5	11,7	22,0	11,7	8,5	22,8	68,3	1,7	2,7	42,9	127,3	38,6	7,5	18,3	10,0	2,2	16,6
9	35,00	4,0	2,50	5,5	14,8	22,0	14,8	10,6	23,5	75,8	1,7	2,8	48,0	145,8	39,7	7,2	18,0	10,3	2,2	17,0
10	35,00	4,0	3,00	5,5	18,1	22,0	18,1	12,7	24,2	83,4	1,7	2,9	53,1	164,7	40,7	7,0	17,8	10,5	2,2	17,3

pr.	f_%	L	p	H	Ap_W	Ap_S	Ap_E	Af	A_mur	G_FEB	Φsdg	Φsmv	Fs	Lbm	Lhm	tsng	ts	Φsb	Φsa	Φtot
1	35,00	4,0	1,50	2,5	4,1	10,0	4,1	6,4	10,1	40,0	1,8	1,2	24,8	63,0	19,6	8,0	20,5	5,9	2,6	11,5
2	35,00	4,0	1,75	2,5	4,9	10,0	4,9	7,4	10,5	43,6	1,8	1,2	27,2	68,7	20,1	7,8	20,6	6,2	2,6	11,9
3	35,00	4,0	2,00	2,5	5,7	10,0	5,7	8,5	10,8	47,2	1,8	1,3	29,7	74,5	20,6	7,7	20,7	6,4	2,7	12,2
4	35,00	4,0	2,50	2,5	7,3	10,0	7,3	10,6	11,5	54,6	1,8	1,4	34,7	86,4	21,7	7,4	20,8	7,0	2,7	12,9
5	35,00	4,0	3,00	2,5	9,1	10,0	9,1	12,7	12,2	62,1	1,8	1,5	39,8	98,7	22,7	7,2	20,9	7,4	2,8	13,5
6	35,00	4,0	1,50	5,5	8,6	22,0	8,6	6,4	22,1	70,9	1,8	2,6	44,7	109,2	37,6	8,3	21,0	11,4	2,6	18,5
7	35,00	4,0	1,75	5,5	10,2	22,0	10,2	7,4	22,5	75,8	1,8	2,7	48,0	118,2	38,1	8,1	20,9	11,7	2,6	18,8
8	35,00	4,0	2,00	5,5	11,7	22,0	11,7	8,5	22,8	80,8	1,8	2,7	51,4	127,3	38,6	7,9	20,8	12,0	2,6	19,2
9	35,00	4,0	2,50	5,5	14,8	22,0	14,8	10,6	23,5	90,8	1,8	2,8	58,2	145,8	39,7	7,6	20,7	12,4	2,7	19,8
10	35,00	4,0	3,00	5,5	18,1	22,0	18,1	12,7	24,2	100,9	1,8	2,9	65,1	164,7	40,7	7,4	20,6	12,9	2,7	20,3

TAB. 12.4 - Metodo 5000: apporti solari espressi in kWh/m<sup>2</sup> giorno nel mese di Gennaio e Febbraio.

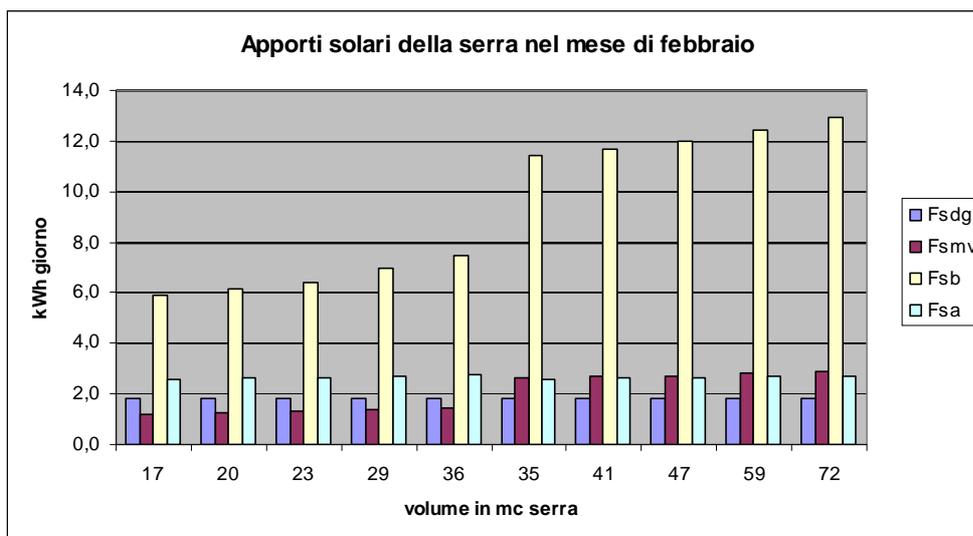


FIG. 12.5 – Metodo 5000: apporti solari in kwh giorno nel mese di febbraio.

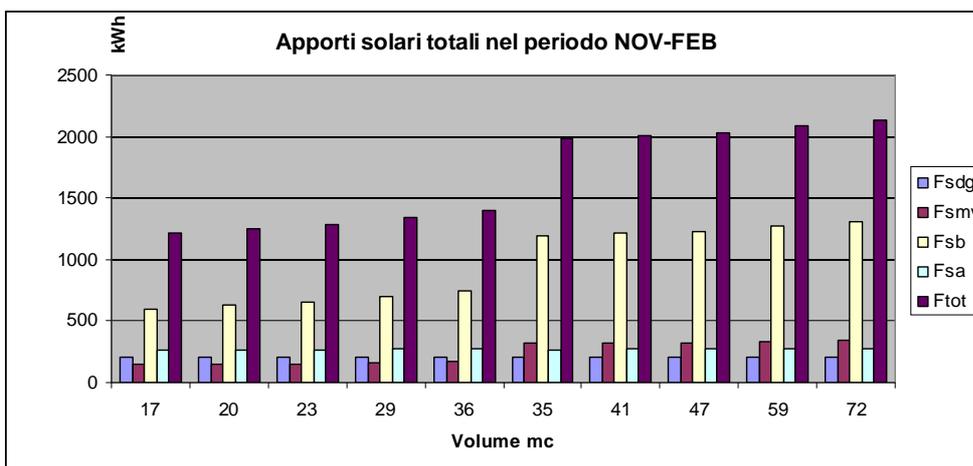


FIG. 12.6 – Metodo 5000: apporti solari in kwh durante il periodo freddo Novembre-Febraio.

A questo punto però vi è da fare una considerazione di carattere funzionale, cioè l'uso che internamente si desidera fare della serra. Infatti questa non è che serva unicamente come captazione di radiazione solare, anzi, se utilizzata come luogo di soggiorno nei periodi invernali, stazionarvi risulta essere alquanto gradevole nelle giornate soleggiate. Ecco allora che la profondità potrà essere compresa tra 2,50 e 3,00 m, oltre come già detto gli apporti solari non risulterebbero convenienti anche da un punto di vista economico in quanto il costo della serra non risulterebbe proporzionale agli apporti solari intercettati. Da questo punto di vista, pertanto, serre piuttosto strette, utilizzate per spazi connettivi e di passaggio potrebbero risultare altamente competitive da un punto di vista economico.

Successivamente si è provato a vedere come variano gli apporti solari con un sistema vetrato più semplice. Utilizzare un vetro semplice sicuramente ha dei costi inferiori a scapito della dispersione di calore che si genera. Tuttavia un vetro semplice ha un coefficiente di trasmissione solare più alto. Si sono usati nei calcoli un valore di  $U_s = 3,5 \text{ kW/m}^2\text{K}^\circ$  e un  $F_s = 0,85$ .

Quello che si nota subito è che gli apporti sulla finestra e sul muro di separazione tra serra e ambiente interno risultano essere maggiori grazie al maggior valore del fattore solare. Gli altri apporti invece risultano essere ovviamente minori.

Pr.	f_%	L	p	H	Vol	$\Phi_{sdg}$	$\Phi_{smv}$	$\Phi_{sb}$	$\Phi_{sa}$	$\Phi_{tot}$
1	35,00	4,0	1,50	2,5	17	13,3%	13,3%	-18,4%	-18,4%	-9,2%
2	35,00	4,0	1,75	2,5	20	13,3%	13,3%	-19,0%	-19,0%	-9,8%
3	35,00	4,0	2,00	2,5	23	13,3%	13,3%	-19,5%	-19,5%	-10,3%
4	35,00	4,0	2,50	2,5	29	13,3%	13,3%	-20,4%	-20,4%	-11,1%
5	35,00	4,0	3,00	2,5	36	13,3%	13,3%	-21,2%	-21,2%	-11,8%
6	35,00	4,0	1,50	5,5	35	13,3%	13,3%	-19,3%	-19,3%	-10,7%
7	35,00	4,0	1,75	5,5	41	13,3%	13,3%	-19,8%	-19,8%	-11,1%
8	35,00	4,0	2,00	5,5	47	13,3%	13,3%	-20,3%	-20,3%	-11,5%
9	35,00	4,0	2,50	5,5	59	13,3%	13,3%	-21,1%	-21,1%	-12,2%
10	35,00	4,0	3,00	5,5	72	13,3%	13,3%	-21,8%	-21,8%	-12,7%

TAB. 12.5 - Metodo 5000: Variazione % degli apporti solari variando la trasmittanza e il fattore solare, rispettivamente, da  $U=2,2 \text{ kW/m}^2\text{K}^\circ$  e  $F_s = 0,75$  a  $U=3,5 \text{ kW/m}^2\text{K}^\circ$  e  $F_s=0,85$ .

Dalla tabella si evince che la variazione degli apporti energetici diminuisce dal 9 al 12% circa per la serra ad un solo interpiano e dall'11 al 13% circa per la serra a doppio interpiano. Ciò non è molto se si considerano le differenze tecnologiche e costruttive del sistema vetrato accoppiato alle suddette trasmittanze.

E' da tener conto però che le temperature di esercizio all'interno della serra scendono di un po' di gradi, così come mostrato nel grafico in FIG. 12.7. Se la serra, quindi, assolve anche a funzioni di soggiorno, una diminuzione di temperatura potrebbe risultare non gradita dal punto di vista del confort ambientale.

E' possibile perciò affermare che se la serra prevede anche funzioni abitative di soggiorno la forma da preferire è quella ad un solo interpiano. Viceversa, gli aspetti architettonici lo permettono, una serra a doppio interpiano non molto profonda potrebbe essere da preferire se solamente di passaggio.

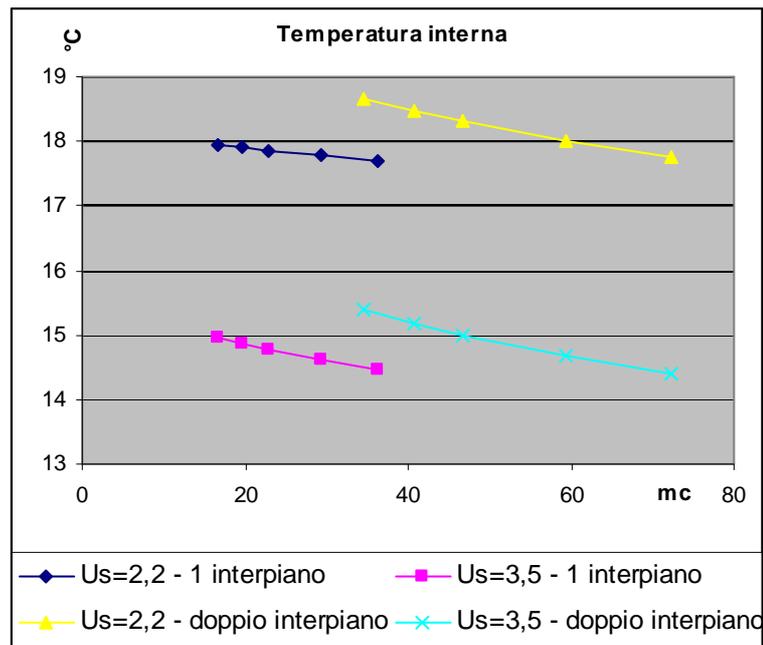


FIG. 12.7 – Temperature medie  $t_s$  della serra con diversi sistemi vetrati.

### 12.2.2 Accorgimenti costruttivi per una migliore compatibilità architettonica della serra solare.

Se si tiene conto che una serra solare viene comunemente considerata elemento architettonico estraneo all'architettura rurale, o comunque tradizionale, è pur vero che essa fa parte del ciclo della produzione agricola. Tuttavia nelle antiche architetture rurali spesso si rinvengono strutture deputate all'essiccazione dei prodotti agricoli o porticati destinati alla protezione di essenze arbustive particolarmente soggette all'azione del gelo. Anche se l'uso del vetro è abbastanza moderno, tuttavia è antica la funzione di strutture solari di supporto, perciò non si può escludere la possibilità di creare una serra in adiacenza con i fabbricati rurali. Si tratta, però, di adottare tutti gli accorgimenti utili dal punto di vista architettonico ed estetico al fine di armonizzare le giustapposizioni nel rispetto delle vecchie architetture in modo sobrio rispettando volumi, proporzioni e materiali in modo da non alterare soprattutto le partizioni prospettiche. In particolare la scelta dei volumi dovrà rispettare l'armonia compositiva della preesistenza quasi a formare un'appendice logica. Ogni caso è necessaria una valutazione a se stante, in quanto le tipologie architettoniche non sono sempre le stesse.

In questo senso, è possibile avanzare alcuni principi da rispettare. Per prima cosa è necessario, come accade per ogni restauro, distinguere l'antico dal nuovo in modo che se anche accostati i due interventi siano giustapposti con sobrietà e senza

soluzione di discontinuità. Una parete vetrata, in diversi casi, non nasconde, anzi permette una lettura dell'edificio, di come era prima e di come è divenuto dopo l'intervento.



FIG. 12.8 – Tipologie di serre in commercio

Il rispetto delle preesistenze però si ottiene anche con adeguati volumi che si aggiungono. Una serra addossata all'edificio è preferibile che abbia un volume tipico del portico, ossia un volume a base rettangolare e generalmente ad un solo interpiano. Diverso è il caso delle logge che si rinvengono nelle architetture rurali. Costruire una serra che assomiglia ad una loggia potrebbe però avere un risultato oltremodo falso nell'immagine

generale del costruito. Le tipologie di serre che il mercato offre sono diverse, come quelle riportate nella figura FIG.128. Esse, ad esclusione della prima, sono senza dubbio da scartare a priori in quanto la forma del volume aggiunto non risulta avere una forma tradizionale. La tipologia di serra a doppio interpiano, però andrebbe inserita meglio se l'edificio avesse una rientranza, come una forma a "C" o ad "L" in modo da poter accostare, quasi nascondendo una parte del volume aggiunto.

A proposito di forme, sarebbe necessario seguire la linea di gronda, costituita spesso dalla tipica *romanella* eseguita con coppi a sbalzo. La falda della serra non dovrà mai essere il prolungamento della falda del tetto. Il suo attacco con il fabbricato dovrà avvenire sempre al disotto della gronda originaria. E' da evitare, comunque, la differenziazione della pendenza della falda tra i due corpi.

Per far sì che il volume della serra assomigli il più possibile a quello del portico, è opportuno che la struttura portante della serra venga realizzata in legno, o al limite in alluminio verniciato a modello legno. Essendo però un portico costruito con due o più pilastri lignei o in mattoni, la serra potrebbe avere negli angoli dei profilati a sezione maggiore che ricalcano in un certo qual modo le predette strutture.

Tutte queste piccole considerazioni sicuramente risultano utili, ma, come già detto, necessitano opportunamente di uno studio specifico.



FIG. 12.9 – Tipologie di serre e particolari costruttivi.

### **12.3 Il portico solare**

Come già riferito in precedenza il portico è uno dei sistemi bioclimatici presente nella maggior parte delle architetture rurali. Tale sistema, se ben orientato, sfrutta al meglio le caratteristiche di soleggiamento in conseguenza dei percorsi solari: ombreggiamento in estate e soleggiamento invernale.

Un tipico portico presenta una copertura opaca e, generalmente, tre lati aperti, per cui lo spazio delimitato è uno spazio esterno. Questo può essere utilizzato in condizioni ottimali in estate, ma in inverno, anche se soleggiato, costituisce comunque uno spazio aperto la cui temperatura è quella esterna. La strategia proposta in questo paragrafo è quindi di suggerire la chiusura delle pareti laterali del portico con delle vetrate mobili.

Tale strategia nasce dal fatto che una serra solare, seppur trattata con tutti gli accorgimenti del caso, resta sempre un elemento estraneo all'architettura rurale. Inoltre, tenuto conto che una serra solare presenta problemi di surriscaldamento in estate, con un sistema porticato vetrato essi possono essere sicuramente ridotti al minimo. La radiazione solare che intercetta la falda del portico infatti è notevole in estate in quanto il sole è più alto rispetto all'orizzonte. In questo caso l'opacità della falda annulla tutta la radiazione solare svantaggiosa in ingresso. Contemporaneamente le strutture vetrate verticali verrebbero aperte al massimo. Con particolari sistemi di ante a scomparsa o a libretto il portico verrebbe a trovarsi nella condizione di completa apertura allo spazio esterno in modo da ripristinare l'aspetto e la funzione del classico portico tradizionale. Lo spazio interno si configurerebbe, così, ad uno spazio bioclimatico esterno dove in estate la sensazione di confort ambientale può essere raggiunta più facilmente rispetto ad altri spazi funzionali del manufatto.

Viceversa in inverno le vetrate verrebbero chiuse, in modo da creare uno spazio di soggiorno, quindi abitativo, che soleggiato, resta chiuso all'esterno tanto che i parametri ambientali interni raggiungano valori prossimi a quelli di confort.

Nel periodo invernale, però, rispetto ad una serra solare, il portico perde l'apporto solare attenuato attraverso la falda del tetto. Nel caso delle varie profondità della tipologia di serra proposta, la radiazione solare invernale rappresenta mediamente il 30-40% di quella totale; bisogna quindi mettere in conto questa perdita di apporto. Tenuto conto che nella tipologia di serra proposta, l'altezza alla linea di gronda è di 2,50 m, altezza che può essere presa in considerazione per tener conto

dell'accostamento dei volumi e soprattutto per limitare quello della serra, per il portico le situazioni tipologiche possono essere diverse, infatti si rinvengono anche portici a doppia altezza. Tuttavia si può assumere, mediamente, un'altezza della linea di gronda pari a 3,00 m per poter comunque elaborare delle considerazioni, così come è stato fatto per la serra solare, in base agli apporti energetici offerti e alla profondità della struttura porticata.

0° sud				orientamento parete verticale				-90	0	90			
				radiazione solare periodo freddo				137	357	137			
Volume	%_f	L	p	H_gron	Ap_sud	Ap_lat	Apl/Aps	G_p-est	G_p-sud	G_p-ovest	G_tot	G_p_lat/G_tot	
20	35	4,00	1,50	3,00	12,00	9,79	0,82	668	4280	668	5616	24%	
23	35	4,00	1,75	3,00	12,00	11,57	0,96	790	4280	790	5860	27%	
27	35	4,00	2,00	3,00	12,00	13,40	1,12	915	4280	915	6109	30%	
34	35	4,00	2,50	3,00	12,00	17,19	1,43	1173	4280	1173	6626	35%	
42	35	4,00	3,00	3,00	12,00	21,15	1,76	1444	4280	1444	7167	40%	

TAB. 12.5 - Radiazione solare intercettata dalle strutture di chiusura verticali del portico solare.

A questo punto bisogna tener conto che quanto più è possibile alzare la linea di gronda, tanto più il portico riceverà un miglior soleggiamento. Inoltre bisogna tener conto anche degli apporti solari attraverso le pareti laterali, che non risultano affatto trascurabili specialmente se la profondità del portico permette funzioni abitative. Dalla tabella Tab.X7 si evince quindi come un portico solare efficiente non debba mai essere incassato in qualche modo nella struttura edilizia adiacente in quanto si verrebbero a perdere anche il 40% degli apporti solari dalle pareti laterali.

Radiazione solare (kWh/mq) intercettata in tutto il periodo freddo - (Novembre-Febbraio)				0° SUD			10°SUD				20° SUD			25° SUD				
%_fal	L	p	H_gron	G_p-lat	G_p-sud	tot_G	G_p-lat	G_p-sud	tot_G	% tot_G10°/tot_G0°	G_p-lat	G_p-sud	tot_G	% tot_G20°/tot_G0°	G_p-lat	G_p-sud	tot_G	% tot_G25°/tot_G0°
35	4,0	1,50	3,0	1336	4280	5616	1364	4224	5588	99,5	1396	4057	5453	97,1	1429	3948	5377	95,7
35	4,0	1,75	3,0	1580	4280	5860	1612	4224	5836	99,6	1651	4057	5708	97,4	1689	3948	5637	96,2
35	4,0	2,00	3,0	1829	4280	6109	1867	4224	6091	99,7	1911	4057	5968	97,7	1956	3948	5904	96,6
35	4,0	2,50	3,0	2346	4280	6626	2395	4224	6619	99,9	2452	4057	6509	98,2	2509	3948	6457	97,4
35	4,0	3,00	3,0	2887	4280	7167	2947	4224	7171	100,0	3017	4057	7074	98,7	3088	3948	7036	98,2

TAB. 12.6 - Radiazione solare intercettata dalle strutture di chiusura verticali del portico solare per diversi orientamenti.

Nella precedente tabella TAB. 12.6 viene mostrato come l'orientamento del portico intercetta la radiazione solare. Si evince subito come variazioni di orientamento rispetto al sud fino a 25° comportano perdite di radiazione solare di circa il 5%. Tale perdita è quanto più sensibile quanto meno profondo è il portico. Infatti l'area delle pareti laterali, aumentando la profondità, risulta maggiore della parete esposta a sud e quindi potrebbero essere esposte ad una radiazione maggiore. Da tener presente che, così come detto per la serra, nei periodi invernali l'edificio potrebbe proiettare ombra sul sistema del portico se si va oltre i suddetti valori azimutali. Inoltre, specialmente per il portico esposto verso ovest, oltre certi limiti, si avrebbe un surriscaldamento nel pomeriggio con la conseguente necessità di schermature verticali.

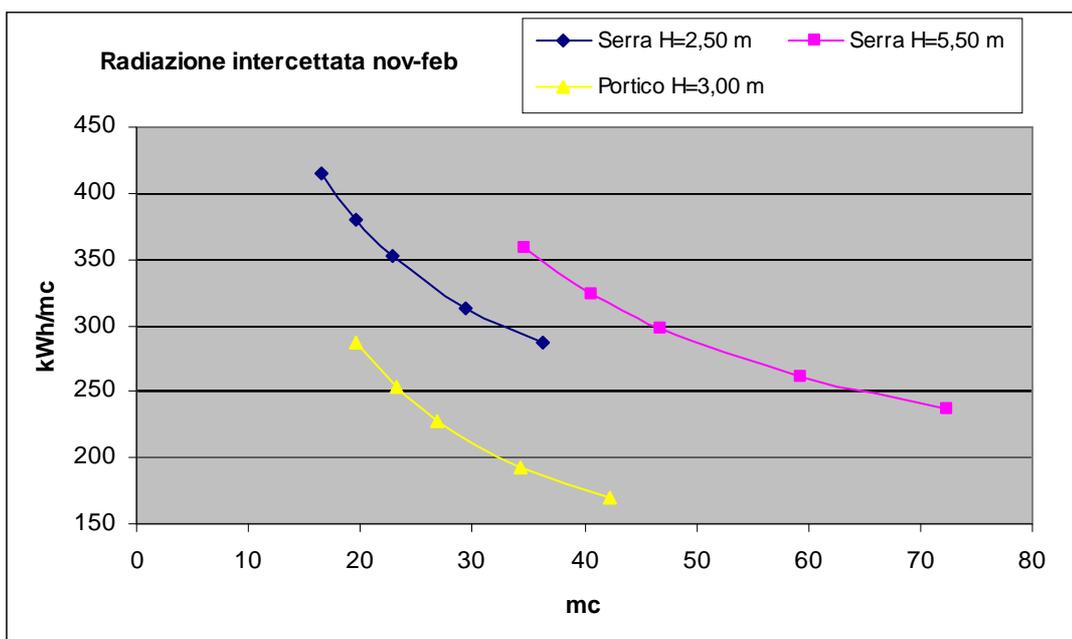


FIG. 12.10 – Variazione del rapporto Energia intercettata / Vol. riferito al portico e a due tipi di serre.

Fermo restando la lunghezza di 4 m del portico nonché il suo orientamento, dal grafico in FIG. 12.10 si nota come da un punto di vista geometrico la serra ad un interpiano intercetta decisamente una maggior radiazione solare per unità di volume rispetto al portico. Tuttavia è da tener presente che ci sono delle zone di sovrapposizione delle curve. Ad esempio 250 kWh/mc si possono ottenere con una serra a doppio interpiano di 65 mc o con un portico di appena 24 mc. In questo caso detto portico risulterebbe maggiormente efficiente rispetto alla seconda tipologia di

serra. Inoltre c'è da considerare, che da un punto di vista della cubatura, non sempre si possono realizzare grandi volumetrie se si decide di fare delle aggiunte, perciò la valutazione dell'inserimento di una tipologia o dell'altre può essere fatta anche considerando il suddetto grafico. Di contro, però, c'è da dire che un portico con una piccola volumetria potrebbe non essere funzionale dal punto di vista abitativo.

