



UNIVERSITA' DEGLI STUDI ROMA TRE

**USO DI MATERIALI RIFLETTENTI PER RIDURRE I
CARICHI TERMICI NEGLI EDIFICI**

LAUREANDO

Pier Gabriele Rossi

RELATORE

Prof . Aldo Fanchiotti

ANNO ACCADEMICO 2005 - 2006

A tutti coloro che leggeranno

L'energia è la capacità di un corpo o di un sistema di compiere un lavoro: definizione classica e scientificamente ineccepibile, che forse però non rende a sufficienza il senso e la portata di uno dei concetti cardine della vita moderna. L'energia, del resto, non è nata con l'uomo, ma con l'universo: è "dentro" la natura, in una cascata d'acqua che scroscia come nel calore del Sole. Rispetto agli uomini primitivi abbiamo un vantaggio: tocchiamo con mano, tutti i giorni, un'altra "verità" di quelle che si leggono sui libri di scuola, e cioè che l'energia non si crea né si distrugge, ma si trasforma soltanto. Ce ne accorgiamo vedendo che l'energia elettrica della presa fa funzionare sia lo scaldabagno che la lampadina: si trasforma, cioè, in energia meccanica, energia termica ed energia luminosa. Con il progredire della civiltà, il "lavoro" dell'uomo è diventato sempre più complesso, le esigenze si sono moltiplicate, il bisogno di energia per soddisfarle è diventato uno dei problemi centrali dell'umanità. Oggi, non esiste attività organizzata dall'uomo per la quale non ci sia necessità di produrre energia, e gran parte di questo fabbisogno è soddisfatto dall'energia prodotta dalla combustione delle fonti fossili: carbone, petrolio, gas naturale (metano). Tutte fonti non rinnovabili, derivate da materiale organico accumulatosi nel terreno attraverso millenni e destinate prima o poi ad esaurirsi.

L'uso razionale dell'energia, è la sola scelta sensata, anche e soprattutto per i molti rischi che la produzione di energia, specie quella ottenuta dalla combustione delle fonti fossili, comporta per l'ambiente e la salute.

INDICE

INTRODUZIONE	5
1. Lo sviluppo sostenibile e il protocollo di Kyoto	
Quadro internazionale	
La domanda di energia in Italia	
Il condizionamento.....	
2. Il risparmio energetico	
Vernici riflettenti	
L'isola di calore	
Principi generali.....	
3. Misura sperimentale del coefficiente di riflessione solare di materiali da costruzione	
La radiazione solare	
Coefficienti di riflessione, assorbimento e trasmissione	
Misura di ρ	
Variazione della temperatura delle superfici al variare di ρ	
Caratteristiche UV, luminose ed energetiche dei campioni	
4. Prove su edificio	
La casa intelligente	
Le prove	
Risultati	
5. Simulazioni numeriche	
Il codice Trnsys	
Modello campione	
Le simulazioni	
Risultati	
6. Conclusioni	
Ringraziamenti	
Bibliografia	

INTRODUZIONE

Negli ultimi tre decenni l'impatto dell'attività umana sull'ambiente naturale è stato sconvolgente: nonostante una crisi petrolifera mai del tutto risolta, l'uso globale di energia ha avuto un incremento del 70% e si prevede che per i prossimi 15 anni possa aumentare notevolmente, soprattutto su spinta delle grandi nazioni in sviluppo crescente. La riduzione dei consumi energetici, negli ultimi anni, è diventata un imperativo irrinunciabile per arginare il cosiddetto effetto serra ed i suoi ben noti danni sull'ambiente. La climatizzazione estiva degli edifici, specie quelli del terziario, è diventata da tempo una fetta importante del fabbisogno energetico nazionale. La ricerca del comfort, tuttavia, dovrà sempre di più considerare in modo congiunto due esigenze: risparmio energetico e salvaguardia dell'ambiente