### 12.3.1 Ombreggiamento del portico

Il portico solare sostanzialmente apporta dell'ombra sullo spazio che esso stesso definisce. Risulta fondamentale tale valutazione soprattutto sulla parete di fondo, parete che generalmente presenta almeno una apertura di passaggio verso lo spazio interno del fabbricato. Così come per la serra, tale parete potrebbe contribuire agli apporti energetici solari per lo spazio riscaldato se risultasse soleggiata. E' immediato notare che tale soleggiamento dipende dalla profondità del portico. Infatti, a parità di altezza della linea di gronda, un portico più profondo riesce ad irradiare meno la superficie della parete di fondo nel periodo invernale.

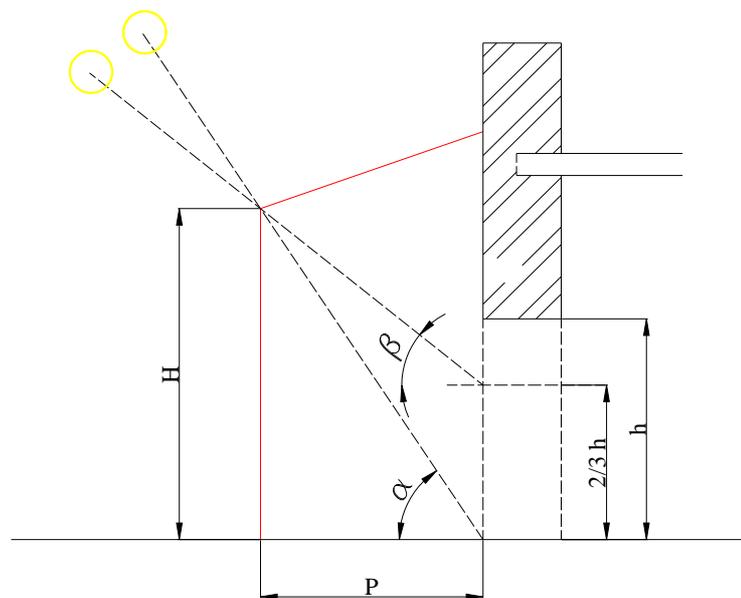


FIG.12.11 – Schema di ombreggiamento del portico.

In riferimento alla FIG.12.11, se nel periodo invernale si accetta un soleggiamento per almeno  $2/3$  dell'altezza del vano di passaggio, l'altezza  $H$  e la profondità  $P$  del portico dovranno essere dimensionati in relazione alla massima elevazione  $\beta$  del sole nel periodo invernale. Si può pensare quindi di assumere, per Campobasso, l'angolo  $\beta$  pari a  $40^\circ$  corrispondente alla massima elevazione alla fine di febbraio. Superato tale periodo la superficie del vano di passaggio verrà sempre meno irradiato.

Sarebbe utile che il suddetto vano di passaggio resti completamente in ombra per tutto il periodo caldo, pertanto nelle ore centrali della giornata l'angolo di elevazione del sole deve essere maggiore dell'angolo  $\alpha$ . Se si assume  $\alpha$  pari a  $55^\circ$  che corrisponde alla massima elevazione a fine agosto a Campobasso, avremo che nel periodo estivo, almeno nelle ore centrali della giornata il vano di passaggio sarà sempre in ombra.

H	h	$\alpha$	Profondità massima inverno (m)
3,00	2,10	$40^\circ$	1,91
H	h	$\beta$	Profondità minima estate
3,00	2,10	$55^\circ$	2,10

TAB. 12.7 - Proporzioni angolari per il soleggiamento della parete di fondo.

Da tale tabella si evince che affinché il vano di passaggio possa essere irradiato per almeno  $2/3$  della sua superficie, quindi permettere l'ingresso della radiazione solare all'interno dell'edificio attraverso un serramento vetrato, la profondità del portico non deve superare i 2 m. Viceversa in estate, tale distanza contribuisce a tenere il vano porta sempre in ombra. A questo punto si potrebbe ipotizzare una profondità ideale pari a  $2/3$  dell'altezza alla linea di gronda. Tuttavia, tale profondità del portico potrebbe essere limitante per le funzioni abitative, specialmente se il portico viene chiuso con delle vetrate e adibito a spazio di soggiorno invernale. Aumentando la profondità quindi si ha un maggior guadagno di ombra in estate a scapito di un minor soleggiamento in inverno. Ovviamente quanto pocanzi detto dipende anche dalla lunghezza del portico e occorre perciò valutare l'ombreggiamento con una maschera degli ombreggiamenti.

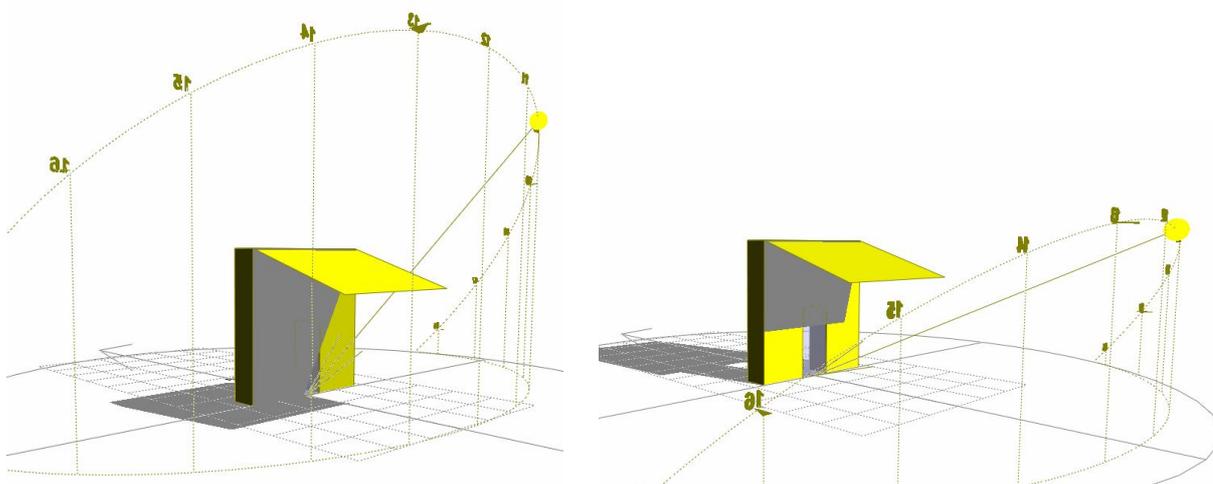


Fig.12.12 – Ombreggiamenti del portico in Agosto e Gennaio – Elaborazione con Software Solar Tools

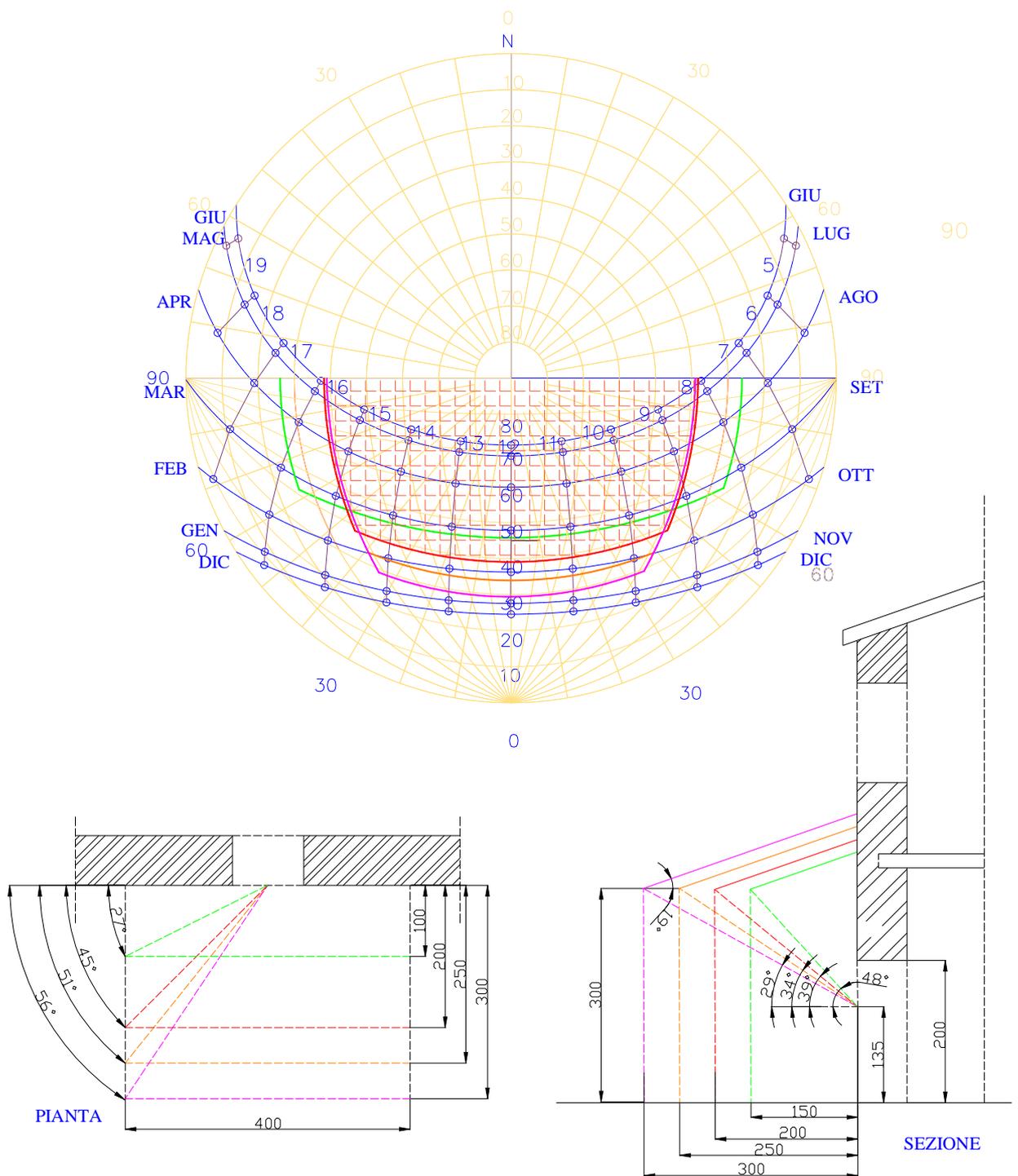


Fig.12.13 – Maschera degli ombreggiamenti per diverse profondità di un portico.

In FIG. 12.13 si riporta un'elaborazione grafica mediante maschera di ombreggiamento per un portico a diverse profondità. Si evince il concetto già espresso in precedenza, anche se con la suddetta maschera si riesce a capire anche i periodi orari in cui il portico va in ombra. Da tali grafici, inoltre, si nota subito come un portico che abbia una buona altezza di gronda possa essere utile in inverno, però

in estate non protegge dall'ombra tutta l'area sottesa. L'altezza della linea di gronda , tuttavia, si può abbassare con delle schermature mobili verticali quali opportune tende alla mantovana.

### **12.3.2 Applicazione del Metodo 5000 al portico solare**

Per l'applicazione di questo metodo per l'individuazione degli apporti energetici che un portico solare riesce a trasferire all'adiacente edificio occorre fare opportune considerazioni. Rispetto alla serra, si è visto come nel paragrafo precedente se la parete di fondo non sempre è irradiata al completo, mentre la profondità del portico ne limita l'insolazione. Ne consegue che il flusso di radiazione solare che attraversa il serramento nella parete di confine è ulteriormente ridotto. Per le geometrie proposte si è considerato una riduzione dell'area del serramento a 2/3 per i mesi di novembre, dicembre e gennaio, 1/3 per il mese di febbraio ai fini del calcolo del flusso energetico entrante nel periodo freddo (novembre – febbraio).

Sempre per lo stesso motivo, anche il muro di confine viene a trovarsi in posizione di scarso soleggiamento, in quanto verrebbe irradiato soprattutto alla base. Al fine di poter sfruttare gli apporti dovuti all'assorbimento della radiazione solare da parte del muro occorrerebbe non isolare termicamente solo una fascia alla base del muro stesso generando, nell'ipotesi di un isolamento a cappotto esterno, una discontinuità di materiali e creando problemi estetici. Inoltre considerando il fatto che la parete di confine è l'unica parete opaca del portico, sicuramente sulla stessa si potrebbero trovare accostati oggetti ed arredi che ne schermerebbero comunque la radiazione solare intercettata. Ecco che conviene isolare completamente la parete.

Dal punto di vista dell'applicazione del metodo 5000 si è preferito non tener conto, in quanto trascurabile, dell'effetto della radiazione solare sul muro di confine.

Nel caso del portico solare, però, occorre sfruttare al massimo la radiazione solare entrante e questo lo si può fare anche con una opportuna pavimentazione. Infatti il pavimento del portico in inverno è per la maggior parte del tempo soleggiato, quindi è buona norma usare materiali con alta inerzia termica ed isolarlo dal terreno sottostante. Infatti il calore accumulato contribuirà ad evitare un brusco calo delle temperature dopo il tramonto generandosi scambi radiativi tra il pavimento stesso e l'ambiente del portico. Di questa caratteristica se ne tiene conto attraverso i coefficienti  $a_1$  e  $a_2$  per il calcolo di  $F_s$ .

orient	NOV	DIC	GEN	FEB
-90°	1,15	0,91	1,07	1,45
0°	3,01	2,70	2,99	3,21
90°	1,15	0,91	1,07	1,45
T mg	8,4	5,2	3,75	4,25

Fs_s	m_s	U_s	U_tetto	a1	a2	qb	Fs_fin	m_fin	Ψ	U_fin	Af	U_mu	α_mu
0,75	0,8	2,2	0,34	0,74	0,91	25	0,75	0,8	0,8	2,2	1,35	0,5	0

f_%	L	p	H	Ap_W	Ap_S	Ap_E	Af	A_mur	Vol_port	G_NOV	Φsdg	Φsmv	Fs	Lbm	Lhm	tsng	ts	Φsb	Φsa	Φtot
35	4,0	1,50	3,0	4,9	12,0	4,9	0,0	6,0	19,6	28,4	1,2	0,0	20,0	56,7	6,0	9,5	22,8	1,9	2,7	5,8
35	4,0	1,75	3,0	5,8	12,0	5,8	0,0	13,1	23,1	29,7	1,2	0,0	20,9	60,6	9,5	10,0	22,4	2,8	2,5	6,5
35	4,0	2,00	3,0	6,7	12,0	6,7	0,0	13,5	26,8	30,9	1,2	0,0	21,8	64,6	9,7	9,9	22,2	2,8	2,5	6,5
35	4,0	2,50	3,0	8,6	12,0	8,6	0,0	14,2	34,4	33,6	1,2	0,0	23,8	73,0	10,0	9,8	21,7	2,9	2,4	6,5
35	4,0	3,00	3,0	10,6	12,0	10,6	0,0	14,9	42,3	36,3	1,2	0,0	25,8	81,7	10,4	9,7	21,4	2,9	2,4	6,5

f_%	L	p	H	Ap_W	Ap_S	Ap_E	Af	A_mur	Vol_port	G_DIC	Φsdg	Φsmv	Fs	Lbm	Lhm	tsng	ts	Φsb	Φsa	Φtot
35	4,0	1,50	3,0	4,9	12,0	4,9	0,0	12,8	19,6	24,8	1,1	0,0	17,4	56,7	9,3	7,3	18,3	1,6	2,2	4,9
35	4,0	1,75	3,0	5,8	12,0	5,8	0,0	13,1	23,1	25,8	1,1	0,0	18,1	60,6	9,5	7,2	18,0	2,5	2,2	5,7
35	4,0	2,00	3,0	6,7	12,0	6,7	0,0	13,5	26,8	26,8	1,1	0,0	18,9	64,6	9,7	7,1	17,7	2,5	2,2	5,7
35	4,0	2,50	3,0	8,6	12,0	8,6	0,0	14,2	34,4	28,8	1,1	0,0	20,4	73,0	10,0	7,0	17,2	2,5	2,1	5,6
35	4,0	3,00	3,0	10,6	12,0	10,6	0,0	14,9	42,3	31,0	1,1	0,0	22,0	81,7	10,4	6,9	16,8	2,5	2,0	5,6

f_%	L	p	H	Ap_W	Ap_S	Ap_E	Af	A_mur	Vol_port	G_GEN	Φsdg	Φsmv	Fs	Lbm	Lhm	tsng	ts	Φsb	Φsa	Φtot
35	4,0	1,50	3,0	4,9	12,0	4,9	0,0	12,8	19,6	27,8	1,2	0,0	19,5	56,7	9,3	6,0	18,4	1,8	2,5	5,4
35	4,0	1,75	3,0	5,8	12,0	5,8	0,0	13,1	23,1	29,0	1,2	0,0	20,4	60,6	9,5	6,0	18,1	2,8	2,5	6,4
35	4,0	2,00	3,0	6,7	12,0	6,7	0,0	13,5	26,8	30,1	1,2	0,0	21,2	64,6	9,7	5,9	17,8	2,8	2,4	6,4
35	4,0	2,50	3,0	8,6	12,0	8,6	0,0	14,2	34,4	32,6	1,2	0,0	23,0	73,0	10,0	5,7	17,3	2,8	2,4	6,3
35	4,0	3,00	3,0	10,6	12,0	10,6	0,0	14,9	42,3	35,1	1,2	0,0	24,9	81,7	10,4	5,6	16,9	2,8	2,3	6,3

f_%	L	p	H	Ap_W	Ap_S	Ap_E	Af	A_mur	Vol_port	G_FEB	Φsdg	Φsmv	Fs	Lbm	Lhm	tsng	ts	Φsb	Φsa	Φtot
35	4,0	1,50	3,0	4,9	12,0	4,9	0,0	12,8	19,6	31,6	1,2	0,0	22,3	56,7	9,3	6,5	20,5	2,0	2,9	6,1
35	4,0	1,75	3,0	5,8	12,0	5,8	0,0	13,1	23,1	33,2	1,2	0,0	23,4	60,6	9,5	6,4	20,3	3,2	2,8	7,3
35	4,0	2,00	3,0	6,7	12,0	6,7	0,0	13,5	26,8	34,8	1,2	0,0	24,6	64,6	9,7	6,3	20,1	3,2	2,8	7,3
35	4,0	2,50	3,0	8,6	12,0	8,6	0,0	14,2	34,4	38,1	0,6	0,0	27,6	73,0	10,0	6,2	20,0	3,3	2,8	6,8
35	4,0	3,00	3,0	10,6	12,0	10,6	0,0	14,9	42,3	41,5	0,6	0,0	30,2	81,7	10,4	6,0	19,7	3,4	2,8	6,8

TAB. 12.7 - Risultati dell'applicazione del metodo 5000 al portico solare.

Si tenga presente però che anche la falda di un tipico portico contribuisce ad una buona dispersione termica in quanto non isolata; occorre quindi isolare quanto più possibile la falda del tetto per limitare gli scambi di calore tra portico e ambiente esterno. Di questo fatto se ne tiene conto nel calcolo del coefficiente  $L_{bm}$ ; si è assegnato una  $U$  pari a 0,34 quale trasmittanza imposta dalla normativa per le pareti opache non verticali. In TAB.12.7, il foglio di calcolo riportato, contiene i valori degli apporti energetici considerando il portico chiuso su tre lati da un serramento costituito da un sistema vetrato a bassa trasmittanza. Tali valori, inoltre sono stati riportati nel grafico di FIG. 12.13.

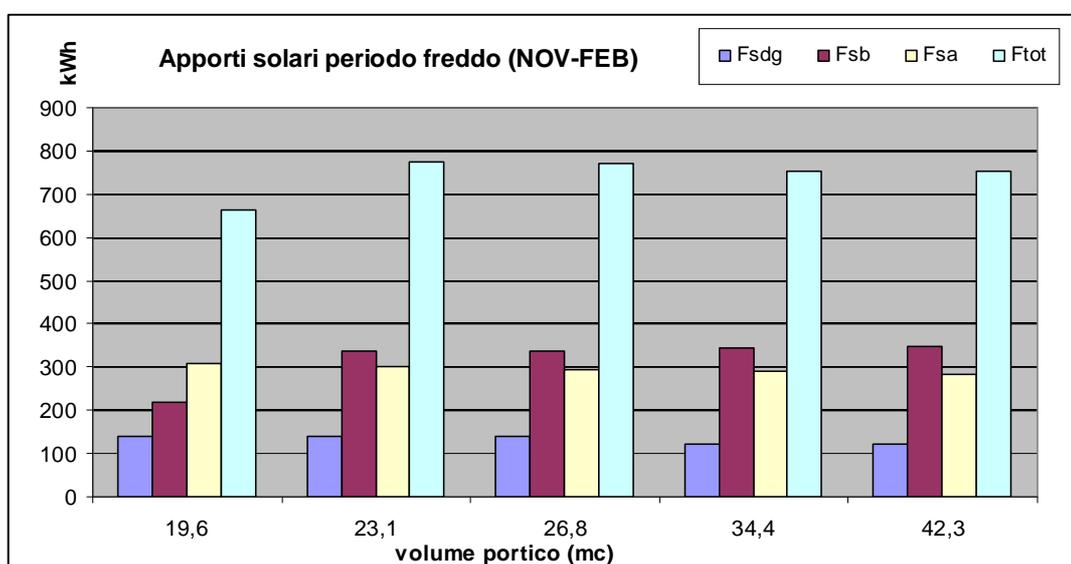


Fig.12.13 – Metodo 5000. apporti energetici nel periodo freddo del portico solare.

Successivamente si è provato a vedere come variano gli apporti solari con un sistema vetrato più semplice. Utilizzare un vetro semplice sicuramente ha dei costi inferiori a scapito della dispersione di calore che si genera. Tuttavia un vetro semplice ha un coefficiente di trasmissione solare più alto. Si sono usati nei calcoli un valore di  $U_s = 3,5 \text{ kW/m}^2\text{K}^\circ$  e un  $F_s = 0,80$ .

f_%	L	p	H	Vol_port	Fsdg	Fsb	Fsa	Ftot
35	4,0	1,50	3,0	19,6	-7%	-35%	-35%	-29%
35	4,0	1,75	3,0	23,1	-7%	-35%	-35%	-30%
35	4,0	2,00	3,0	26,8	-7%	-35%	-35%	-30%
35	4,0	2,50	3,0	34,4	-7%	-36%	-36%	-31%
35	4,0	3,00	3,0	42,3	-7%	-36%	-36%	-32%

TAB. 12.8 - Metodo 5000: Variazione % degli apporti solari variando la trasmittanza e il fattore solare, rispettivamente, da  $U=2,2 \text{ kW/m}^2\text{K}^\circ$  e  $F_s = 0,75$  a  $U=3,5 \text{ kW/m}^2\text{K}^\circ$  e  $F_s=0,85$ .

Dalla tabella TAB. 12.8 si evince subito che per un portico solare un vetro a bassa resistenza termica comporta una perdita degli apporti solari di circa il 30% indipendentemente dalla profondità dello stesso.

E' da tener conto però che le temperature di esercizio all'interno del portico scendono di un po' di gradi, così come mostrato nel grafico di FIG. 12.14 pertanto se tale portico assolve anche a funzioni di soggiorno, una diminuzione di temperatura potrebbe risultare non gradita dal punto di vista del confort ambientale.

E' interessante notare come la temperatura media, almeno per il sistema vetrato a bassa trasmittanza, praticamente è la stessa sia per il portico che per la serra solare. Si riportano, infine, su di un ulteriore grafico i valori messi a confronto degli apporti solari di una serra e di un portico solare per l'intero periodo freddo NOV-FEB.

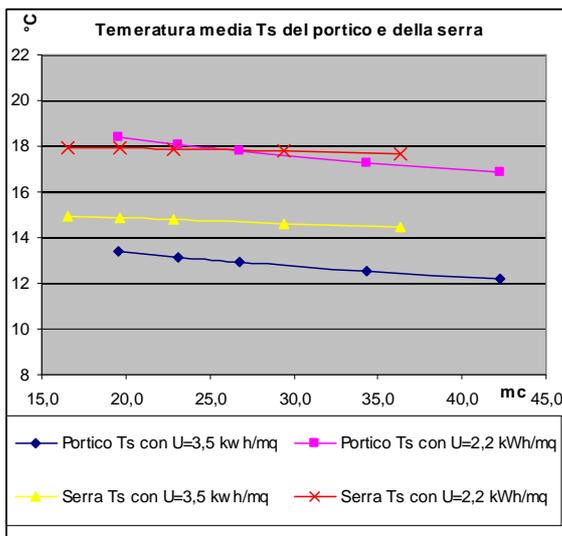


FIG. 12.14 – Temperature medie ts nel mese di gennaio del portico e della serra solare

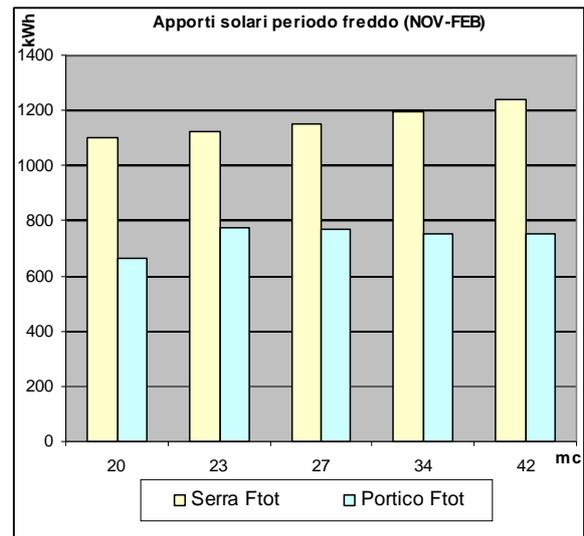


FIG. 12.15 – Confronto degli apporti solari Portico - serra

Dal confronto degli apporti solari invece la differenza è più evidente, un portico è meno efficiente da un punto di vista energetico in inverno in quanto, rispetto alla serra, i suoi guadagni solari sono minori di circa il 40%.

Tuttavia in estate i fenomeni di surriscaldamento sono evidentemente annullati se si riescono ad aprire completamente i sistemi vetrati. Rispetto alla serra, quindi, si ha un tipo di confort utile più distribuito nell'arco dell'anno.

### 12.3.3 Accorgimenti costruttivi per una migliore compatibilità architettonica del portico solare.

Attraverso questo sistema costruttivo la compatibilità architettonica di un sistema solare con il resto del sistema costruito verrebbe ad essere completamente soddisfatta in quanto non si tratta di accostare due elementi completamente diversi fra loro, si tratta semplicemente di reinterpretare un sistema costruttivo già presente nell'architettura tradizionale. Ovviamente anche per il portico solare, così come per la serra, vanno presi opportuni accorgimenti, da valutare caso per caso o comunque tenendo presenti già quelli fin qui esposti. Tenendo conto che il portico tradizionale è costituito da colonne di mattoni pieni, è bene che questi restino in vista quanto più possibile, così pure la trave di legno superiormente a sostenere gli arcarecci. Verranno quindi preferiti sistemi vetrati in cui il telaio è ridotto al minimo e in modo che il portico sia completamente apribile nella stagione estiva. Esistono diverse aziende che producono sistemi vetrati che possono piegarsi su se stessi fino ad impacchettarsi completamente come si evidenzia nelle figure successive.

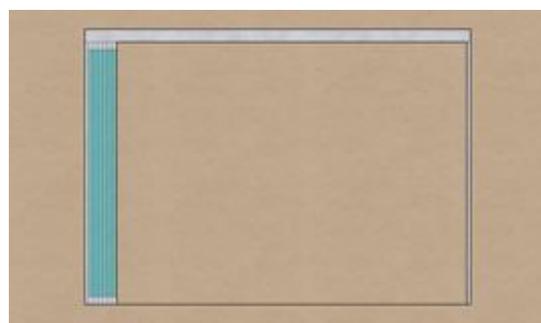
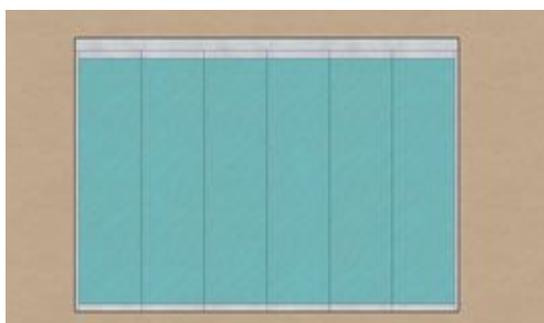


FIG. 12.16 – Esempi di portico solare e sistemi vetrati mobili

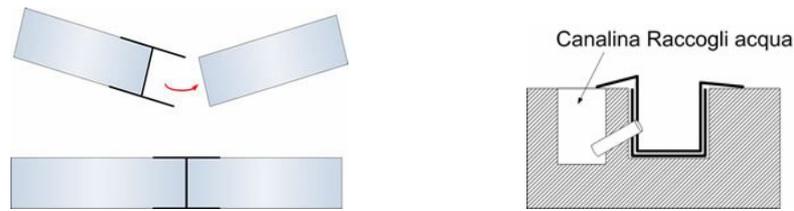


FIG. 12.17 – Dettagli costruttivi di alcuni sistemi vetrati mobili.

Infine può porsi attenzione anche al tipo di pavimentazione usata. Infatti è stato detto in precedenza che del portico è soleggiato soprattutto il pavimento in inverno e che occorre usare un pavimento isolato ad alta inerzia termica. Osservando i vecchi portici, si nota che quest'espedito era già noto in quanto la maggior parte utilizzavano il mattone pieno come pavimentazione. Nel caso di un portico solare sarà pertanto da privilegiare un pavimento in cotto.

#### 12.4 Il muro di Trombe

Il sistema di parete prende il nome dal suo inventore Felix Trombe il quale negli anni '60 ha ideato e sperimentato un collettore solare a parete.

Questo è costituito da una muratura massiccia, in laterizio, in pietra o in calcestruzzo

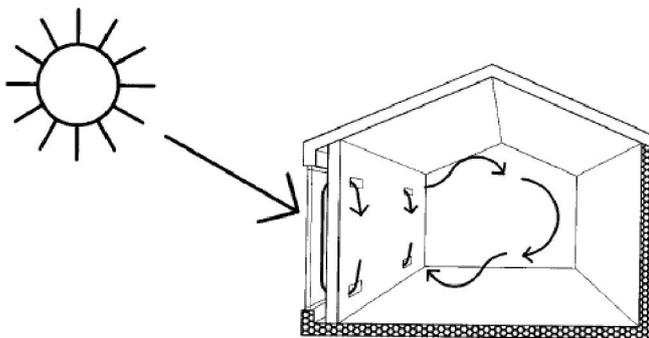


FIG. 12.18 – Schema di funzionamento del muro di Trombe.

(massa di accumulo) e protetta da una lastra a doppio vetro posta a 5-10 cm di distanza.

La radiazione solare intrappolata per effetto serra dietro il vetro, viene trasformata in calore poi

ceduto al muro termico vero e proprio e parte all'aria dell'intercapedine. La parete, generalmente dipinta di colore scuro per favorire l'azione solare, è dotata di aperture, in alto e in basso, per permettere per la ventilazione. L'aria calda, che tende sempre a salire, entra all'interno dell'edificio passando dai fori superiori, richiamando nell'intercapedine l'aria fredda dell'interno. D'inverno, le aperture, spalancate durante il giorno, vengono chiuse la sera e, nella notte, la parete restituisce il calore accumulato durante la giornata.

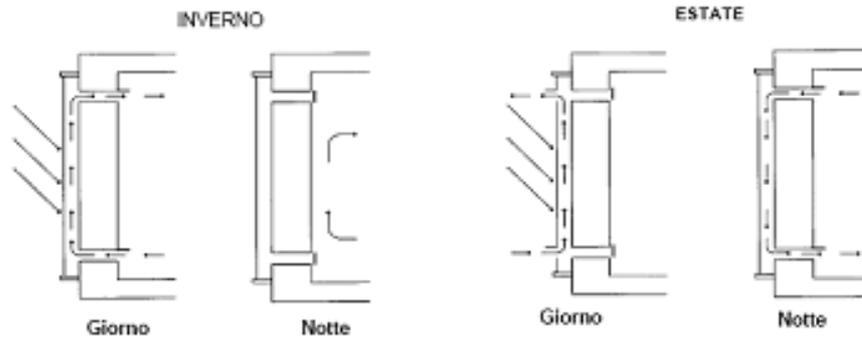


FIG. 12.19 – Schema di funzionamento del muro di Trombe in inverno ed in estate.

D'estate, durante il giorno restano chiuse le aperture e viene invece aperta una parte della vetrata, mentre nelle ore notturne vengono aperti i fori e l'aria calda dell'interno entra nell'intercapedine dall'alto. Si raffredda e ritorna nell'appartamento uscendo dal basso. In generale le oscillazioni della temperatura dell'aria interna diminuiscono all'aumentare dello spessore del muro termico.

L'inserimento di un muro di trombe nell'architettura tradizionale risulta essere ancora più delicato. Nonostante si potrebbe ipotizzare la sua forma assimilabile a quella di una finestra, risulterebbe alquanto poco gradito l'inserimento di questo elemento in una parete, quale quella esposta a sud, in quanto già studiata con il massimo di aperture. Pertanto se il prospetto mancasse di aperture secondo gli schemi e allineamenti dettati dal resto degli altri vuoti, potrebbe ipotizzarsi l'inserimento di un muro di trombe ricalcando lo schema geometrico e materico dei serramenti.



Tuttavia, considerando che le pareti esterne di un edificio tradizionale devono essere isolate con un cappotto esterno, è possibile riquadrare nello spessore dell'isolamento un muro di trombe in modo da avere la parte vetrata a filo di parete. Inoltre il telaio del sistema vetrato può essere eseguito con montanti di legno, come mostrato nella figura accanto. Si tenga presente che un sistema così fatto permette di sviluppare una superficie molto maggiore rispetto all'inserimento di una "finta finestra".

FIG. 12.19 – Applicazione del muro di Trombe.

## **13 Aspetti normativi sull'efficienza e la Certificazione energetica**

La Direttiva 2002/91/CE del Parlamento e del Consiglio Europeo sul rendimento energetico nell'edilizia introduce importanti novità nell'ambito del risparmio di energia negli edifici con molteplici finalità come la tutela dell'ambiente, la riduzione delle emissioni inquinanti, l'indipendenza da fonti energetiche provenienti da paesi diversi. Entrando più in dettaglio la direttiva dispone:

- l'adozione di un quadro generale e una metodologia per il calcolo del rendimento energetico integrato degli edifici
- l'applicazione di requisiti minimi in materia di prestazioni energetiche sia degli edifici di nuova costruzione che a quelli esistenti di grande metratura sottoposti a ristrutturazione.
- la certificazione energetica degli edifici.
- l'ispezione periodica di caldaie ed impianti di condizionamento d'aria negli edifici, nonché una perizia degli impianti
- termici (art. 8 e 9)

Ad ogni stato europeo si chiedeva di recepire questa direttiva all'interno di norme a carattere nazionale, in modo tale da garantire una maggiore sensibilità alle specificità del clima di ciascun paese e rendere così operativa la direttiva.

### **13.1 Normativa italiana di riferimento: Dlgs 192/05 e s.m.i.**

In Italia il decreto legislativo 192/05 recepisce la predetta Direttiva 2002/91/CE e tende a migliorare le prestazioni energetiche degli edifici, contribuendo nel contempo a valorizzare ed integrare le fonti rinnovabili e la diversificazione energetica conseguendo gli obiettivi nazionali posti dal protocollo di Kyoto. Ad oggi, per la valutazione della prestazione energetica di un edificio, si fa riferimento a questo Decreto e alle successive modifiche ed integrazioni.

Considerando che, prima dell'entrata in vigore del D.Lgs 192/05, già la Legge 10/91 ed il D.P.R. 412/93, con le successive modifiche ed integrazioni, comprendevano, in parte, quanto successivamente previsto dalla direttiva 2002/91/CE, il Decreto, intende completarne l'attuazione disciplinando in particolare:

- La metodologia per il calcolo delle prestazioni energetiche integrate degli edifici;

- L'applicazione di requisiti minimi in materia di prestazioni energetiche degli edifici;
- I criteri generali per la certificazione energetica degli edifici;
- Le ispezioni periodiche degli impianti di climatizzazione;
- I criteri per garantire la qualificazione e l'indipendenza degli esperti incaricati della certificazione energetica e delle ispezioni degli impianti;
- La raccolta delle informazioni e delle esperienze, delle elaborazioni e degli studi necessari all'orientamento della politica energetica del settore;
- La promozione dell'uso razionale dell'energia anche attraverso l'informazione e la sensibilizzazione degli utenti finali, la formazione e l'aggiornamento degli operatori del settore.

Il Decreto, si applica integralmente, come indicato all'articolo 3, agli edifici di nuova costruzione ed agli edifici esistenti oggetto di ristrutturazione integrale o di demolizione e ricostruzione, purché abbiano superficie utile superiore a 1000 m<sup>2</sup>.

Inoltre è prevista un'applicazione limitata:

1. Al solo ampliamento dell'edificio, nel caso in cui tale ampliamento risulti volumetricamente superiore al 20% dell'intero edificio esistente;
2. Nel caso delle ristrutturazioni totali o parziali e della manutenzione straordinaria dell'involucro edilizio;
3. Nel caso di nuova installazione di impianti termici in edifici esistenti o ristrutturazione degli stessi impianti;
4. Sostituzione di generatori di calore

Sono esclusi dal campo di applicazione gli edifici che ricadono nel campo di applicazione del Codice dei beni Culturali e del paesaggio (D.Lgs 42/04) quando il rispetto delle prescrizioni implicherebbe un'alterazione inaccettabile delle stesse caratteristiche dei beni sottoposti a tutela. Sono inoltre esclusi i fabbricati isolati con superficie utile totale inferiore a 50 m<sup>2</sup> ed i fabbricati industriali, artigianali ed agricoli non residenziali quando gli ambienti sono riscaldati per esigenze del processo produttivo o utilizzando reflui energetici del processo produttivo non altrimenti utilizzabili.

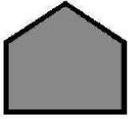
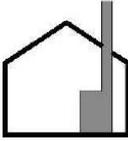
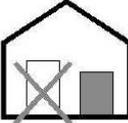
Ambiti d'intervento - (Art. 3, DLgs 192/05)			
	edifici di nuova costruzione e impianti in essi contenuti (comma 1)		ampliamenti con un volume > 20% del volume dell'edificio stesso (comma 2, lett. b)
	nuova installazione di impianti termici in edifici esistenti o ristrutturazione degli stessi impianti (comma 2, lett. c,2)		ristrutturazioni integrali degli elementi d'involucro e demolizioni e ricostruzioni in manutenzione straordinaria di edifici esistenti con superficie utile > 1000 m <sup>2</sup> (comma 2, lett. a)
	sostituzione di generatori di calore (comma 2, lett. c,3)		ristrutturazioni totali o parziali e manutenzioni straordinarie dell'involucro per tutti i casi diversi dai due sopra descritti (comma 2, lett. c,1)

FIG. 12.1 – Ambiti d'intervento art. 3 D.Lgs. 192/05

Il D.Lgs 192/05, rinviava l'individuazione dei criteri generali, le metodologie di calcolo e i requisiti minimi finalizzati al contenimento dei consumi di energia ad un successivo decreto entrato in vigore solo da qualche mese. Tali norme emanate con DPR 59/09 hanno la finalità di promuovere un'applicazione omogenea, coordinata e *immediatamente operativa* in materia di efficienza energetica sul territorio nazionale definendo le metodologie, i criteri e i requisiti minimi di edifici e impianti relativamente alla:

- climatizzazione invernale, praticamente confermando quando già esplicitato dal D.L.gs 192/05;
- preparazione di acqua calda per usi sanitari, anche se non si chiariscono le modalità di attuazione e utilizzazione delle fonti rinnovabili.
- climatizzazione estiva: la principale novità rispetto al DLgs 192/05.

La precedente legge 10/91 e il D.P.R. 412/93 restano ancora validi, per quanto applicabili, e comunque solo determinati articoli.

Il D.Lgs. 192/2005, nonché le ulteriori norme del DPR 59/09, avranno validità fintanto che le Regioni e le Province autonome non recepiranno direttamente la direttiva con proprie leggi regionali e con relativi regolamenti di attuazione. Lo scopo è quindi quello che le regioni, delegate a legiferare nel campo energetico, consapevoli delle proprie risorse energetiche, dei consumi e delle particolarità del clima, attuino una normativa mirata ed efficace, pur rimanendo in linea con i principi generali della direttiva europea e della normativa nazionale.

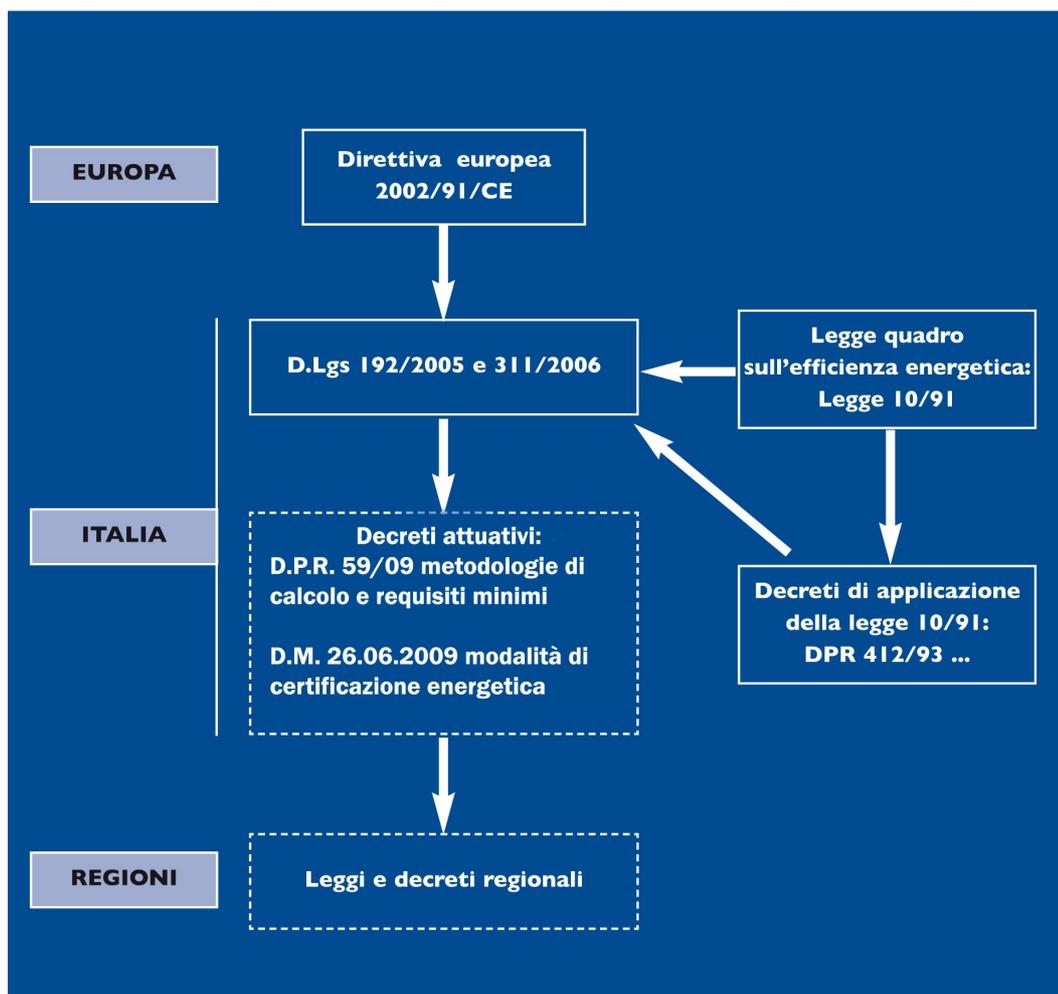


FIG. 12.2 – Schema quadro normativo

Per quanto riguarda l'adozione della metodologia di calcolo delle prestazioni energetiche vengono introdotti nuovi metodi di calcolo secondo le norme UNI TS 11300. Nel caso generale di nuova costruzione o ristrutturazione integrale di edifici con superficie utile superiore a 1000 m<sup>2</sup> occorre verificare che l'indicatore di prestazione energetica  $E_{p,i}$ , cioè il fabbisogno di energia primaria per la climatizzazione invernale, espresso in kWh/m<sup>2</sup> di superficie utile sia inferiore a quello limite scaturente dalla Tab.1 dell'Allegato C al D.Lgs. 192/05.

TABELLA 1.3	EP <sub>i</sub> limite dal 1 gennaio 2010 (valori in kWh/m <sup>2</sup> anno)									
	Zona climatica									
	A	B		C		D		E		F
	<600 GG	601 GG	900 GG	901 GG	1400 GG	1401 GG	2100 GG	2101 GG	3000 GG	>3000 GG
≤0.2	8.5	8.5	12.8	12.8	21.3	21.3	34	34	46.8	46.8
≥0.9	36	36	48	48	68	68	88	88	116	116

Tab. 12.1 - Valori dell'EPi lim - Allegato C D.Lgs. 192/05

I valori della tabella sono espressi in funzione della zona climatica, così come individuata all'articolo 2 del DPR 412/1993 e del rapporto di forma dell'edificio S/V.

Per i valori di S/V compresi nell'intervallo 0,2 – 0,9 e analogamente per gradi giorno (GG) intermedi ai limiti delle zone climatiche riportati in tabella si procede tramite interpolazione lineare. Perciò ai fini della verifica di legge, il valore del  $E_{p_i}$  calcolato deve essere minore di quello riportato in tabella 1 dell'allegato C.

Per la climatizzazione estiva invece  $E_{p_{e, invol}} \leq E_{pe, invol lim}$ , dove  $E_{p_{e, invol}}$  rappresenta la prestazione energetica per il raffrescamento estivo dell'involucro edilizio pari al rapporto tra il fabbisogno annuo di energia termica per il raffrescamento dell'edificio, calcolata tenendo conto della temperatura di progetto estiva secondo la norma UNI/TS 11300-1, e la superficie utile dell'edificio per gli edifici residenziali.

Per gli edifici residenziali  $E_{pe, invol lim}$  vale:

- 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

Tali valori però interessano poco per ciò che riguarda l'architettura rurale, o comunque quella tradizionale in genere, in quanto anche in caso di ristrutturazione totale, raramente si è in presenza di edifici superiori a 1000 mq.

In particolare l'art. 4 del DPR 59/09 detta tutta una serie di regole da applicarsi a seconda degli abiti applicativi dell'art. 3 del D.Lgs 192/05 (nuove costruzioni, ristrutturazioni, ecc) che in parte sostituiscono l'Allegato C e l'Allegato I precedentemente richiamati.

In particolare per le ristrutturazioni riguardanti l'involucro si deve tener presente la trasmittanza degli elementi opachi secondo quelle limiti in riferimento alle varie zone climatiche, come indicato nelle tabelle 2, 3 e 4 dell'Allegato C.

Zona Climatica	Tab 2.1 Strutture opache verticali	Tab 3.1 Strutture opache orizzontali o inclinate	Tab 3.2 Pavimenti non riscaldati o esterno	Tab 4.a Chiusure trasparenti	Tab 4.b Vetri
A	0.62	0.38	0.65	4.6	3.7
B	0.48	0.38	0.49	3.0	2.7
C	0.4	0.38	0.42	2.6	2.1
D	0.36	0.32	0.36	2.4	1.9
E	0.34	0.30	0.33	2.2	1.7
F	0.33	0.29	0.32	2.0	1.3

TAB 12.2 - Valori limite della trasmittanza termica U espressa in W/m<sup>2</sup>K in vigore dal 01.01.2010

Tali trasmittanze per gli edifici realizzati con tecniche tradizionali risultano di difficile realizzazione, come meglio si vedrà nel prossimo paragrafo, soprattutto per le pareti verticali. Infatti quando le coperture sono completamente fatiscenti, e soprattutto per una questione di normativa sismica, le coperture devono essere completamente sostituite. Pertanto se non si hanno problemi di altezze e di volumetrie, un pacchetto di copertura completamente nuovo non denota particolari problemi realizzativi. La stessa cosa vale pure per gli infissi, non sempre però si riesce a ottenere bassi valori della trasmittanza per le murature in pietra.

L'altro requisito fondamentale, ai fini del contenimento delle prestazioni energetiche estive, ad esclusione delle zone F, nelle località dove il valore medio mensile dell'irradianza sul piano orizzontale, nel mese di massima insolazione, sia maggiore o uguale a  $250 \text{ W/m}^2$ , la massa superficiale  $M_s$  delle pareti opache, verticali, orizzontali ed inclinate sia superiore a  $230 \text{ Kg/m}^2$ , valore completamente verificato per la muratura pesante.

Per tutti gli edifici e gli impianti termici nuovi o ristrutturati, è prevista l'installazione di dispositivi per la regolazione automatica della temperatura ambiente nei singoli locali o nelle singole zone aventi caratteristiche di uso ed esposizioni uniformi, al fine di non determinare sovrariscaldamento per effetto degli apporti solari e degli apporti gratuiti interni.

Altre conferme, rispetto al precedente decreto riguardano l'obbligo dell'inserimento del solare termico per la produzione di Acqua Calda Sanitaria, con una copertura di tale fabbisogno pari al 50%, ridotta al 20% nei centri storici. Per quanto riguarda l'installazione dei moduli fotovoltaici, invece, se ne conferma l'obbligatorietà ma la potenza da installarsi sarà definita da un apposito decreto.

### **13.2 Problemi normativi dovuti alla trasmittanza imposta**

Una delle problematiche che si vuole mettere in evidenza in questo paragrafo è come le trasmittanze limite imposte siano al quanto forzate per le tipologie edilizie rurali o comunque per quelle tradizionali anteguerra.

Queste ultime, generalmente, hanno solai di copertura in legno o comunque orizzontamenti che in fase di recupero vanno adeguatamente consolidati e/o in alcuni casi sostituiti. Realizzare un solaio isolato con le trasmittanze imposte, equivale ad aggiungere al pacchetto stesso degli strati di materiale isolante, sempre che non ci siano da rispettare. Infatti lo spessore del pacchetto potrebbe portare ad un innalzamento della linea di colmo, o viceversa di abbassare l'altezza utile interna. Risulta evidente quindi che la sostituzione degli orizzontamenti di copertura, quando questi non presentano caratteristiche di pregio architettonico e strutturale, con nuovi pacchetti è una soluzione che non presenta grandi problemi.

Per quanto riguarda gli infissi, invece, la sostituzione, almeno per la gran quantità di casi osservati, è necessaria. Tuttavia, come già visto nel Cap. 10 quando si rinvencono sistemi di chiusura con sportelloni interni, questi potrebbero essere opportunamente conservati e restaurati in modo da migliorare la resistenza termica dell'infisso. Tuttavia per quegli edifici che presentano ancora infissi in buone condizioni è pensabile, qualora per lo spessore dei telai lo permettano, sostituire i vecchi vetri con pacchetti vetrocamera a bassa trasmittanza.

Tuttavia per le pareti verticali l'applicazione di materiali isolanti che possono riportare la trasmittanza a quella limite può alterare completamente quelle che sono i segni caratteristici della ruralità. Una parete esistente può essere isolata termicamente aggiungendo altri strati di materiali con bassa conducibilità termica. Se gli strati isolanti sono apposti all'esterno, in modo da realizzare un isolamento di tipo a cappotto, si cancellano quindi tutti i segni architettonici che contraddistinguono l'architettura rurale. Se si considera che tutte le bucatore, siano esse vani finestra o vani porta, generalmente sono contornati di elementi lapidei o laterizi a formare i portali. Le finestre che generalmente sono contornate da mazzette di mattoni pieni e da davanzali in pietra lavorata verrebbero completamente coperti da un isolamento a cappotto. Infatti è proprio sulle bucatore il problema maggiore ad evitare i ponti termici. Lo strato isolante infatti non può interrompersi bruscamente laddove ci sia un'apertura, bensì risvoltare sugli spigoli di questa a formare una L. Si genera quindi un problema sia per la mazzetta sia per il davanzale. Quest'ultimo potrebbe essere

smontato in modo da inserire uno strato di isolante al di sotto del piano di posa. Pensare però di smontare davanzali e portali potrebbe essere un problema dal punto di vista strutturale in quanto questi elementi sono stati ammorsati nella muratura durante elevazione della parete stessa. La loro asportazione, pertanto, potrebbe risultare ancora più gravosa tecnicamente se inseriti in una muratura di pietra. Un'ulteriore difficoltà inoltre è costituita dalla conservazione della tipologia dell'infisso a filo di parete che verrebbe a trovarsi praticamente sostenuto solo dal davanzale e dallo strato isolante. Occorrerebbe quindi progettare e realizzare un infisso scatolare che con un telaio ancorato alla muratura si prolunghi fino allo strato isolante esterno.

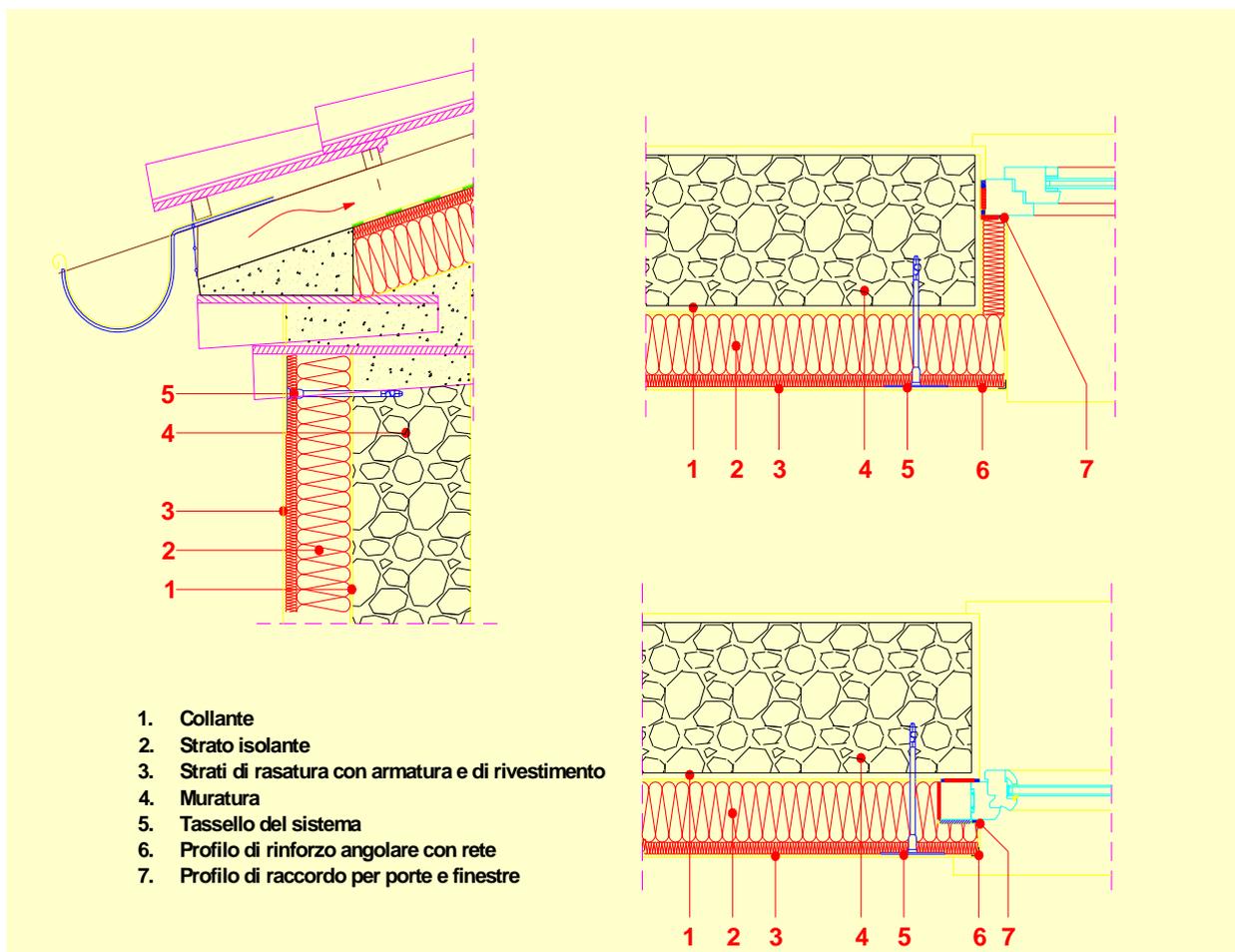


FIG. 12.3 – Esempi applicazioni del cappotto esterno in prossimità di bucatore e romanelle.

Nella Fig. 12.3 vengono riportati due esempi di come poter eliminare un ponte termico alle bucatore.

Un altro problema che presentano la gran parte delle architetture rurali all'apposizione del cappotto esterno sono le romanelle: cornicioni realizzati con filari di coppi sovrapposti a sbalzo.

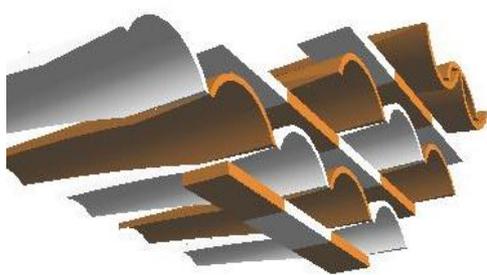


FIG. 12.4 – Schema di romanella.



FIG. 12.5 – Romanelle.

In presenza di questi sistemi architettonici il ponte termico praticamente non è eliminabile, anzi la realizzazione stessa del cappotto esterno è alquanto problematica se l'esigenza di conservazione della romanella è prevalente. Generalmente il primo filare di coppi sporge di almeno 10 cm rispetto al filo del muro pertanto lo strato isolante dovrà necessariamente interrompersi al di sotto di questo. Il risultato è che il primo filare si troverà a sporgere di qualche centimetro al di fuori della muratura o verrà completamente nascosto dallo strato finale di rasatura del cappotto. Converrebbe quindi coprire completamente il primo filare e aggiungerne un nuovo più esterno. L'immagine che ne consegue altera certamente l'aspetto e le proporzioni geometriche di una tipica romanella. Invece, per le romanelle ormai compromesse, dove resta solo una blanda leggibilità di ciò che era si può pensare di ricostruire una romanella più sporgente rispetto al filo della nuda muratura, avendo cura di realizzarla con opportuni chiodi di ancoraggi alla muratura, in modo che dopo la realizzazione del cappotto esterno l'aspetto estetico non risulti compromesso. Tutto ciò, ovviamente è fattibile in mancanza di specifici vincoli di tutela, ma comunque da un punto di vista filologico non sarebbe certamente un'operazione corretta in quanto si va a realizzare un falso elemento architettonico.

Pertanto in presenza di architetture al quanto povere è pur lecito agire nel recupero dell'immagine inserendo qualche elemento architettonico ricostruito, ma per quelle architetture più di pregio non sarebbe alquanto rispettoso nell'ottica de tutela e di conservazione del monumento.

Come già visto nel Cap. 6 le murature tradizionali presentano una trasmittanza termica notevole siano esse in pietrame calcareo o in mattoni. Nella tabella che segue viene riportato il calcolo della trasmittanza di una parete in pietra considerandola realizzata a sacco, cioè composta di tre strati di pietrame, quello esterno di materiale più compatto e di maggiori pezzature, il sacco intermedio realizzato con pietrame di più bassa pezzatura legato con calce e abbondante materiale arenario, e lo strato della parete interna. Si è considerato una conducibilità diversa per ogni strato a secondo della loro costituzione. Infine si è considerato anche lo strato di intonaco sia interno che esterno, ma la resistenza termica offerta da quest'ultimo è da ritenersi quasi trascurabile. Si è notato inoltre che nonostante l'incertezza della conducibilità termica reperita in diverse bibliografie, questa resta comunque alta. Infatti una parete di 70 cm di pietra calcarea, potrebbe avere una trasmittanza che varia tra 1,2 e 1,5 W/m<sup>2</sup>K. Per una parete in mattoni pieni di 40 cm di spessore, il valore della trasmittanza non si discosta di molto dal precedente; tuttavia sistemi murari realizzati con elementi ad occhialoni, oppure misti con occhialoni e mattoni pieni, rendono necessaria, caso per caso, la misura della trasmittanza reale ottenuta con appositi termoflussimetri.

Tipo materiale	Conducibilità termica $\lambda$	Spessore s	Resistenza termica strato
[Descrizione]	[W/(m °K)]	[m]	[(m <sup>2</sup> °K)/W]
strato laminare esterno			0,04
intonaco di malta con calce e cemento	0,9	3	0,03
Muratura di pietrame paramento esterno	1,6	25	0,16
Muratura di pietrame (sacco interno)	1,1	20	0,18
Muratura di pietrame paramento interno	1,4	25	0,18
Intonaco di malta di calce e gesso	0,9	3	0,03
Strato laminare interno			0,13
	<b>TOT</b>	<b>76</b>	<b>0,75</b>
		<b>U[W/(m<sup>2</sup> °K)]</b>	<b>1,33</b>

TAB 12.3 - Valori della trasmittanza U espressa in W/m<sup>2</sup>K per una parete in pietra calcarea.

Tipo materiale	Conduttività termica $\lambda$	Spessore s	Resistenza termica strato
[Descrizione]	[W/(m °K)]	[m]	[(m <sup>2</sup> °K)/W]
strato laminare esterno			0,04
intonaco di malta con calce e cemento	0,9	2	0,02
Muratura di mattoni pieni	0,8	40	0,50
Intonaco di malta di calce e gesso	0,9	2	0,02
Strato laminare interno			0,13
	<b>TOT</b>	<b>44</b>	<b>0,71</b>
		<b>U[W/(m<sup>2</sup> °K)]</b>	<b>1,40</b>

TAB 12.5 - Valori della trasmittanza U espressa in W/m<sup>2</sup>K per una parete in mattoni pieni.

Tali valori della trasmittanza risultano molto elevati se paragonati a quelli imposti dall'attuale normativa. Pertanto si è pensato di riportare su dei grafici l'andamento del valore della trasmittanza U in funzione dello spessore dello strato isolante applicato ai due casi precedenti. Si è pensato inoltre di riportare sullo stesso grafico diverse curve corrispondenti a diversi valori della conducibilità  $\lambda$  dello strato isolante.

Si è infine inserita una retta rappresentante la trasmittanza limite  $U_{lim}$  che per la zona E, ossia per la zona di Campobasso, risulta essere pari a 0,34 W/m<sup>2</sup>K.

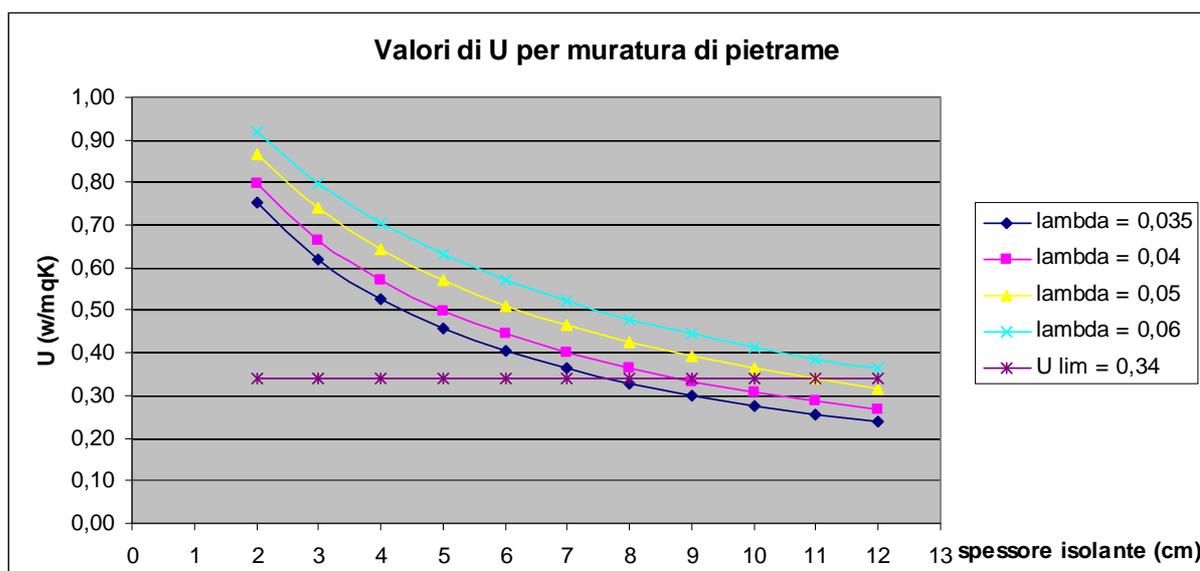


FIG. 12.6 - Valori della trasmittanza U per una parete in pietra calcarea di 70 cm di spessore al variare dello spessore degli isolanti con diverse conducibilità.

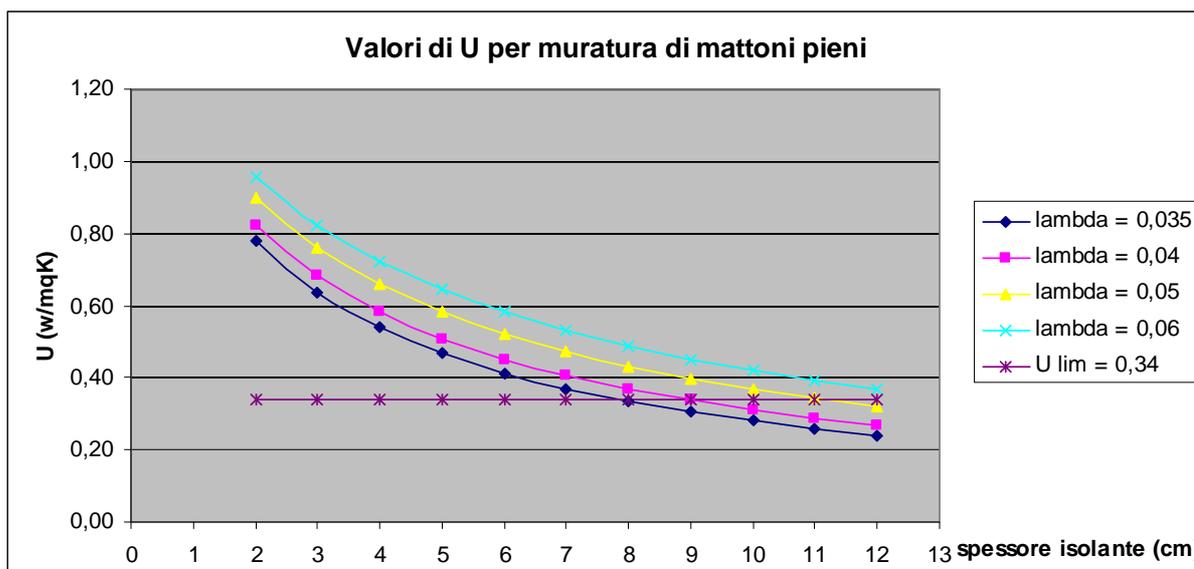


FIG 12.7 - Valori della trasmittanza U per una parete in mattoni pieni di 40 cm di spessore al variare dello spessore degli isolanti con diverse conducibilità.

Come si vede lo spessore dello strato isolante è davvero notevole, pertanto nasce anche un secondo problema di tipo tecnologico: l'aggrappo del strato isolate all'esistente. Infatti questo strato, nel tempo, potrebbe portare a fenomeni di ingobbamento, o comunque della non planarità della superficie esterna, con evidenti crepe e microlesioni nei giunti. Tutto questo è facilmente eliminabile inserendo nella rasatura esterna delle reti di fibre polimeriche o di vetro, o comunque di materiali facilmente reperibili in commercio, che consentono quel minimo di dilatazione termica soprattutto sulle pareti molto soleggiate.

Valori così bassi della conducibilità, ad es.  $\lambda = 0.035$ , corrispondono a quelli della lana di roccia e a quelli prodotti di sintesi. Ad esempio il pannello Coverrok 035 della Rocwool presenta un valore di  $\lambda = 0.036 \text{ W/m}^2\text{K}$ . mentre un pannello Styrodur C della Basf presenta un valore di  $\lambda = 0.036 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Tali valori abbastanza spinti rendono opportuno uno spessore di isolante di 8 cm per rimanere al disotto della trasmittanza limite della zona E.

Altri prodotti isolanti, forse di più facile applicazione per questi tipi di murature sono gli intonaci isolanti. Ad esempio, l'Eco Intonaco Clima Therm della C.T.S. presenta un valore di  $\lambda = 0.057 \text{ W/m}^2\text{K}$ , l'intonaco ergo termico Dacoterm della Maxfor presenta un valore di  $\lambda = 0.04 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Esistono anche altri isolanti naturali ed ecologici, tipo i pannelli Celenit, che ben si prestano ad un uso interno in quanto posseggono una capacità di accumulo termico molto superiore agli altri isolanti. Si

riporta, di seguito, parte della scheda tecnica del termo intonaco a base di calce ClimaTherm che ben si adatta ad una muratura in pietrame calcareo.



Ecologico	Deumidificante	Coibente
Traspirante	Salubre	Antimuffa naturale
Disinfettante	Antibatterico	Restauro
Versatile	NHL 5	Veloce
Facile	Resistente	Leggero
Riciclabile	Anticondensa	Privo di cemento

## Descrizione

**CLIMATHERM** è una malta biocompatibile preconfezionata **priva di cemento o dei composti appartenenti al gruppo del clinker**, costituita da una miscela di inerti puramente minerali espansi a basso peso specifico, vagliati con arco granulometrico continuo da 0 a 5 mm e **sola CALCE IDRAULICA NATURALE pura NHL 5 DI SAINT-ASTIER** conforme alla norma **UNI EN 459-1 di colore bianco**, prodotta mediante cottura a temperature inferiori ai 1250 °C di calcari silicei e ridotta in polvere mediante il solo spegnimento dell'ossido di calcio, **senza aggiunte di materiali pozzolanici o leganti idraulici di qualsiasi natura.**

## Dati tecnici

### Dati caratteristici generali

- \* TIPO DI PRODOTTO (UNI-EN 998 1-2004): Malta per isolamento termico e per risanamento (T - R).
- \* PH DELL'IMPASTO: > 12,5
- \* ACQUA D'IMPASTO (%): 65 circa
- \* RESA: 4 Kg/m<sup>2</sup> circa per 1 cm di spessore
- \* COEFFICIENTE DI RESISTENZA ALLA DIFFUSIONE DEL VAPORE: (μ) · 6
- \* CONDUTTIVITA' TERMICA: (W.m-1.K-1) 0.057
- \* PERMEABILITA' AL VAPORE ACQUEO = kg/(mxsxPa): 9,60 E -12
- \* POTERE FONOISOLANTE: Rw(C;Ctr) = 37 (0 ; -2) dB (murat. in mattoni in forati leggeri spess. cm 8 con int. tradizionale spess. mm 15 su un lato e CLIMATHERM spess. mm 30 sull'altro)
- \* REAZIONE AL FUOCO: Classe A1
- \* RESISTENZA ALLA COMPRESSIONE: > 1,0 Mpa
- \* CURVA GRANULOMETRICA: 0 - 4 mm
- \* MASSA VOLUMICA APPARENTE: (g/cm<sup>3</sup>) 0,420
- \* CONSERVAZIONE: fino a 18 -24 mesi nella confezione originale in luogo asciutto.
- \* MASSA VOLUMICA APPARENTE MALTA SECCA: (g/cm<sup>3</sup>) 0,350 ± 15%.
- \* MASSA VOLUMICA APPARENTE MALTA FRESCA: (g/cm<sup>3</sup>) 0,590 circa
- \* MASSA VOLUMICA APPARENTE MALTA ESSICATA: (g/cm<sup>3</sup>) 0,395 circa
- \* POROSITA' TOTALE: (%) >70

Alcune di queste case produttrici, però, consigliano di fare un doppio cappotto proprio per ridurre lo spessore dello strato esterno, cioè di realizzare un cappotto internamente e uno esternamente. Da un punto di vista del calcolo della trasmittanza termica i risultati sono identici in quanto tale calcolo è eseguito in regime termico stazionario, cioè i parametri ambientali al contorno restano fissi ed invariabili nell'arco dell'intera giornata. Isolare una parete pertanto risulterebbe non molto complicato dal punto di vista tecnico. Infatti con uno strato isolante di non più di 4-5 cm esternamente si potrebbero, non eliminare, ma comunque correggere la maggior parte dei problemi architettonici in precedenza elencati.

Tale soluzione sarebbe ancora più avvantaggiata se si elimina completamente il vecchio intonaco e lo si sostituisce con uno termoisolante in modo da guadagnare quei pochi centimetri di spessore. All'interno, invece, si potrebbero usare tutti i tipi di isolanti naturali ecocompatibili o comunque un intonaco termoisolante come all'esterno. Si avrebbe la perdita di piccole quantità di spazio, anche se i ponti termici non verrebbero del tutto eliminati, ma comunque corretti almeno quelli in presenza delle aperture.

Realizzare il cappotto isolante completamente all'interno è l'unica soluzione per gli amanti della parete in pietra faccia vista, esternamente non si avrebbero problemi architettonici di nessun tipo. Tuttavia da un punto di vista del comportamento termico dell'edificio le cose andrebbero analizzate molto più in dettaglio, non solo dal punto di vista termico, ma anche dal punto di vista della condensazione interstiziale.

Realizzare un cappotto completamente dall'interno non elimina il ponte termico in prossimità dei solai in quanto è il solaio stesso ad interrompere la continuità dello strato isolante. E' pensabile quindi di prolungare lo strato isolante dalla parete, sia sull'estradosso che sull'intradosso del solaio per una fascia di almeno 1m. Tutto ciò potrebbe andar bene per una costruzione eseguita in mattoni forati la cui capacità termica non è molto elevata, ma per una muratura massiccia ad alta capacità termica eseguire un cappotto dall'interno potrebbe essere alquanto sconsigliato.

Come visto nel Cap. 5, relativamente al comportamento termico delle murature, il lato della parete dotato di strato isolante presenta una capacità termica superficiale molto ridotta, questo significa che la parete non accumula calore. Infatti l'effetto benefico di una muratura massiccia è quello di accumulare calore per poi cederlo lentamente nel tempo, ossia con uno sfasamento dell'onda di calore abbastanza pronunciato. Pertanto un isolamento a cappotto esterno, grazie allo sfasamento dell'onda di

calore, fa sì che il calore accumulato di giorno all'interno della casa può essere ceduto di nuovo all'interno della casa stessa, in modo lento, e magari nel periodo notturno quando gli impianti di riscaldamento generalmente funzionano ad un regime minimo. Tuttavia se si considera che un impianto di riscaldamento costituito da sistemi radianti a pavimento funziona con un fluido a bassa temperatura, è possibile sfruttare anche energia da fonti rinnovabili quale quella solare. Infatti detti sistemi possono essere alimentati sia direttamente da pannelli solari che da una pompa di calore alimentate da energia elettrica prodotta, in parte, da moduli fotovoltaici. In quest'ottica la muratura massiccia può essere intesa come un accumulatore di energia solare: durante le ore di soleggiamento le mura internamente accumulano il calore prodotto con l'ausilio dell'energia solare per poi ricedere parte di questo calore nelle ore notturne. Tutto ciò, come già detto, nell'ipotesi di un cappotto isolante realizzato esclusivamente sul lato esterno.

Come si evince l'esigenza di migliorare le prestazioni energetiche entra completamente in conflitto con quella della conservazione. Infatti per le pareti verticali opache il D.Lgs 192 mira ad abbattere la trasmittanza del 70 – 80%, valore molto elevato per le caratteristiche termotecniche dei materiali tradizionali. Gli strati isolanti necessari, infatti restano troppo elevati anche se osservando i precedenti grafici in FIG 12.6 e FIG 12.7 valori di 4-5cm di un buon isolante abbattano di circa il 50% il valore della trasmittanza originaria. Pertanto, qualora l'edificio oggetto di recupero, non ricadesse nell'ambito dell'obbligatorietà dell'applicazione del suddetto D.Lgs 192/05, ci si potrebbe porre l'obiettivo di abbattere almeno il 50% della trasmittanza.

### **13.2.1 Problemi di condensa**

Negli ambienti le cui pareti raggiungono, sulla loro superficie interna, temperature inferiori alla temperatura di rugiada dell'aria ambiente si ha il fenomeno della condensazione superficiale con il conseguente depositarsi, sulla superficie delle pareti stesse, della quantità di acqua che non può essere contenuta nell'aria sotto forma di vapore. Il fenomeno della condensa superficiale è strettamente connesso con la temperatura alla quale si trova la faccia interna della parete e quindi dipende, oltre che dalla temperatura e dall'umidità relativa dell'aria ambiente, anche dal grado di isolamento che la parete stessa offre. La sola verifica dell'impossibilità di condensa superficiale non esaurisce però l'esame termoigrometrico che è opportuno

compiere su tutto lo spessore di una parete. In alcuni casi la condensa si forma proprio all'interno della parete compromettendone resistenza termica, specialmente se la condensa si verificasse a ridosso dello strato isolante.

Le differenze di temperatura, di umidità relativa e quindi di pressione di vapore determinano un movimento di vapore nella direzione delle pressioni decrescenti (diffusione) dall'ambiente a pressione parziale maggiore (generalmente a temperatura superiore) all'ambiente a pressione minore (generalmente a temperatura inferiore). La pressione di saturazione, invece, decresce lungo lo spessore della parete dall'ambiente più caldo a quello più freddo. Può avvenire allora che, se la pressione di saturazione all'interno della parete si abbassa in qualche punto al di sotto del valore della pressione parziale di vapore esistente nello stesso punto, si ha formazione di condensa sulla superficie dello strato interessato.

E' possibile evitare il fenomeno della condensazione mantenendo elevati i valori della pressione di saturazione all'interno della parete, isolando termicamente la parete. È necessario tuttavia scegliere una opportuna sequenza dei materiali, in modo che la resistenza termica cresca dall'interno verso l'esterno; un errato posizionamento dello strato coibente può infatti rendere inefficace il suo contributo.

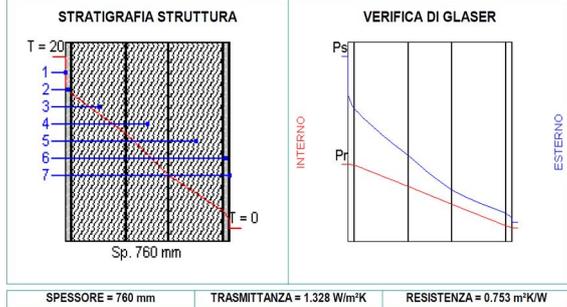
Disponendo l'isolante all'interno, la temperatura in corrispondenza di esso decresce rapidamente e si ha maggiore probabilità che essa raggiunga il valore della temperatura di rugiada, con conseguente formazione di condensa nella parte posteriore dell'isolante. Per questo motivo, quando si realizza l'isolamento di una parete dall'interno, bisogna generalmente prevedere la presenza di una barriera al vapore sul lato caldo.

Senza entrare nello specifico della trattazione analitica, si è proceduto alla verifica dell'assenza di condensa con il Metodo di Glaser con l'aiuto del software gratuito Termus-G della Acca Software.

Si è considerato una sezione generica di una muratura in pietrame di calcare eseguita a sacco di 70 cm di spessore e intonacata sulle due facce.

N.	DESCRIZIONE STRATO (dall'interno all'esterno)	s [mm]	lambda [W/mK]	C [W/m²K]	M.V. [Kg/m³]	P<50°10¹¹ [Kg/m²Pa]	R [m²K/W]
1	Adduttanza Interna	0		7.700			0.130
2	Intonaco di calce e gesso.	30	0.900	30.000	1.400	18.000	0.033
3	Muratura di pietrame meno compatta lambda 1,4 W/mk	250	1.400	5.600	2.300	6.433	0.179
4	Muratura di pietrame lambda 1,1 W/mk	200	1.100	5.500	2.200	6.433	0.182
5	Muratura di pietrame compatto lambda 1,6 W/mk	250	1.600	6.400	2.500	6.433	0.156
6	Malta di calce o di calce e cemento.	30	0.900	30.000	1.800	8.500	0.033
7	Adduttanza Esterna	0		25.000			0.040

s = Spessore dello strato; lambda = Conduttività termica del materiale; C = Conduttanza unitaria; M.V. = Massa Volumica; P<50°10¹¹ = Permeabilità al vapore con umidità relativa fino al 50%; R = Resistenza termica dei singoli strati



VERIFICA IGROMETRICA						
CONDIZIONE	Ti [°C]	Psi [Pa]	Pri [Pa]	Te [°C]	Pse [Pa]	Pre [Pa]
SITUAZIONE LIMITE (vedi grafico)	20,0	2.339	1.216	0,0	611	550
CONVENZIONALE INVERNALE (60 gg)	20,0	2.339	1.170	0,0	611	550
CONVENZIONALE ESTIVA (90 gg)	18,0	2.065	1.446	18,0	2.065	1.446

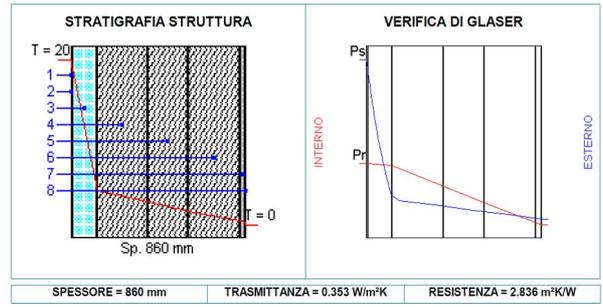
Dalla Verifica Convenzionale risulta che la struttura non è soggetta a fenomeni di condensa interstiziale.  
Nella situazione limite la struttura non è soggetta a fenomeni di condensa superficiale.

Ti = Temperatura interna; Psi = Pressione di saturazione interna; Pri = Pressione relativa interna; Te = Temperatura esterna; Pse = Pressione di saturazione esterna; Pre = Pressione relativa esterna.

TAB 12.6 – Verifica di Glaser per una muratura in pietrame a sacco senza isolamento.

N.	DESCRIZIONE STRATO (dall'interno all'esterno)	s [mm]	lambda [W/mK]	C [W/m²K]	M.V. [Kg/m³]	P<50°10¹¹ [Kg/m²Pa]	R [m²K/W]
1	Adduttanza Interna	0		7.700			0.130
2	Intonaco di calce e gesso.	10	0.900	90.000	1.400	18.000	0.011
3	Termointonaco	120	0.057	0.475	395	32.167	2.105
4	Muratura di pietrame meno compatta lambda 1,4 W/mk	250	1.400	5.600	2.300	6.433	0.179
5	Muratura di pietrame lambda 1,1 W/mk	200	1.100	5.500	2.200	6.433	0.182
6	Muratura di pietrame compatto lambda 1,6 W/mk	250	1.600	6.400	2.500	6.433	0.156
7	Malta di calce o di calce e cemento.	30	0.900	30.000	1.800	8.500	0.033
8	Adduttanza Esterna	0		25.000			0.040

s = Spessore dello strato; lambda = Conduttività termica del materiale; C = Conduttanza unitaria; M.V. = Massa Volumica; P<50°10¹¹ = Permeabilità al vapore con umidità relativa fino al 50%; R = Resistenza termica dei singoli strati



VERIFICA IGROMETRICA						
CONDIZIONE	Ti [°C]	Psi [Pa]	Pri [Pa]	Te [°C]	Pse [Pa]	Pre [Pa]
SITUAZIONE LIMITE (vedi grafico)	20,0	2.339	1.216	0,0	611	550
CONVENZIONALE INVERNALE (60 gg)	20,0	2.339	1.170	0,0	611	550
CONVENZIONALE ESTIVA (90 gg)	18,0	2.065	1.446	18,0	2.065	1.446

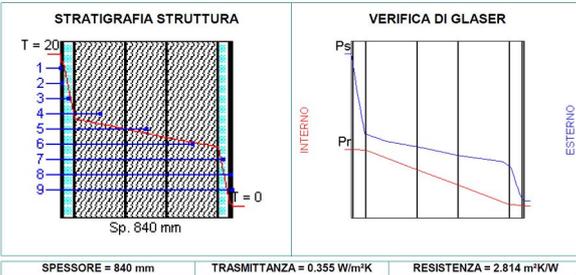
Dalla Verifica Convenzionale risulta che la struttura è soggetta a fenomeni di condensa, la quantità stagionale di condensato è pari a 0.3650 Kg/m², tale quantità può rievaporare durante la stagione estiva.  
Nella situazione limite la struttura non è soggetta a fenomeni di condensa superficiale.

Ti = Temperatura interna; Psi = Pressione di saturazione interna; Pri = Pressione relativa interna; Te = Temperatura esterna; Pse = Pressione di saturazione esterna; Pre = Pressione relativa esterna.

TAB 12.7 – Verifica di Glaser per una muratura in pietrame a sacco con isolamento interno.

N.	DESCRIZIONE STRATO (dall'interno all'esterno)	s [mm]	lambda [W/mK]	C [W/m²K]	M.V. [Kg/m³]	P<50°10¹¹ [Kg/m²Pa]	R [m²K/W]
1	Adduttanza Interna	0		7.700			0.130
2	Intonaco di calce e gesso.	10	0.900	90.000	1.400	18.000	0.011
3	Termointonaco	60	0.057	0.950	395	32.167	1.053
4	Muratura di pietrame meno compatta lambda 1,4 W/mk	250	1.400	5.600	2.300	6.433	0.179
5	Muratura di pietrame lambda 1,1 W/mk	200	1.100	5.500	2.200	6.433	0.182
6	Muratura di pietrame compatto lambda 1,6 W/mk	250	1.600	6.400	2.500	6.433	0.156
7	Termointonaco	60	0.057	0.950	395	32.167	1.053
8	Malta di calce o di calce e cemento.	10	0.900	90.000	1.800	8.500	0.011
9	Adduttanza Esterna	0		25.000			0.040

s = Spessore dello strato; lambda = Conduttività termica del materiale; C = Conduttanza unitaria; M.V. = Massa Volumica; P<50°10¹¹ = Permeabilità al vapore con umidità relativa fino al 50%; R = Resistenza termica dei singoli strati



VERIFICA IGROMETRICA						
CONDIZIONE	Ti [°C]	Psi [Pa]	Pri [Pa]	Te [°C]	Pse [Pa]	Pre [Pa]
SITUAZIONE LIMITE (vedi grafico)	20,0	2.339	1.216	0,0	611	550
CONVENZIONALE INVERNALE (60 gg)	20,0	2.339	1.170	0,0	611	550
CONVENZIONALE ESTIVA (90 gg)	18,0	2.065	1.446	18,0	2.065	1.446

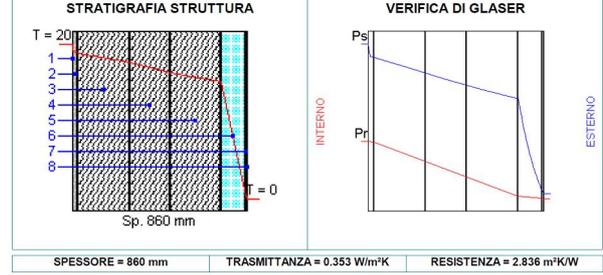
Dalla Verifica Convenzionale risulta che la struttura non è soggetta a fenomeni di condensa interstiziale.  
Nella situazione limite la struttura non è soggetta a fenomeni di condensa superficiale.

Ti = Temperatura interna; Psi = Pressione di saturazione interna; Pri = Pressione relativa interna; Te = Temperatura esterna; Pse = Pressione di saturazione esterna; Pre = Pressione relativa esterna.

TAB 12.8 – Verifica di Glaser per una muratura in pietrame a sacco con isolamento interno ed esterno.

N.	DESCRIZIONE STRATO (dall'interno all'esterno)	s [mm]	lambda [W/mK]	C [W/m²K]	M.V. [Kg/m³]	P<50°10¹¹ [Kg/m²Pa]	R [m²K/W]
1	Adduttanza Interna	0		7.700			0.130
2	Intonaco di calce e gesso.	30	0.900	30.000	1.400	18.000	0.033
3	Muratura di pietrame meno compatta lambda 1,4 W/mk	250	1.400	5.600	2.300	6.433	0.179
4	Muratura di pietrame lambda 1,1 W/mk	200	1.100	5.500	2.200	6.433	0.182
5	Muratura di pietrame compatto lambda 1,6 W/mk	250	1.600	6.400	2.500	6.433	0.156
6	Termointonaco	120	0.057	0.475	395	32.167	2.105
7	Malta di calce o di calce e cemento.	10	0.900	90.000	1.800	8.500	0.011
8	Adduttanza Esterna	0		25.000			0.040

s = Spessore dello strato; lambda = Conduttività termica del materiale; C = Conduttanza unitaria; M.V. = Massa Volumica; P<50°10¹¹ = Permeabilità al vapore con umidità relativa fino al 50%; R = Resistenza termica dei singoli strati



VERIFICA IGROMETRICA						
CONDIZIONE	Ti [°C]	Psi [Pa]	Pri [Pa]	Te [°C]	Pse [Pa]	Pre [Pa]
SITUAZIONE LIMITE (vedi grafico)	20,0	2.339	1.216	0,0	611	550
CONVENZIONALE INVERNALE (60 gg)	20,0	2.339	1.170	0,0	611	550
CONVENZIONALE ESTIVA (90 gg)	18,0	2.065	1.446	18,0	2.065	1.446

Dalla Verifica Convenzionale risulta che la struttura non è soggetta a fenomeni di condensa interstiziale.  
Nella situazione limite la struttura non è soggetta a fenomeni di condensa superficiale.

Ti = Temperatura interna; Psi = Pressione di saturazione interna; Pri = Pressione relativa interna; Te = Temperatura esterna; Pse = Pressione di saturazione esterna; Pre = Pressione relativa esterna.

TAB 12.9 – Verifica di Glaser per una muratura in pietrame a sacco con isolamento dall'esterno (a cappotto).

Ad una prima verifica senza isolante, la verifica di Glaser è soddisfatta in quanto le due curve non si intersecano in alcun punto. Lo stesso risultato è stato ottenuto sia disponendo lo strato isolante<sup>1</sup> all'esterno (isolamento a cappotto), sia con il sistema del doppio strato, di cui uno interno e l'altro esterno.

Il problema, come previsto, si ha proprio disponendo lo strato isolante all'interno. Le due curve delle pressioni di vapore si intersecano e si ha condensazione. Tuttavia la verifica risulta comunque soddisfatta in quanto la quantità di condensa è tale da poter rievaporare nel periodo estivo. Sarebbe comunque preferibile eliminare del tutto la condensa anche per una migliore durabilità dello strato isolante, inserendo un materiale che si comporti come barriera al vapore. L'isolamento a cappotto resta comunque da preferire, anche da un punto di vista della condensazione.

### **13.3 Aspetti vincolistici e territoriali**

Come già detto in precedenza il D.Lgs 192/05, secondo quanto disposto dall'art. 3 c.3, non si applica agli immobili sottoposti alla tutela del *Codice dei beni Culturali e del Paesaggio* di cui al D.Lgs 42/04, ossia a quegli immobili ricadenti nella parte seconda del Codice che sono stati dichiarati beni culturali con specifico decreto di vincolo. Ovviamente, per ciò che attiene questo studio, i beni culturali vincolati a cui si fa riferimento sono i beni architettonici. Da non dimenticare che gli edifici di proprietà pubblica aventi più di 50 anni sono da considerarsi beni culturali fino a quando non verrà eseguita l'interesse culturale del bene, cioè fin quando non venga dichiarato il "non interesse culturale" da parte dell'Amministrazione dei Beni Culturali e pertanto non assoggettabile alla disciplina del suddetto Codice. Nel Molise tale verifica ancora non è stata eseguita, pertanto tutti gli edifici pubblici con più di 50 anni sono da considerarsi vincolati architettonicamente, pertanto non si rende obbligatorio l'applicazione del D.Lgs 192/05.

Per ciò che attiene l'architettura tradizionale, cioè quella rurale e dei centri storici, l'art. 3 c.3 del D.Lgs 192/05 dichiara la non obbligatorietà riguardo l'applicabilità dei propri contenuti anche ai beni di cui all'art. 136 c.1 lett b) e c) del Codice dei Beni Culturali e del Paesaggio, ossia:

---

<sup>1</sup> Come isolante si è pensato di usare un termo intonaco con  $\lambda = 0.056 \text{ W/mK}$

- b) le ville, i giardini e i parchi, non tutelati dalle disposizioni della Parte seconda del presente codice, che si distinguono per la loro non comune bellezza;*
- c) i complessi di cose immobili che compongono un caratteristico aspetto avente valore estetico e tradizionale, inclusi i centri ed i nuclei storici;*

Alla precedente lett. c) appartengono tutti gli edifici che ricadono in aree sottoposte a vincolo paesaggistico. Tuttavia il D.L.gs 311/06 dispone un'ulteriore aggiunta a quanto disposto dall'art. 3, in presenza di vincoli paesaggistici, circa la non applicabilità del disposto del D.L.gs 192/05 *"nei casi in cui il rispetto delle prescrizioni implicherebbe una alterazione inaccettabile del loro carattere o aspetto con particolare riferimento ai caratteri storici o artistici"*. Quest'ulteriore aggiunta sembra rendere obbligatoria l'applicazione del D.L.192/05 anche in aree vincolate ad esclusione per quegli edifici che risulterebbero esteticamente alquanto compromessi dall'applicazione del decreto stesso. Tuttavia, dal punto di vista procedurale, non è stata fornita alcuna indicazione in riferimento al soggetto chiamato a decidere sull'applicazione del suddetto decreto, pertanto si ritiene che una dichiarazione del progettista potrebbe esplicitare la suddetta non applicabilità, o comunque un'applicazione parziale come proposto alla fine del precedente paragrafo.

Di seguito, pertanto, si è proceduto all'individuazione, a scala territoriale dei diversi vincoli paesaggistici molisani.

I vincoli paesaggistici molisani sono costituiti da 8 piani paesistici risalenti agli anni '80, i cosiddetti P.T.P.A.A.V (Piano territoriale paesistico-ambientale di area vasta) e da diversi vincoli, di estensione comunale, emanati con Decreti Ministeriali da parte del Ministero per i Beni e le Attività Culturali e da, ormai obsolete, dichiarazioni espresse tramite verbali della Commissione provinciale nel 1977 che ancora non trovano conferme in un decreto ministeriale, ma comunque di efficacia applicativa.

Attraverso lo strumento del GIS si sono riportati i suddetti vincoli nella seguente planimetria.

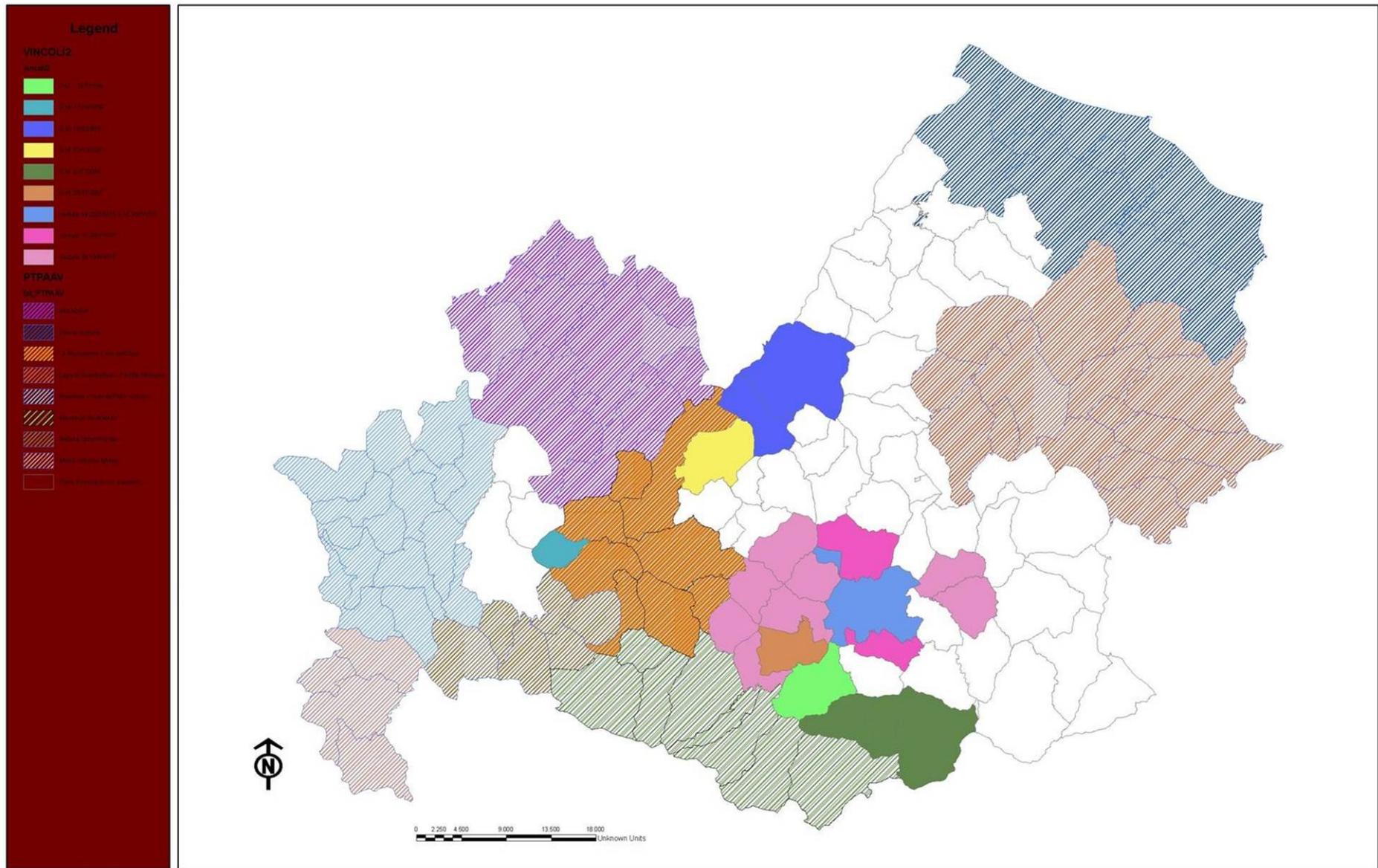


FIG 12.8 – Cartografia dei vincoli paesaggistici molisani

Dalla precedente planimetria si evidenzia come gran parte della regione sia scoperta da vincoli paesaggistici, soprattutto nell'area centrale dove la costruzione tradizionale è realizzata soprattutto con pietra calcarea, quindi caratterizzate da alti valori della trasmittanza in riferimento alle pareti.

Nel paragrafo 3.1 si è messo in evidenza le zone climatiche, di cui al D.P.R. 412/93, dell'intera regione attraverso una cartografia elaborata con il GIS riporta in FIG. 3.1.

Si evidenzia, come già noto, che il Molise sostanzialmente è una regione abbastanza fredda, infatti prevalgono invece le zone D e E, mentre alla F, quella più fredda, appartengono i comuni dell'alto Molise.

Si è voluto richiamare tali zone climatiche soprattutto per mostrare i risultati elaborati nella successiva TAB. 12.10 i cui dati descrivono la variazione della trasmittanza di una parete di pietra calcarea, la cui conducibilità termica si assume mediamente pari a  $1,4 \text{ W/mK}$ , al variare dello spessore dello strato isolante e della conducibilità termica del materiale isolante stesso. Pertanto in corrispondenza della zona climatica e dello spessore dello strato isolante, il riquadro è riempito di una colorazione verde se la trasmittanza ottenuta rispetta quella limite imposta da normativa, viceversa in rosso.

Si nota subito che una tale parete riesce a rispettare la trasmittanza limite, solo se dotata di strati considerevoli di un buon isolante, solo nella zona C, ossia nei comuni di Termoli e Campomarino, dove però si rinvengono tipologie murarie con più bassi valori della conducibilità termica. Sul resto del territorio regionale però, tale tipo di parete non riesce a rispettare la trasmittanza limite, nemmeno con 10 cm di spessore di un buon isolante.

In conclusione di tutto ciò, sempre con l'ausilio del GIS, si è riportato una planimetria con evidenziati i comuni non vincolati con la relativa zona climatica, in questi comuni infatti, non esiste possibilità di una non applicazione, nemmeno parziale, del suddetto decreto. In gran parte, quindi del Molise centrale è alto il rischio della cancellazione dei caratteri estetici e formali delle antiche architetture rurali e comunque tradizionali.

Tip MUR	M1	$\lambda$ MUR	1,4	$\lambda$ Isolante	0,06	Spess. Muro 60						70						80					
Zona Climatica	Sp. Isolante	4	5	6	7	8	9	10	4	5	6	7	8	9	10	4	5	6	7	8	9	10	
	Trasmittanza	0,79	0,70	0,63	0,57	0,52	0,48	0,44	0,73	0,65	0,59	0,54	0,49	0,45	0,42	0,70	0,62	0,56	0,52	0,48	0,44	0,41	
A	0,62																						
B	0,48																						
C	0,4																						
D	0,36																						
E	0,34																						
F	0,33																						

Tip MUR	M1	$\lambda$ MUR	1,4	$\lambda$ Isolante	0,05	Spess. Muro 60						70						80					
Zona Climatica	Sp. Isolante	4	5	6	7	8	9	10	4	5	6	7	8	9	10	4	5	6	7	8	9	10	
	Trasmittanza	0,79	0,70	0,63	0,57	0,52	0,48	0,44	0,67	0,59	0,53	0,48	0,43	0,40	0,37	0,64	0,56	0,51	0,46	0,42	0,39	0,36	
A	0,62																						
B	0,48																						
C	0,4																						
D	0,36																						
E	0,34																						
F	0,33																						

Tip MUR	M1	$\lambda$ MUR	1,4	$\lambda$ Isolante	0,04	Spess. Muro 60						70						80					
Zona Climatica	Sp. Isolante	4	5	6	7	8	9	10	4	5	6	7	8	9	10	4	5	6	7	8	9	10	
	Trasmittanza	0,70	0,61	0,55	0,49	0,45	0,41	0,38	0,67	0,59	0,53	0,48	0,43	0,40	0,37	0,64	0,56	0,51	0,46	0,42	0,39	0,36	
A	0,62																						
B	0,48																						
C	0,4																						
D	0,36																						
E	0,34																						
F	0,33																						

TAB 12.10 – Corrispondenza di una parete con diversi spessori degli strati isolanti in riferimento alla zona climatica e alla  $U_{lim}$ .

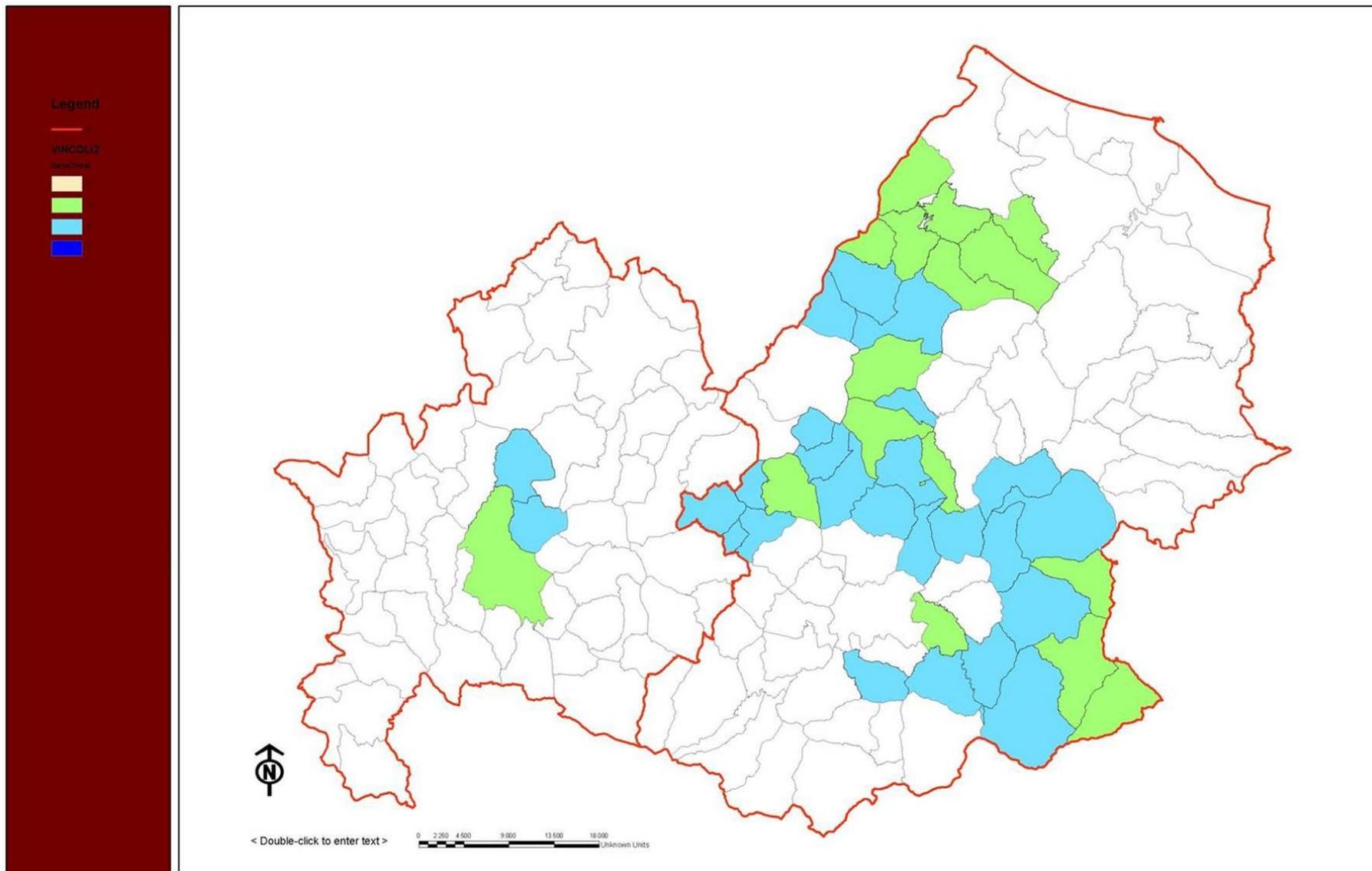


FIG 12.10 – Cartografia delle zone climatiche molisane, di cui al D.P.R. 412/93, dei comuni privi di vincolo paesaggistico.

### **13.4 Certificazione energetica**

Relativamente alla certificazione energetica, invece, sono state emanate le Linee Guida, di cui all'art 9 del D.Lgs 193/05, per il riconoscimento della Classe energetica secondo il D.M. 26.06.2009 che, oltre alle Linee guida, racchiude in se anche gli strumenti di raccordo, concertazione e cooperazione tra lo Stato e le regioni, le quali sono chiamate ad adottare o modificare le proprie normative della materia energetica.

Tale decreto prevede un attestato di certificazione energetica che, in fase di costruzione, compravendita o locazione di un edificio, debba essere messo a disposizione del proprietario, del futuro acquirente o del locatario. Tale attestato dovrà fornire informazioni utili per i potenziali utenti, in modo da consentire di valutare e confrontare la prestazione energetica dell'edificio. Tale attestato, inoltre, avrà validità temporale massima di dieci anni dal suo rilascio, dovrà essere aggiornato ad ogni intervento di ristrutturazione che modifica le prestazioni energetiche dell'edificio o dell'impianto e deve essere corredato da suggerimenti in merito agli interventi più significativi ed economicamente convenienti per il miglioramento della prestazione energetica stessa. Con queste nuove procedure, inoltre, i cittadini che vendono la propria abitazione, potranno rispondere in modo più appropriato e con oneri assai contenuti all'obbligo di informare l'acquirente della qualità energetica dell'abitazione ceduta.

Il Decreto, in particolare, prevede le seguenti novità:

- nasce il tavolo di confronto e coordinamento con la funzione di monitorare, migliorare e coordinare tutte le attività nazionali sulla Certificazione Energetica degli Edifici.
- metodologie di calcolo della prestazione energetica degli edifici coerenti con la direttiva 2002/91/CE e con i principi desumibili dal decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192.
- fabbisogno estivo dell'involucro.
- validità massima dell'Attestato di Certificazione pari a 10 anni solo se sono rispettate le prescrizioni normative vigenti per le operazioni di controllo di efficienza energetica, compreso le eventuali conseguenze di adeguamento, degli impianti di climatizzazione asserviti agli edifici.

- le prescrizioni relative all'aggiornamento dell'attestato in relazione ad ogni intervento che migliori la prestazione energetica dell'edificio o ad ogni operazione di controllo che accerti il degrado della prestazione medesima, di entità significativa.
- l'indicazione di un sistema di classificazione degli edifici sia per quanto riguarda le prestazioni dell'involucro sia per il rendimento medio dell'impianto
- indicatori di Classe (fabbisogno energetico primario globale, per riscaldamento e raffrescamento, per la produzione di acqua calda sanitaria)
- autodichiarazione di Classe G per edifici di superficie ridotta ed ad alto consumo

La prestazione energetica complessiva dell'edificio è espressa attraverso l'indice di prestazione energetica globale EPgl equivalente alla somma di altri 4 indici:

$$EPgl = EPI + EPacs + EPe + EPill$$

dove:

EPI: è l'indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale;

EPacs: l'indice di prestazione energetica per la produzione dell'acqua calda sanitaria;

Epe: l'indice di prestazione energetica per la climatizzazione estiva;

EPill: l'indice di prestazione energetica per l'illuminazione artificiale.

Nel caso di edifici residenziali tutti gli indici sono espressi in kWh/m<sup>2</sup>anno, mentre nel caso di altri edifici (residenze collettive, terziario, industria) tutti gli indici sono espressi in kWh/m<sup>3</sup>anno.

Tuttavia nella fase di avvio del processo di certificazione energetica il legislatore ha ritenuto opportuno considerare ai fini del calcolo dell'EPgl solo il contributo espresso dagli indici di prestazione di energia primaria per la climatizzazione invernale e per la preparazione dell'acqua calda per usi igienici e sanitari.

La valutazione dell'indice di prestazione energetica estiva è considerato a parte, infatti nel relativo calcolo, eseguito secondo la norma UNI TS 11300-1 non si tiene conto dell'impianto e quindi non si parla di energia primaria ma solo di energia richiesta dall'involucro per mantenere le condizioni di confort estivo. Pertanto viene definito un sistema di classificazione per le prestazioni energetiche estive diviso in 5 classi in funzione dell'Epe stesso, attraverso cui viene espressa la *Qualità dell'involucro edilizio per il raffrescamento*, così come mostrato in TAB. 12.7

Nel caso di edifici esistenti con superficie utile inferiore a 1000 m<sup>2</sup>, in alternativa al calcolo dell'E<sub>pe</sub>, è possibile fare una valutazione della qualità termica estiva dell'involucro in base al fattore di attenuazione Fa e a quello di sfasamento S dell'onda termica, così come mostrato nella seguente TAB. 12.11.

Metodo da UNI TS 11300 E <sub>pe,invol</sub> (kWh/m <sup>2</sup> anno)	Prestazioni	Qualità prestazionale	Metodo parametri qualitativi	
			S (h)	Fa
E <sub>pe,invol</sub> < 10	ottime	I	S > 12	Fa < 0,15
10 < E <sub>pe,invol</sub> < 20	buone	II	12 > S > 10	15 < fa < 0,30
20 < E <sub>pe,invol</sub> < 30	medie	III	10 > S > 8	0,30 < fa < 0,40
30 < E <sub>pe,invol</sub> < 40	sufficienti	IV	8 > S > 6	0,40 < fa < 0,60
E <sub>pe,invol</sub> > 40	mediocri	V	6 > S	0,60 < fa

TAB 12.11 – Classificazione della qualità dell'involucro edilizio ai fini del raffrescamento.

Come già visto in precedenza, nel Cap. 5, le murature tradizionali hanno coefficienti di sfasamento molto alti e fattori di attenuazioni abbastanza bassi, pertanto almeno nella classificazione estiva, alle architetture tradizionali è quasi sempre possibile attribuire la Classe I, così come mostrato nel prossimo paragrafo.

Per quanto riguarda il metodo di calcolo da utilizzarsi per la determinazione dell'E<sub>pi</sub> e dell'EP<sub>acs</sub> per l'ottenimento dell'EP<sub>gl</sub> sono quelli previsti dalle norme UNI TS 11300 per ciò che attiene i nuovi edifici, mentre per quelli esistenti sono previsti tre casi differenti:

- I) Per tutte le tipologie di edifici, il calcolo dell'EP<sub>gl</sub> è quello previsto dalle norme UNI TS 11300. I dati di ingresso possono ottenersi mediante procedure di rilievo, anche strumentali, sull'edificio e/o sui dispositivi impiantistici effettuate secondo le normative tecniche di riferimento o, in mancanza di tali norme, dalla letteratura tecnico-scientifica;
- II) Per edifici con superficie utile inferiore a 3000 m<sup>2</sup>, per il calcolo della prestazione energetica si fa riferimento al software DOCET predisposto dal CNR e dall'ENEA in base ai dettami delle norme UNI TS 11300 ed è scaricabile gratuitamente dal sito [www.docet.itc.cnr.it](http://www.docet.itc.cnr.it). I dati di ingresso di possono ricavare per analogia costruttiva con altri edifici e sistemi impiantistici coevi, integrata da banche dati o abachi nazionali, regionali o locali;
- III) Per gli edifici con superficie utile fino a 1000 m<sup>2</sup>, sulla base dei principali dati climatici, tipologici, geometrici ed impiantistici, l'indice E<sub>pi</sub> si calcola con un metodo semplificato di cui all'Allegato 2 delle Linee Guida mentre

per l'EPacs è possibile utilizzare il metodo semplificato delle UNI TS 11300.

Generalmente gli edifici tradizionali presi in considerazione in questo studio, non vanno mai oltre i 3000 m<sup>2</sup> di superficie utile, pertanto è pensabile di utilizzare il software DOCET anche per quelli di superficie utile inferiore a 1000 m<sup>2</sup>. Infatti tale software risulta decisamente versatile nell'utilizzo, è di facile applicazione e fornisce tutti i parametri necessari per la certificazione energetica tra cui l'EPgl, l'EPi, l'Epacs, nonché l'Epe,inv.

Per ciò che riguarda il sistema proprio di classificazione della prestazione energetica, il DM 26.06.2009 mira proprio ad uniformare a livello nazionale i criteri classificatori. Infatti attualmente le Regioni che avevano provveduto con propri regolamenti a definire un sistema di classificazione, risultano differenti fra loro. Il più noto di questi, quello applicato dall'Agenzia Casaclima di Bolzano prevede la classificazione degli edifici in 5 classi, dalla A alla F imponendo un valore fisso della prestazione energetica tra una classe e l'altra. Il nuovo sistema, a cui dovranno adeguarsi le regioni che ne avevano già adottato uno, aggiunge due nuove classi la A<sup>+</sup> e la G però il parametro che divide le diverse classi non è più fisso bensì corrisponde, in percentuale, all'indice di prestazione energetica globale limite  $E_{p_{lim}}$  definito dalla TAB. 12.1. Tale parametro come è noto dipende dal rapporto di forma S/V e dai Gradi-Giorno relativi alla zona ove è ubicato l'edificio. E' evidente a questo punto che la classe energetica stessa dipende dal tipo di edificio e della zona ove esse è ubicato. Tale cosa è dovuta al fatto che 2 edifici della stessa superficie, ma tipo logicamente diversi e ricadenti nella stessa località, pur rispettando i limiti dell'indice di prestazione energetica, potrebbero trovarsi in due classi energetiche diverse proprio perché hanno diversi rapporti di forma. Se infatti si considerano un appartamento e una villetta monopiano della stessa superficie nella stessa località, il primo presenta superfici disperdenti minori rispetto alla seconda, perciò necessariamente avranno due Epi molto diversi fra loro e quindi se tali valori vanno rapportati ad una classificazione statica, come ad esempio quella dell'Emilia-Romagna, i due edifici sicuramente ricadono in classi diverse. Il proprietario della villetta pertanto dovrebbe affrontare molte più spese per riportare la sua villetta nella stessa classe dell'appartamento. Tenuto conto che l'intenzione del legislatore era anche quella di modificare il mercato immobiliare con l'introduzione della

classificazione energetica degli edifici, si sarebbe generato uno squilibrio dell'attribuzione del valore in funzione della classe energetica.

Il sistema di classificazione così imposto, inoltre, è stato suddiviso in modo che per le nuove costruzioni e quegli edifici integralmente ristrutturati, rientrino almeno nella classe C. Infatti il limite superiore della classe C corrisponde proprio quello determinato dal valore del 100% del  $E_{pi_{lim}}$ , come riportato nella seguente FIG.12.11.



FIG 12.12 – ordine di classificazione dell'Epgl.

### 13.5 Valutazione della certificazione energetica, ad una tipologia di edificio isolato, con il software DOCET.

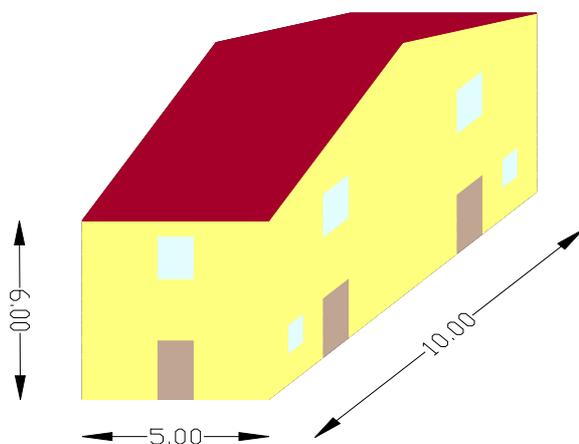


FIG 12.13 – Tipologia di casa rurale

Come già detto nel paragrafo precedente, il DM 26.06.2009 ha messo a disposizione dei tecnici uno strumento semplice e immediato per la valutazione della classe energetica di un edificio. Tale software è sicuramente uno strumento approssimativo e di massima utile alla certificazione di edifici

non troppo estesi, però il suo utilizzo risulta decisamente versatile in quanto i dati richiesti non risultano di difficile reperibilità. Al fine di valutare la classe energetica degli edifici rurali, si è scelto di analizzare una tipologia di edificio isolato delle dimensioni come riportato nella FIG. 12.7 localizzato nel comune di Campobasso. Innanzitutto si è proceduto all'individuazione dei parametri geometrici per i quattro lati dell'edificio in funzione dell'esposizione, come riportato in TAB 12.12

SUD				EST				NORD				OVEST			
L	H	Apar	Afin	L	H	Apar	Afin	L	H	Apar	Afin	L	H	Apar	Afin
10	6	60	8,2	10	6	30	1,5	10	6	60	0,6	10	6	30	3,5

TAB. 12.12 – Dati geometrici.

Per tale tipologia si considera che il sottotetto non viene riscaldato, pertanto il rapporto di forma S/V non tiene conto di questa parte di edificio.

Vengono quindi individuati i Gradi-Giorno GG della località di riferimento, ossia di Campobasso, il rapporto di forma S/V, nonché l'indice di prestazione energetica limite  $E_{pi\lim}$ .

GG	Sup disperd	VOL	S/V	Epi lim
2346	280	300	0,93	94,8

TAB. 12.13 – Dati geometrici.

Tale software, però non consente la distinzione tra infisso vetrato e quello non vetrato quale una banale porta d'ingresso, pertanto si ipotizza che tutti gli infissi, porte e finestre, siano datati della stessa trasmittanza termica.

Si procede quindi ad imputare nel software diversi valori delle trasmittanze dei componenti strutturali dell'edificio in modo da evidenziare come l'indice di prestazione globale E<sub>pgl</sub> varia in funzione delle precedenti trasmittanze, come riportato nella successiva TAB.12.14

1. In prima battuta si sono imputati valori di trasmittanze di elementi strutturali tradizionali non isolati, oltre che un normale sistema di riscaldamento costituito da una caldaia da 25kW, il risultato è stato quello di una Classe G.
2. Successivamente si è considerato di inserire i valori limite della trasmittanza per le strutture orizzontali e per i serramenti. Per le pareti verticali, invece, si è considerato ancora la trasmittanza della parete massiccia non isolata. L'E<sub>pgl</sub> resta ancora troppo alto, pertanto la classificazione resta ancora di Classe G.
3. A questo punto si è pensato di dimezzare la trasmittanza delle pareti verticali<sup>2</sup> e di mantenere la trasmittanza limite del resto dell'involucro, l'indice di prestazione globale è più che dimezzato, la classe assegnata è la F.
4. Mantenendo inalterate le trasmittanze imputate al punto 3, si è pensato di inserire un pannello solare per la produzione di acqua calda sanitaria e dei moduli fotovoltaici. Tali moduli fotovoltaici, infatti, nel software sono considerati solo per la produzione di energia elettrica necessaria al funzionamento dell'impianto di riscaldamento. L'indice di prestazione globale diminuisce di quasi il 70% e la classe assegnata è la E.
5. Rispetto al punto precedente si è pensato di diminuire la trasmittanza delle pareti verticali di 2/3 rispetto a quella originaria e di mantenere quella limite per il resto degli altri componenti. Non si sono inseriti sistemi impiantistici che utilizzano energia da fonti rinnovabili. La classificazione ottenuta è la E, l'indice di prestazione coincide quasi con quello calcolato al precedente punto.
6. Mantenendo le stesse trasmittanze del punto precedente, si sono inseriti dei moduli fotovoltaici e un pannello solare. L'E<sub>pgl</sub> è diminuito del 76%, la classe raggiunta è la D.
7. A questo punto si sono imputate le trasmittanze limite per ogni elemento disperdente senza considerare l'apporto energetico da fonti rinnovabili. L'E<sub>pgl</sub>

---

<sup>2</sup> In questo caso, un valore della trasmittanza dimezzato può essere ottenuto con l'apposizione di un cappotto esterno di circa 3-4 cm di spessore, come si evince dal grafico in FIG.13.6.

non si discosta di molto dal precedente, la classificazione raggiunta è sempre la D.

8. Rispetto al punto precedente si sono considerati gli apporti energetici da fonti rinnovabili mediante un pannello solare e dei moduli fotovoltaici. L'E<sub>pgl</sub> è diminuito dell'81% e la classificazione raggiunta è la C.

Caso	U parete W/m <sup>2</sup> K	U solaio sottotetto W/m <sup>2</sup> K	U solaio piano terra W/m <sup>2</sup> K	U infisso W/m <sup>2</sup> K	Sup. moduli fotov. m <sup>2</sup>	Sup. pannelli solari m <sup>2</sup>	Prestazioni energ. Parziali riscaldamento		Prestazioni energ. Parziali ACS		Prestazioni Energetiche Globali		
							E <sub>pi</sub> kWh/m <sup>2</sup>	Prod fonti rinnov	E <sub>pacs</sub> kWh/m <sup>2</sup>	Prod fonti rinnov	E <sub>pgl</sub> kWh/m <sup>2</sup> q	Classe	Qualità invol (raffres)
1	1,4	1,5	1,65	4,9	0	0	447	0	27,8	0	474,8	<b>G</b>	<b>I</b>
2	1,4	0,3	0,33	2,2	0	0	302,5	0	27,8	0	330,3	<b>G</b>	<b>I</b>
3	0,7	0,3	0,33	2,2	0	0	168,2	0	27,8	0	196,0	<b>F</b>	<b>I</b>
4	0,7	0,3	0,33	2,2	2	2	156,4	5,7	0	23,6	156,4	<b>E</b>	<b>I</b>
5	0,47	0,3	0,33	2,2	0	0	127,8	0	27,8	0	155,6	<b>E</b>	<b>I</b>
6	0,47	0,3	0,33	2,2	2	2	113,5	5,7	0	23,6	113,5	<b>D</b>	<b>I</b>
7	0,34	0,3	0,33	2,2	0	0	104,0	0	27,8	0	131,8	<b>D</b>	<b>I</b>
8	0,34	0,3	0,33	2,2	2	2	89,3	5,7	0	23,6	89,3	<b>C</b>	<b>I</b>

TAB. 12.14 – Classificazione energetica dell'edificio tipo.

La TAB. 12.10 mostra come al variare della trasmittanza degli elementi disperdenti varia l'indice di prestazione globale E<sub>pgl</sub> e quindi la classe energetica. E' evidente quindi che al diminuire della trasmittanza delle pareti l'indice di prestazione globale non diminuisce proporzionalmente. Infatti diminuendo la trasmittanza di oltre il 50% di quella originale, l'E<sub>pgl</sub> diminuisce di poco. L'incremento degli strati isolanti, pertanto, alterano in modo significativo i prospetti senza che le prestazioni energetiche ottenute riducano efficacemente l'E<sub>pgl</sub>. Potrebbe pensarsi quindi di abbattere almeno il 50% della trasmittanza originale delle pareti verticali, almeno nei territori ove la normativa lo consenta.

E' pur vero che questa elaborazione è stata eseguita su un edificio campione e che ogni caso reale è a se stante, però è lecito dire sicuramente che la normativa attuale risulta essere troppo restrittiva per quanto riguarda le trasmittanze delle pareti verticali.

Tuttavia l'utilizzazione di sistemi impiantistici più efficienti che sfruttano energia da fonti rinnovabili potrebbe essere una soluzione efficace, qualora architettonicamente non risultasse molto invasiva, anche per gli edifici storici.

Sempre sull'edificio campione visto in precedenza, si è pensato di fare una elaborazione con il software DOCET utilizzando come sistema di riscaldamento una pompa di calore alimentata da energia elettrica prodotta da moduli fotovoltaici. Tale sistema di riscaldamento, inoltre, è stato considerato dotato di pannelli radianti a pavimento. I risultati ottenuti sono stati riportati in TAB. 12.15.

Pompa di calore aria-acqua COP=3							Prestazioni energ. Parziali riscaldamento		Prestazioni energ. Parziali ACS		Prestazioni Energetiche Globali		
Fase	U parete W/m <sup>2</sup> K	U solaio sottotetto W/m <sup>2</sup> K	U solaio piano terra W/m <sup>2</sup> K	U infisso W/m <sup>2</sup> K	Sup. moduli fotovoltaici m <sup>2</sup>	Sup. pannelli solarim <sup>2</sup>	Epi kWh/m <sup>2</sup>	Prod fonti rinnov	Epacs kWh/m <sup>2</sup>	Prod fonti rinnov	Epgl kWh/m <sup>2</sup> q	Classe	Qualità invol (raffres)
	1,4	0,3	0,33	2,2	15	2	174,6	46,4	0	24	174,6	<b>F</b>	<b>I</b>
	1,4	0,3	0,33	2,2	20	2	134,3	61,9	0	24	134,3	<b>D</b>	<b>I</b>
	1	0,3	0,33	2,2	15	2	102,3	46,4	0	24	102,3	<b>C</b>	<b>I</b>
	1	0,3	0,33	2,2	20	2	62	61,9	0	24	62,0	<b>B</b>	<b>I</b>

TAB. 12.15 – Classificazione energetica dell'edificio in riferimento all'uso di una pompa di calore.

Come si nota dalla precedente tabella, l'Epgl non viene mai verificato se non si modifica la trasmittanza originale delle pareti. Invece diminuendo di circa il 30% detta trasmittanza, operazione facilmente ottenibile con uno strato di intonaco termoisolante non troppo spesso, e con 15 mq di moduli fotovoltaici la classe C è pienamente raggiunta. Addirittura 20 mq di moduli fotovoltaici fanno aumentare la classe fino alla B.

Questa seconda ipotesi per quanto risulta applicabile, dal punto di vista impiantistico presenta notevoli costi di investimento che vanno adeguatamente valutati.

## **14 Ipotesi di linee guida per un recupero di tipo bioclimatico**

Come già più volte evidenziato nel capitolo precedente l'applicazione delle norme sull'efficienza energetica risulta poco rispettosa per ciò che attiene la conservazione tipologica ed estetica degli edifici tradizionali. Si è pensato, quindi, di elaborare una metodologia che potesse in qualche modo salvaguardare in parte sia gli aspetti energetici che quelli tipologici ed estetici e che risultasse attuabile nelle zone vincolate dove non è obbligatorio applicare le norme dettate dal D.Lgs 192/05. Si è quindi elaborato, sulla scorta di quanto fin ora analizzato nei precedenti capitoli, delle indicazioni, del tutto generali, ma tali da poter essere adattate ed integrate localmente, anche con aspetti di dettaglio, in funzione della zona climatica e delle caratteristiche tipologiche locali degli edifici da recuperare. Tali indicazioni, pertanto, potrebbero costituire delle *Linee guida per un recupero Bioclimatico* se recepite all'interno di un regolamento edilizio comunale. Diversi comuni in Italia, sulla base delle normative nazionali e regionali, hanno integrato i loro regolamenti edilizi con strumenti normativi atti a regolare la qualità energetica ed ambientale degli edifici. Il comune di Torino, ad esempio, si è dotato di un allegato tecnico al regolamento edilizio che fornisce indicazioni precise ed immediatamente eseguibili di accorgimenti costruttivi finalizzati al risparmio energetico e alla sostenibilità ambientale e contemporaneamente, attraverso l'attribuzione di punteggi per ogni requisito prestazionale realizzato, disciplina l'ammontare degli oneri concessori. Analogamente, tale metodologia applicata al recupero del patrimonio edilizio esistente permette, all'ente locale, sia un controllo sulla conservazione dell'edificio sia un controllo sulle prestazioni energetiche raggiunte. Per quanto riguarda gli oneri concessori, generalmente questi non sono richiesti in caso di ristrutturazioni, però l'individuazione di un parametro che individui la qualità bioclimatica degli edifici tradizionali risulta utile soprattutto in virtù dei diversi contributi che le amministrazioni statali e locali elargiscono per il miglioramento delle prestazioni energetiche. Infatti tale indice potrebbe essere utile nella redazione di un graduatoria di edifici da ammettere a contributo o addirittura valutare, specialmente in presenza di dissesti statici consistenti, se eseguire la demolizione e ricostruzione dell'edificio qualora possibile dal punto di vista urbanistico e vincolistico.

## 14.1 Proposta di un indice parametrico per l'individuazione della qualità bioclimatica.

Si è pensato di esprimere la qualità bioclimatica attraverso la somma di due indici:

- *L'indice bioclimatico di struttura* che tiene conto delle caratteristiche dell'edificio prima del recupero, variabile tra 0 e 1.
- *L'indice bioclimatico di ristrutturazione* che tiene conto degli INTERVENTI realizzati allo scopo di migliorare le prestazioni energetiche dell'edificio, variabile tra 0 e 1.

L'indice bioclimatico totale sarà pertanto variabile tra 0 e 2.

$$I_{btot} = I_{bs} + I_{br}$$

Di seguito si riporta una proposta per il calcolo dei suddetti indici. Tale metodologia non vuole un insieme di regole rigide ed esaustive, ma piuttosto un' approccio alla valutazione dei suddetti indici che potrà essere affinata attraverso la sperimentazione su diversi casi reali.

### 14.1.1 Calcolo dell'indice bioclimatico di struttura

Un'ipotesi per il calcolo dell'indice bioclimatico di struttura è quella che utilizza la media pesata di 6 fattori attribuendo ad ogni fattore un peso diverso a secondo dell'importanza che essi rivestono nel processo di un recupero bioclimatico:

$$I_{bs} = \frac{P_1 \cdot F_b + P_2 \cdot F_o + P_3 \cdot F_{S/V} + P_4 \cdot F_f + P_5 \cdot F_p + P_6 \cdot F_z}{\sum_1^6 P_i}$$

n.	Fattore	Peso
1	Fattore aperture $F_a$	1,50
2	Fattore orientamento $F_o$	1,50
3	Fattore di zona $F_z$	0,75
4	Fattore rapporto di forma $F_{S/V}$	0,50
5	Fattore di falda $F_f$	0,50
6	Fattore di portico $F_p$	0,25

Al fine di poter reperire i dati occorrenti si utilizza la scheda per il rilievo delle caratteristiche bioclimatiche già proposta nel capitolo 10.

1. Fattore aperture  $F_a$ . Questo fattore è quello che riveste maggiore importanza insieme all'orientamento, infatti tiene conto della percentuale di aperture  $\%S_a$  su ogni singola parete. In particolare tiene conto di una percentuale limite<sup>1</sup> di superficie oltre la quale si hanno incrementi considerevoli delle dispersioni termiche e di contro, in estate, incrementi del carico termico.

	NORD	OVEST	SUD	EST
% $S_a$ limite	0,1	0,2	0,3	0,2
Peso	1	1	2	1

Tale fattore pertanto è dato dalla media pesata di altri quattro fattori, di cui uno per ogni esposizione, assegnando un peso maggiore per l'esposizione a sud. In particolare tali fattori crescono linearmente tra la  $\%S_b = 0$  e quella limite, assumendo, relativamente, valori tra 0 e 1. Nel caso in cui, poi, la percentuale dovesse ulteriormente aumentare il Fattore aperture diminuisce fino alla condizione limite in cui  $\%S_b = 1$  (condizione limite senza muro) e assume valore pari a 0.

2. Fattore orientamento  $F_o$ . Questo fattore tiene conto dell'orientamento della facciata dell'edificio più esposta verso sud. Gli orientamenti ritenuti favorevoli, cioè l'angolo che forma la normale alla superficie rispetto al sud, sono quelli compresi tra  $\pm 30^\circ$ . Tale fattore assume valore 0 negli intervalli esterni a  $\pm 35^\circ$ , varia linearmente tra  $-35^\circ$  e  $0^\circ$  assumendo, rispettivamente, valori compresi tra 0 e 1, mentre tra  $0^\circ$  e  $35^\circ$  si hanno valori simmetrici rispetto ai precedenti. Si è scelto il valore limite di  $35^\circ$  in modo che una superficie orientata a  $30^\circ$  non avesse un valore del fattore  $F_o$  pari a zero, ma comunque basso.
3. Fattore di forma  $F_{S/V}$ . Premesso che gli edifici rurali, specialmente quelli isolati, non hanno valori molto alti del rapporto di forma S/V, che pur essendo compatti, rispetto ad un appartamento hanno maggiori superfici disperdenti. Pertanto si è pensato di assegnare  $F_{S/V}=1$  per valori di S/V comunque inferiori a 0.75. Per valori del rapporto di forma S/V compresi tra 0.75 e 0.9,  $F_{S/V}$  varia, in modo lineare, rispettivamente tra 1 e 0. Per tutti gli altri valori di  $S/V > 0.9$ ,  $F_{S/V} = 0$ .

<sup>1</sup> Valori suggeriti dall'Agenzia CasaClima di Bolzano.

4. Fattore di falda  $F_f$ . Tale fattore prende in considerazione la falda esposta a non più di +/- 30° rispetto al sud, pertanto oltre tali angolazioni detto fattore  $F_f = 0$ . Tale fattore varia in funzione del rapporto tra la superficie della falda esposta a sud e la superficie utile dell'edificio. In particolare per valori del rapporto superficie falda e superficie utile comprese tra 0 e 0,3 il valore di  $F_f$  varia linearmente tra 0 e 1, per valori superiori a 0,3  $F_f$  viene assunto pari a 1. Tale fattore infatti tiene conto della possibilità di sfruttare la falda esposta a sud per l'installazione di moduli fotovoltaici e pannelli solari per la produzione di acqua calda sanitaria.
5. Fattore di portico  $F_p$ . Tale fattore prende in considerazione semplicemente la presenza di strutture porticate disposte sulla parete esposta a sud, con orientamento non più di +/- 20°, pertanto il valore di  $F_f$  assume valori 0 e 1. Tale fattore vuole tener conto della possibilità di sfruttare tale volume per la realizzazione di un portico solare o di una serra bioclimatica.
6. Fattore di zona  $F_z$ . Tale fattore prende in considerazione l'ubicazione dell'edificio da recuperare in funzione della radiazione solare del luogo. Infatti occorre verificare se il sito ricade nelle aree *bioclimatiche* scaturenti da cartografie della radiazione solare precedentemente elaborate, pertanto il fattore  $F_z$  assume valori di 0 e 1.

A titolo di esempio si riporta il calcolo dell'indice di bioclimatico di struttura per una tipologia di casa isolata analoga a quella mostrata nel paragrafo 13.5

	NORD	OVEST	SUD	EST		
% Sup finestre	0,01	0,13	0,09	0,07		
% Sup limite	0,1	0,2	0,3	0,2		
Fattore aperture la	0,02	0,13	0,12	0,07	0,10	
Fattore orientamento $F_o$					24	0,09
Fattore di forma $F_s/v$					0,9	0,00
Fattore di falda $F_f$					0,55	0,10
Fattore portico $F_p$					SI	0,05
Fattore di zona bioclimatica $F_z$					SI	0,15
<b>INDICE BIOCLIMATICO STRUTTURA <math>I_{bs}</math></b>						<b>0,50</b>

TAB X.2 Esempio di calcolo dell'indice bioclimatico di struttura.

#### 14.1.2 Elencazione dei requisiti volontari incentivanti.

Di seguito si riportano i principali requisiti che da realizzare ai fini dell'attribuzione dei punteggi per il calcolo dell'Indice bioclimatico di ristrutturazione  $I_{BR}$ . La descrizione, in via generale e in forma di norma, dei suddetti requisiti è riportata di seguito, ma come già detto, dovrà essere verificata e adattata localmente, comune per comune.

##### **1. Prerequisiti obbligatori**

L'edificio dovrà presentare un indice di prestazione energetica globale  $E_{pgl}$ , calcolato con il software gratuito DOCET, che presenti almeno un diminuzione del 50% rispetto a quello prima dell'intervento di ristrutturazione energetica. I dati climatici di riferimento saranno quelli corrispondenti al comune di ubicazione dell'edificio, già presenti all'interno dello stesso software. I muri perimetrali dovranno presentare una trasmittanza più che dimezzata rispetto a quella originaria, uno smorzamento dell'onda termica  $F_a \leq 0,15$  e uno sfasamento dell'onda termica  $S \geq 12$  ore, tale da far risultare l'edificio di Classe I, ai fini del raffrescamento, come dalla classificazione energetica di cui al D.M. 26.06.2009.

Lo smorzamento  $F_a$  che rappresenta il fattore di attenuazione dell'onda termica, e lo sfasamento  $S$  che rappresenta in ore il ritardo temporale dell'onda termica, vanno calcolati con metodi riconosciuti nella manualistica o normativa specifica. Il calcolo del fabbisogno termico deve essere calcolato sulla base di un foglio di calcolo messo a disposizione dall'Amministrazione erogatrice del contributo o con lo stesso software DOCET.

Deve essere presentata adeguata documentazione che illustri la stratigrafia dei muri perimetrali, nonché la misura eseguita con apposita strumentazione della trasmittanza termica delle pareti dell'edificio prima dell'intervento.

##### **2. Analisi del sito eseguita con apposita scheda predisposta dall'amministrazione.**

Va redatta una relazione descrittiva del sito tenendo conto delle seguenti categorie di analisi:

1. Localizzazione geografica dell'area di intervento: latitudine, longitudine, altezza sul livello del mare, stralci planimetrici, ogni altra informazione utile alla localizzazione del sito.

2. Caratteristiche fisiche del sito: pendenze del terreno e suo orientamento, rete scolante superficiale, sezione idrogeologica, particolari condizioni idrogeologiche.

3. Soleggiamento: va analizzato, con grafici adeguati, il diagramma solare e le ombre prodotte da strutture o vegetazione esistenti o in progetto nel sito e nelle sue adiacenze.

4. Venti: vanno analizzati, qualora si dispongano di dati opportuni, con grafici adeguati, direzione, intensità, andamento diurno e notturno dei venti prevalenti nella stagione estiva e nella stagione invernale. Vanno presentate piante e sezioni dell'organismo edilizio possibilmente parallele alle direzioni dei venti e delle brezze, con previsione dell'andamento della ventilazione.

5. Vegetazione: vanno analizzati, con opportune tavole grafiche, gli alberi sul sito o adiacenti, identificandone la posizione, la specie, le dimensioni e le condizioni; vanno suddivisi in alberi rimossi dal progetto, intatti o di nuova piantumazione, caducifolia o sempreverdi, sempre comunque nel rispetto del Regolamento Comunale del Verde.

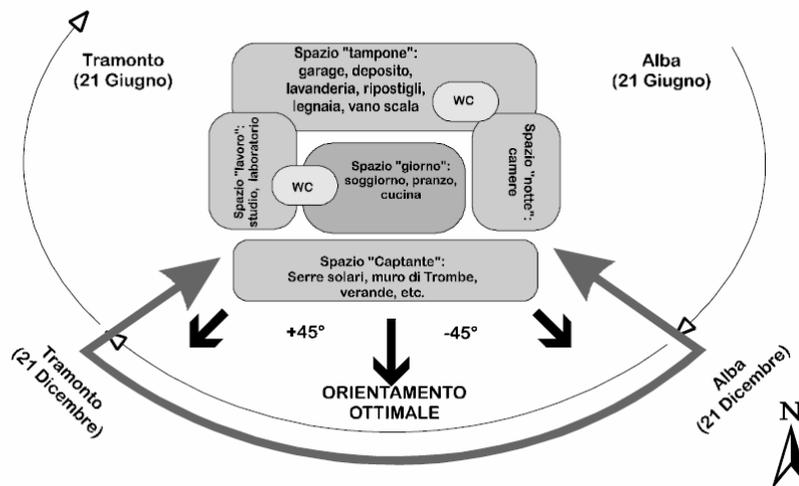
### **3. Verifica dell'integrazione dell'edificio recuperato con il sito**

Va redatta, sulla base dell'analisi di cui all'articolo precedente, una relazione illustrativa del progetto che dimostri il raggiungimento dei requisiti di seguito elencati:

1. Radiazione solare diretta: va garantito accesso al sole per tutto il giorno per tutti gli impianti solari realizzati o progettati; va garantito, qualora possibile, un accesso ottimale alla radiazione solare in modo che la luce naturale risulti quanto più disponibile anche in inverno; le facciate ovest degli edifici vanno parzialmente schermate da vegetazione per limitare l'eccessivo apporto di radiazione solare estiva, lasciando disponibile sufficiente luce naturale. Il progetto deve dimostrare, per le aree rurali aperte, la corretta collocazione di eventuali aree a gioco e di soggiorno esterne in base alla disponibilità di radiazione solare anche in periodo invernale.

2. Venti: va tratto vantaggio dai venti estivi prevalenti per strategie di ventilazione e raffrescamento naturale degli spazi dell'organismo edilizio con affacci degli ambienti su fronti opposti.

3. Distribuzione funzionale: in caso di ristrutturazione completa dell'edificio, i locali di soggiorno dovranno essere situati prevalentemente a sud. In particolare, a Nord, dovranno preferibilmente essere collocati gli ambienti di servizio dell'alloggio: bagni, ripostigli, lavanderie, corpi scala secondo il seguente schema.



#### 4. Albedo

Devono essere utilizzati per pavimentazioni di spazi aperti e coperture, materiali ad alto coefficiente di riflessione totale della radiazione solare (albedo) che permettano di ridurre le temperature superficiali e ridurre i carichi solari nel condizionamento interno.

#### 5. Aree a verde

Si deve disporre la vegetazione in modo tale da massimizzare l'ombreggiamento estivo delle seguenti superfici. Il requisito si intende rispettato se sono applicate gli accorgimenti sotto riportati in ordine di priorità:

1. tetti e coperture privi di impianti fotovoltaici o solari termici.
2. superfici vetrate e/o trasparenti esposte a sud e sud ovest.
3. pareti esterne esposte a ovest.
4. pareti esterne esposte a est e a sud.
5. superfici capaci di assorbire radiazione solare entro 6 metri dall'edificio.
6. terreno entro 1,5 m dall'edificio sui lati est sud e ovest.

Gli alberi utilizzati, necessariamente a foglia caduca, sono piantati a distanze tali che la chioma, nella fase di maturità, sia a non più di 1,00 m di distanza dalla facciata da ombreggiare. Il progetto va verificato con i dati fisici caratteristici del sito e con l'impiego di maschere di ombreggiamento. Le tavole di progetto del verde dovranno contenere indicazione delle essenze arboree e di sezioni edificio-verde. Per i calcoli si farà riferimento alla proiezione al suolo della chioma degli alberi a maturità.

#### 6. Schermature a verde

Vanno utilizzati schermi ibridi quali pergolati in legno su cui vanno fatte crescere piante rampicanti, o piante in appositi alloggiamenti, con idoneo impianto irriguo, per

avere riduzioni dell'assorbimento della radiazione solare in estate. Tale sistema può essere adottato su un sol fronte dell'edificio, e comunque solamente i fronti sud ed ovest, con tutti gli orientamenti intermedi.

### **7. Finestrature.**

Il soleggiamento di ciascuno degli elementi trasparenti delle chiusure degli spazi principali (ad esclusione degli ambienti di servizio) dell'edificio deve essere uguale o superiore all'80% nel periodo invernale ed inferiore al 20% nel periodo estivo. In particolare, se dal punto di vista architettonico sono possibili variazioni e/o integrazione delle bucatore, valgono le seguenti indicazioni:

- privilegiare l'esposizione a sud delle superfici vetrate;
- limitare l'ampiezza o garantire l'ombreggiamento delle superfici vetrate esposte ad ovest;
- limitare l'ampiezza delle superfici vetrate esposte a nord.

Le schermature possono essere realizzate arretrando il serramento rispetto al filo della parete. Il soleggiamento delle chiusure trasparenti va verificato tramite maschere di ombreggiamento o altra visualizzazione con conteggio delle superfici assolate e in ombra.

Tutti i serramenti devono essere ad alte prestazioni di isolamento termico. Le superfici vetrate vanno differenziate nel tipo e nelle dimensioni a seconda dell'orientamento. Sarà inoltre necessario sostituire i vecchi infissi con la stessa tipologia costituita da scuretti o sportelloni interni tali da verificare il rispetto della trasmittanza limite imposta dal D.Lgs 192/05 per quel determinato sito. Qualora l'infisso risultasse ancora in buone condizioni, andranno sostituiti i vetri con adeguato pacchetto vetrocamera.

### **8. Serre bioclimatiche e portici solari.**

Possono essere inseriti sistemi solari passivi nel rispetto delle preesistenti partizioni edilizie in modo che il l'accostamento delle nuove strutture a quelle antiche sia interleggibile con sobrietà e senza contrasto. La tipologia di serra da preferire è quella addossata, con l'altezza al massimo pari a quella di interpiano con esposizione di tre lati alla radiazione solare e comunque orientata a sud.

La falda della serra non dovrà mai essere il prolungamento della falda del tetto, bensì l'attacco con il fabbricato dovrà avvenire sempre al disotto della linea di gronda. E' da evitare assolutamente il cambio di pendenza della falda tra i due corpi.

La struttura portante della serra è preferibile sia realizzata in legno, in modo da assomigliare quanto più possibile a quella del portico.

Qualora la realizzazione della serra non possa essere ben schermata in estate, è possibile realizzare dei portici solari, cioè portici che possono essere chiusi da vetrate mobili in inverno. Tenendo conto che il portico tradizionale è costituito da colonne di mattoni pieni o pilastri in legno, è bene che questi restino sempre in vista quanto più possibile, così pure la trave di legno superiormente a sostenere gli arcarecci. Verranno quindi preferiti sistemi vetrati in cui il telaio è ridotto al minimo e in modo che il portico sia completamente apribile nella stagione estiva.

Qualora, non risultasse possibile la realizzazione di tali volumi, e qualora le partizioni architettoniche lo consentano, possono essere realizzate delle Pareti di Trombe con l'accostamento di pareti vetrate alla muratura massiccia.

### **9. Coperture inclinate e solai piani.**

Le coperture inclinate, previo consolidamento statico e/o antisismico delle strutture di appoggio, vanno realizzate con struttura composta da travatura e tavolato in legno con interposizione di idoneo isolamento e sormontata esternamente da coppi con ventilazione sotto tavolato e sotto coppo. Dal punto di vista architettonico, il bordo delle coperture, costituito da romanelle o cornicioni, dovrà rispettare necessariamente gli aspetti tipologici preesistenti, anche se detti elementi dovessero essere completamente sostituiti.

Inoltre la trasmittanza termica di della struttura di copertura dovrà essere necessariamente inferiore a quella limite imposta da normativa se il sottotetto risulta riscaldato.

Le coperture piane, in alternativa a quanto in precedenza, dovranno essere realizzati con materiali diversi purché abbiano necessariamente le caratteristiche prestazionali imposte dal D.Lgs 192/05 in riferimento alla zona climatica, oltre che avere uno sfasamento dell'onda di calore  $S > 12h$  e un fattore di attenuazione  $F_a < 0.15$ ;

La trasmittanza termica imposta da normativa dovrà necessariamente rispettata anche per il solaio di sottotetto qualora questo non sia riscaldato.

Anche per il piano pavimentale di primo calpestio, sia esso realizzato con solaio o con strato di calcestruzzo su vespaio, dovrà essere necessariamente adeguato da verificare la trasmittanza limite.

## **10. Riscaldamento Invernale**

L'impianto di riscaldamento deve prevedere una centrale termica alimentata da fonti energetiche a basso impatto ambientale e con sistema di distribuzione del calore a bassa temperatura con la predisposizione per il collegamento a collettori solari per l'integrazione al riscaldamento base. In particolare valgono le seguenti prescrizioni per gli elementi costitutivi dell'impianto di riscaldamento:

- l'impianto di riscaldamento non deve essere alimentato da combustibili di origine fossile ad esclusione del gas della rete pubblica o di quello stoccato in appositi serbatoi da interrarsi. Sono utilizzabili tutte le fonti energetiche rinnovabili, la legna e derivati.
- l'impianto tradizionale deve essere predisposto all'agile connessione con collettori solari.
- possono installarsi sistemi di riscaldamento più efficienti, quali pompe di calore, previa disposizione della necessaria superficie di moduli fotovoltaici utili al funzionamento dei predetti sistemi.
- il sistema di distribuzione di calore nei locali adibiti ad abitazione deve essere a pannelli radianti, del tipo a pavimento, a parete o a soffitto e deve funzionare a temperatura media tra mandata e ritorno uguale o inferiore a 40°C.

## **11. Produzione di acqua calda sanitaria**

Il riscaldamento dell'acqua sanitaria deve avvenire tramite pannelli solari almeno per la quota parte uguale o superiore al 50% del fabbisogno medio annuo per abitante equivalente, convenzionalmente fissato, in 2,5 kWh al giorno per abitante. I pannelli devono sempre essere disposti in modo lineare, ordinato e compatto con dimensioni e orientamento omogenei, scegliendo le superfici meno esposte alla vista comprese in un orientamento tra più e meno 30° dalla direzione sud. Il serbatoio ad essi collegato deve essere posizionato al di sotto delle falde del tetto o in altri locali idonei e comunque mai a vista sulle coperture. In base al tipo di superficie su cui vengono collocati i pannelli solari valgono le seguenti prescrizioni:

- sui tetti a falde i pannelli devono essere adagiati completamente sul manto di copertura;
- sui tetti piani i pannelli non devono essere visibili dalla strada;
- I pannelli possono essere anche collocati negli spazi di pertinenza dell'edificio o adagiati sulle falde di tettoie o pergole in legno che hanno una propria struttura architettonica e funzionale.

## **12. Ventilazione naturale e climatizzazione estiva.**

Ai fini del raffrescamento estivo si potranno adottare sistemi di ventilazione naturale degli ambienti che sfruttano la captazione dell'aria da zone esterne più fresche e/o da ambienti o canali sotterranei, con predisposizione di camini e/o di aperture tra solai, funzionali all'uscita di aria calda dall'alto e al richiamo di aria fresca.

In alternativa, se si rendesse necessario l'installazione di un impianto di climatizzazione, questo dovrà essere alimentato da fonti energetiche rinnovabili quali moduli fotovoltaici, e comunque collegati alla rete di distribuzione nazionale dell'energia elettrica al fine di assorbire solo una quota parte di energia elettrica del picco di consumo dell'impianto.

## **13. Fonti energetiche rinnovabili**

Qualora possibile, il fabbisogno energetico annuo dell'edificio deve essere coperto da fonti rinnovabili, quali l'eolico, il fotovoltaico, il solare termico, le biomasse, l'idroelettrico, il geotermico e altre non espressamente indicate. I dispositivi per la captazione dell'energia solare devono essere integrati nel progetto architettonico e disposti sulle coperture dell'edificio. Nel caso di utilizzo di sistemi fotovoltaici, va indicato il rendimento dei pannelli, la superficie ricoperta dai pannelli fotovoltaici, la produzione annua e la percentuale di consumo annuo coperta. Le soluzioni da adottare per l'integrazione dei moduli fotovoltaici sono quelle fornite dal GSE. La soluzione ad integrazione completa prevede la sostituzione del manto di copertura con idonei pannelli di moduli fotovoltaici, o qualora non risultasse possibile, i moduli fotovoltaici vanno disposti a filo sulla copertura. In nessun caso tali moduli possono sporgere dal piano del tetto al fine di ricevere maggiore insolazione. Se la falda del tetto è orientata di oltre +/- 30° rispetto al sud, si dovranno ricercare altre soluzioni quali pensiline o pergole che devono avere valore architettonico proprio, anche in posizione isolata, e comunque assimilabili alle tipologie edilizie preesistenti.

## **14. Materiali isolanti**

Per la coibentazione termica vanno impiegati possibilmente materiali isolanti naturali, con componenti di derivazione di sintesi chimica inferiori al 10% ed esenti da fibre potenzialmente dannose o sospette tali secondo lo stato della scienza. I materiali isolanti termoacustici devono essere permeabili al vapore ed altamente traspiranti; inattaccabili da insetti e roditori, inalterabili nel tempo. Sono altresì ammessi isolanti di sintesi chimica per l'isolamento di terrazzi, tetti piani e muri esterni a contatto con il

terreno. In particolare per la realizzazione del cappotto esterno è da preferirsi un termo intonaco tale da potersi meglio distribuire rispetto ad un isolante a pannelli.

## 15. Colori

I colori da adottarsi sulle pareti esterne dovranno essere necessariamente scelti tra quelli delle tipologie esistenti nelle vicinanze. Inoltre se la coibentazione termica delle pareti è realizzata con sistema a cappotto, sulla rasatura esterna dovranno essere applicati colori chiari o tinte pastello tali da evitare alte temperature superficiali che possano alterare nel tempo la funzionalità dell'isolamento.

### 14.1.3 Ipotesi per il calcolo dell'Indice Bioclimatico di Ristrutturazione I<sub>br</sub>

L'indice bioclimatico di ristrutturazione tiene conto, a livello qualitativo, di tutti gli interventi realizzati a seguito di ristrutturazione energetica dell'edificio. Tale indice scaturisce dalla somma di 13 parametri numerici, secondo la TAB 14.3, corrispondenti agli interventi prima esplicitati. I parametri sono stati stabiliti tenendo conto dell'importanza reciproca dell'intervento eseguito e la loro somma, complessivamente, restituisce un I<sub>br</sub> al massimo pari a 1.

Distribuzione funzionale	0,05
Albedo aree esterne	0,02
Ombreggiamento da alberi	0,04
Ombreggiamento da schermature	0,04
Finestrature con tipologie tradizionali	0,10
realizzazione di serre bioclimatiche o portico solare	0,10
Adeguamento coperture e solai piani	0,10
Riscaldamento da fonti rinnovabili	0,15
Produzione di acqua calda sanitaria da fonti rinnovabili	0,10
Ventilazione naturale e climatizzazione estiva	0,10
Fabbisogno energetico da fonti rinnovabili	0,10
Materiali isolanti naturali	0,05
Colori	0,05
<b>Indice Bioclimatico di ristrutturazione I<sub>br</sub></b>	<b>1,00</b>

TAB. 14.3 Parametri per il calcolo dell'indice bioclimatico di ristrutturazione.

## **14.2 Osservazioni e conclusioni.**

I due indici proposti sicuramente non sono esaustivi nell'indicazione della qualità bioclimatica, ma nel complesso, e per quanto verificato, può dirsi che un edificio con caratteristiche bioclimatiche è caratterizzato da un Indice bioclimatico di struttura superiore a 0,4. Quindi tenendo conto degli interventi di miglioramento energetico attuabili, un edificio con un Indice bioclimatico totale  $I_{\text{Btot}}$  superiore all'unità può considerarsi dotato di buone qualità bioclimatiche.

Tali conclusioni proposte, di cui sopra ipotizzate e formulate, dovranno essere estese ad un considerevole campione di edifici per poter testare la bontà del metodo e del risultato stesso. Infatti in questo capitolo si è voluto mettere in risalto soprattutto la metodologia per la redazione di un disposto normativo energetico ambientale da allegare al regolamento edilizio.

## 15 Conclusioni

Tra soluzioni tipologiche e materiche, libere da squilibri e impatti ambientali, i manufatti rurali, legati a una tradizione esclusivamente lavorativa, riacquistano una nuova valenza in stretta relazione all'intero habitat naturale e paesaggistico. Infatti, essi attingono dall'ambiente circostante tutte le risorse naturali disponibili, non solo materiche, ma soprattutto di esposizione e/o di protezione rispetto ai principali agenti atmosferici. L'exkursus storico analizzato, ha messo in luce come in antico le tecniche di costruzione erano direttamente legate ai percorsi solari in modo da sfruttare al meglio quelli che oggi vengono denominati *apporti solari*. Infatti già dall'epoca dei Sanniti, tali principi erano ampiamente conosciuti, nel seguito elaborati e trascritti, alcuni addirittura codificati, in diversi trattati di scrittori dell'epoca romana. In questo senso l'edilizia rurale, o comunque quella tradizionale in genere, risulta essere in alcuni casi un retaggio, in altri un'evoluzione delle tecniche storiche. Si è rinvenuto, in diversi casi, un orientamento dell'edificio rispettoso di un'esposizione ottimale che sfrutta il massimo soleggiamento. Lo studio della radiazione solare applicato alla ricerca dell'orientamento ottimale ha mostrato come un edificio allungato, con il lato maggiore che guarda a sud, intercetta una maggiore radiazione solare in inverno rispetto a quella estiva. Ovviamente non tutti gli edifici osservati rispettano questi principi, perché a volte sono soprattutto le preesistenze viarie a determinarne gli orientamenti. E' il caso anche dell'edilizia dei centri storici, specialmente per la fascia costiera, che può essere considerata di tipo rurale in quanto le campagne erano scarsamente abitate e le case dei contadini erano dislocate immediatamente fuori della cinta medioevale. La maggior parte dei paesi molisani si adagia su versanti meridionali di colli più o meno acclivi in modo da proteggersi da venti del nord e sfruttare al massimo il soleggiamento invernale. Tali considerazioni, prima scaturite da semplici osservazioni, sono state poi confermate dalla realizzazione, tramite lo strumento del GIS, di apposite mappe della radiazione solare a terra che confermano l'ubicazione dell'insediamento urbano in luoghi esposti ad una maggiore radiazione nel periodo invernale. La metodologia utilizzate per la redazione di tali mappe, oltre quella indicata per l'individuazione di aree *bioclimatiche*, cioè aree non troppo calde d'estate né troppo fredde d'inverno, è già di per sé un risultato in quanto detta applicazione può trovare largo impiego per l'individuazione di nuove aree urbane da destinare ad un sistema urbanistico di tipo solare, oltre che individuare le zone rurali dove ha senso eseguire un recupero

energeticamente sostenibile del patrimonio edilizio esistente. L'individuazione delle caratteristiche bioclimatiche degli edifici rurali è stata attuata mediante una scheda di indagine attraverso cui scaturiscono, principalmente, rapporti geometrici di forma, esposizione e tipologie murarie. Tale metodologia proposta risulta utile soprattutto per comparazione degli aspetti bioclimatici di diversi edifici, non solo ai fini dell'ottenimento di contributi pubblici, ma anche per la redazione di regolamenti edilizi finalizzati ad un recupero energeticamente sostenibile.

Anche gli infissi, seppur in certi esempi quasi rudimentali rispetto a quelli odierni, presentano la stessa logica per quanto attiene ai principi di isolamento. Non solo non esistono finestre senza scuretti, ma in diverse zone più marcatamente fredde, si rinvengono delle interessanti tipologie di doppio infisso, di cui quello esterno vetrato e quello interno costituito da due sportelloni. Seppur, nella maggior parte degli edifici osservati, gli infissi sono praticamente inesistenti o non recuperabili, le diverse tipologie riscontrate risultano, con opportuni accorgimenti del sistema vetrato, completamente riproponibili. Infatti la presenza di sistemi oscuranti interni in legno massiccio, conferiscono all'infisso stesso una buona resistenza termica aggiuntiva da verificare la trasmittanza limite imposta dalla normativa vigente. Si è visto inoltre che la finestra non serve solo a chiudere l'edificio all'esterno, ma, per quelle aperture orientate verso sud, contribuiscono al riscaldamento dell'edificio in inverno. L'utilizzo di sistemi vetrati, quali muri di *Trombe*, contribuiscono ulteriormente ad elevare l'apporto energetico da fonti rinnovabili. Infatti l'installazione di ulteriori sistemi passivi, quali la serra solare addossata alle pareti esterne esposte a sud, consente un ottimale sfruttamento della radiazione solare in inverno. Tale elemento, anche se estraneo all'architettura tradizionale, mostra grande versatilità nell'utilizzo e nell'integrazione architettonica, specialmente degli edifici rurali. Inoltre, partendo dal modello funzionale di una serra solare è stato sviluppato un modello di portico solare che meglio si integra architettonicamente con l'edilizia esistente oltre che fornire prestazioni energetiche di poco inferiori a quelle della serra. Tale modello, infatti, prevede la chiusura di un portico perfettamente orientato a sud con delle vetrate mobili, in modo che in inverno si comporti allo stesso modo di una serra, ed in estate, quando le vetrate vengono completamente aperte, lo spazio sotteso dal portico resta completamente ombreggiato alla stregua di un normalissimo portico.

Tuttavia se le soluzioni proposte risultano competitive dal punto di vista architettonico ed energetico, le murature tradizionali, soprattutto quelle eseguite in pietra calcarea

di cui il Molise è ricco, presentano sia vantaggi che svantaggi. L'analisi del comportamento estivo ha evidenziato uno sfasamento dell'onda di calore molto alto, superiore alle 12 ore, così pure il fattore di attenuazione risulta molto ridotto tanto da rendere questo tipo di muratura molto competitive dal punto di vista energetico nel periodo estivo. Nel periodo invernale, invece, la notevole inerzia termica tende a far accumulare calore alla parete, ma di contro questa presenta un'elevata trasmittanza termica, molto lontana dagli standard normativi. Ecco che la necessità di conservazione del patrimonio rurale si contrappone a quella di aumentare le prestazioni energetiche. I risultati ottenuti sono quelli che vedono questi edifici stravolti da enormi spessori di strati isolanti atti a diminuire le dispersioni termiche nel periodo invernale. Tuttavia, l'attuale normativa, non impone l'obbligo del miglioramento delle prestazioni energetiche per gli edifici tutelati, sia attraverso vincoli architettonici che paesaggistici, quando le caratteristiche architettoniche e storico-artistiche potrebbero essere compromesse, né prevede "sconti" di trasmittanza per il resto del patrimonio edificato. Il risultato è che, specialmente nei territori del Molise centrale dove non sussistono vincoli paesaggistici, l'architettura rurale, o comunque quella tradizionale in genere, rischia di essere completamente velata da "cappotti" isolanti, o da sofisticate apparecchiature impiantistiche, che ne annullano totalmente il linguaggio formale. In questo senso l'attuale normativa andrebbe rivista, consentendo il miglioramento delle prestazioni energetiche, per valori ridotti, o comunque meno forzati, soprattutto per quanto riguarda la trasmittanza delle pareti del patrimonio costruito. Non da meno l'esigenza, ormai divenuta norma, della certificazione energetica degli edifici, nata principalmente con lo scopo di influenzare il mercato immobiliare, esaspera ulteriormente proprietari e progettisti. Infatti gran parte del costruito tradizionale è di classe G, ma seppur ristrutturato dal punto di vista energetico con notevoli stravolgimenti, tale patrimonio non va oltre la classe C.

Resta ancora aperto il dibattito sull'autorizzazione all'inserimento di pannelli solari e moduli fotovoltaici sui tetti, che anche se considerati ormai "interventi lievi" devono comunque essere autorizzati in ambiti paesaggistici vincolati.

L'aspetto energetico-normativo, in generale, non sembra essere rispettoso delle esigenze di conservazione.

## Bibliografia

G. Ausiello, *Il paesaggio rurale della Campania, architettura e caratteri costruttivi*, Luciano Editore – Napoli 2000.

A. Badagliacca, *Fondamenti di trasmissione del calore* – ARACNE Editore, 1997.

G. Barbera, M. Ala, *L'uso tradizionale della vegetazione nel regolare il microclima*, in *Catalogo tipologico degli elementi dell'architettura mediterranea*. Officine Tipografiche Aiello e Provenzano – Palermo 2006.

G. Barbieri, *La casa rurale in Italia* (CNR ricerche sulle dimore rurali in Italia). L.S.Olschki Editore, Firenze 1982.

C. Benedetti, *Manuale di architettura bioclimatica*, Maggioli Editore – Ravenna 1994.

C. Benedetti, *Progetto Ambiente* – Edizioni Kappa - Roma 2003

D. Bori, *Il raffrescamento passivo degli edifici*, Sistemi editoriali SE - Napoli 2004.

C. Brandi, *Teoria del restauro*, Einaudi Editore - Torino 1963.

I. Canas, S. Martin, *Recovery of Spanish vernacular construction as a model of bioclimatic architecture*, in *Building and Environment*, Vol. 39 – 2004.

S. Carnevale, *L'architettura della transumanza*, Palladino Editore – Campobasso 2005.

A. Carotti, D. Madè, *La casa passiva in Italia*. Opuscolo Rockwool - Milano 2006.

M. Cataudella, *La casa rurale nel Molise*, L.S.Olschki Editore, Firenze 1982.

D. Cialdea, *Il Molise terra di transito, i tratturi come modello di sviluppo del territorio*, Editrice Arti Grafiche La Regione - Campobasso 2007.

D. Cialdea, *L'edilizia rurale in Molise, un'ipotesi di catalogazione*, Editrice Arti Grafiche La Regione - Campobasso 2007.

A. Cianciullo C. Gallo, *Costruire con il sole* – Ises Italia - Roma 1995.

Colummella, *De re rustica* (a cura di R.Calzecchi Onesti) – G.Einaudi, Torino 1977.

A. Cicogna, *Stima della radiazione solare nella zona DOC Colli Orientali del Friuli*, tratto da [www.agrometeorologia.it](http://www.agrometeorologia.it).

H. Coch, *Bioclimatism in vernacular architecture*, *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, Vol 2 – 1998.

A.P. Conti, *Il recupero di una casa di terra*, EdicomEDizioni – Monfalcone 2007.

CNR, *Guida al controllo energetico della progettazione* - Roma 1985.

- P. Davoli, *Architettura senza impianti*, Alinea Editrice - Firenze 1993.
- G. De Benedicts, *La Casa di LN* – Studio Emmezeta, Campobasso 1988.
- S. De Pascalis, *Progettazione bioclimatica*, Editore Priulla S.r.l. – Palermo 2005.
- B. De Sivo, *Appunti di Architettura Tecnica*, Edizioni CUEN – Napoli 1991.
- Dispense del corso di complementi di fisica tecnica ambientale, Facoltà di Architettura - Università di Genova.
- DPR 59/09, Attuazione del DLgs 192/05, Sintesi ANIT* – 2009.
- J.A. Duffie, W.A. Beckman, *L'energia solare nelle applicazioni termiche*, Liguori Editore – Napoli 1978.
- Efficiency Research Group, *Passivhaus per il sud dell'Europa*, Opuscolo Rockwool - Milano 2007
- ENEA – *Profilo Climatico dell'Italia* – Archivio DBT, Vol. 5
- Energy Research Group, *Bioclimatic Architecture* (Thermie Programme Action No Dis-0162-95-Irl) – Dublin. 1998.
- P. Erlacher, R. Erlacher, *Casaclima in muratura, un manuale*. Edition Raetia, Bolzano 2007
- D. Francese, *Architettura Bioclimatica* – UTET - Torino 1996.
- A.D. Granja, L.C. Labaki, *Influence of external surface colour on the periodic heat flow through a flat solid roof with variable resistance*, in International Journal of Energy Research, Vol. 27 – 2003
- P. Guccini* – Excel Macro Pocket – Apogeo Editore - Milano 2000
- M.Hack, *Vi racconto l'astronomia*, Editori La Terza – Roma 2006
- Indagine statistica sulle case rurali*, in Annali di statistica dell'Istituto centrale di statistica- Roma 1933.
- T.H. Kuehn, J.W. Ramsey, J.L. Threlkeld, *Thermal Environmental Engineering*, Prentice Hall, N.J. 1997.
- L.C. Labaki, D.C.C.K. Kowaltowski, *Bioclimatic and vernacular design in urban settlements of Brazil*, Building and Environment, Vol. 33 – 1998.
- N. Lantschner, *Casaclima, il piacere di abitare*, Casa editrice Athesia, Bolzano 2007
- Linee Guida Nazionali per la Certificazione Energetica*, Sintesi ANIT – 2009.

A. A. Maciela, B. Fordb, R. Lamberts, *Main influences on the design philosophy and knowledge basis to bioclimatic integration into architectural design—The example of best practices*, in Building and Environment, Vol. 42 – 2007.

D. Mariani, *Il Sole*, opuscolo SUPSI Scuola universitaria professionale della Svizzera italiana – Canobbio CH.

L. Marino, *Materiali da costruzione e tecniche edili antiche*, Alinea Editrice – Firenze 1991.

C. Mennella, *Il clima del medio Adriatico*, Vol. 6, F.lli Conte Editori - Napoli 1973.

P. Montanaro, *Il trullo: un esempio di architettura bioclimatica*, tratto da "Locorotondo, rivista di economia, agricoltura cultura e documentazione", Vol. n.5 – Grafischena Editore – Fasano 1989.

G. Mottura, A. Pennisi, *Progettare sistemi di protezione solare degli edifici*, Maggioli Editore – Ravenna 2006.

National Renewable Energy Laboratory, *Passive Solar Design for the Home*, U.S. Department of Energy - 2001

G. Nebbia e G. Righini, *L'energia solare e le sue applicazioni*, Feltrinelli - Milano 1966.

V. Olgyay, *Progettare con il clima* – Franco Muzzio Editore – Padova 1990

G. Pahl, *Il riscaldamento naturale della casa*, Franco Muzzio Editore - Roma 2006.

W. Pedrotti, *Il grande libro della bioedilizia*, Giunti Editore – Milano 2006.

Progetto Villas, *Edifici rurali e paesaggi della Provincia di Campobasso*, Tipografia Fotolampo – Campobasso 2006.

A. Rogora, *Architettura e bioclimatica*, Esselibri – Napoli 2003

M. Sala, *Recupero edilizio e bioclimatica* – Officina Grafica Iride - Napoli 2004

U. Sasso, *Il nuovo manuale europeo di bioarchitettura*, Mancosu Editore, Roma 2007

C. Schittich, G. Staib, D. Balkow, M. Schuler, W. Sobek, *Atlante del vetro*, UTET – Torino 2007.

A. Sillani, P. Salerno, *I principi ispiratori per un'architettura bioclimatica* in Politiche energetiche ed ambiente, Rivista Giuridica Ambiente Diritto – Roma 2004

F. Valente, *Venafro, origine e crescita di una città*, Edizioni Enne - Campobasso 1979

Vitruvio, *De Architettura* (a cura di F. Bassolino) – Edizioni Kappa, Roma 1998

U. Wienke, *Il sole nell'urbanistica nell'architettura dell'antichità* - tratto da [www.miniwatt.it](http://www.miniwatt.it)

C. Zappone, *La serra solare*, Esselibri – Napoli 2005

L. Zevi, *Il nuovissimo manuale dell'architetto*, Mancosu Editore - Roma 2003

AA.VV. *Costruire in Pietra fra tradizione e innovazione*, Atti del convegno internazionale, Luciano Editore – Napoli 2007.

AA.VV., *Solar Energy Houses* – IEA (International Energy Agency) , London 2003.

AA.VV. *Architetture di Terra nelle Marche* (a cura della Direzione per i Beni Culturali e Paesaggistici delle Marche) – Edizioni Tecnostampa, Recanati 2005.

AA.VV. *Sportello Bioedilizia*, opuscolo Environment Park – Torino 2005

AA.VV. *Progetto Bioclima*, Opuscolo ANPEL Associazione Nazionale Produttori Elementi Leca, Milano 1996.

#### **Principali Norme Tecniche di riferimento consultate:**

Norma UNI 10349

Norma UNI 10351

Norma UNI 10375

Norma UNI ISO EN 13786

Norma UNI ISO EN 10077

Norme UNI TS 11300

Raccomandazioni CTI – R 03/3

#### **Principali atti normativi consultati:**

D.Lgs. 42/04

D.P.R. 412/93

D.Lgs. 192/ e s. m. i.

D.P.R. 59/09

D.M. 26.06.2009

Allegato Energetico Ambientale al regolamento edilizio della Città di Torino;

Linee Guida per la valutazione della qualità energetica ed ambientale degli edifici in Toscana.

## Siti internet per consultazione :

- [www.casediterra.it](http://www.casediterra.it) - Centro di documentazione sulle case di terra – Casalincontrada (CH)
- [www.caspur.it](http://www.caspur.it) - Emeroteca virtuale della Biblioteca dell'Università del Molise
- [www.laterizio.it](http://www.laterizio.it) - ANDIL Asso Laterizi
- [www.azenziaclima.it](http://www.azenziaclima.it) - Agenzia Casa Clima
- [www.rete.toscana.it/sett/pta/svilsost/bioedilizia.htm](http://www.rete.toscana.it/sett/pta/svilsost/bioedilizia.htm) - Linee guida per la valutazione della qualità energetica ed ambientale degli edifici in Toscana
- [www.torinoenergiambiente.com](http://www.torinoenergiambiente.com) - Allegato energetico ambientale al regolamento edilizio della città di Torino.
- [http://213.212.128.168/bioedilizia/be\\_progetto.htm](http://213.212.128.168/bioedilizia/be_progetto.htm) - Requisiti per la sostenibilità ambientale degli edifici, a cura di Environment park
- [http://www.cenerg.ensmp.fr/ease/easee\\_about.html](http://www.cenerg.ensmp.fr/ease/easee_about.html) - EASE Education of Architects on Solar Energy and Ecology
- <http://www.fire-italia.it/> - Federazione Italiana per l'uso razionale dell'energia
- <http://clisun.casaccia.enea.it/ArchivioDBT/Pagine/Index.htm> - Archivio ENEA-DBT
- <http://wrdc.mgo.rssi.ru/> - *World Radiation Data Centre*
- <http://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/register.cgi> - *NASA Surface meteorology and Solar Energy*
- <http://www.meteoam.it/> - Servizio Meteorologico Aeronautica Militare
- <http://solardat.uoregon.edu/> - University of Oregon, Solar Radiation Laboratory
- [www.miniwatt.it/](http://www.miniwatt.it/) - sito sull'efficienza energetica
- <http://www.cenerg.ensmp.fr/english/index.html> - Center for Energy and Processes
- <http://www.anit.it> - Associazione Nazionale per l'Isolamento Termico e acustico
- [www.laterificiopugliese.it](http://www.laterificiopugliese.it)
- <http://inedilizia.altervista.org>
- <http://www.finstral.com/> - Finestre, serramenti, infissi, verande e vetrate
- <http://www.wicon.it/> - Finestre, serramenti, infissi, verande e vetrate
- <http://www.vitralux.it/> - Produzione vetri
- <http://www.fourseasonssunrooms.com/> - verande e vetrate
- <http://www.basf.com/> - Tecnologie e Materiali per l'Edilizia
- <http://www.rockwool.it/> - Tecnologie e Materiali per l'Edilizia
- <http://www.maxfor.com/> - Tecnologie e Materiali per l'Edilizia
- <http://www.celenit.it> - Isolanti naturali
- <http://www.calce-tcs.it/> - Prodotti per l'edilizia a base di calce
- <http://www.anab.it> - Architettura naturale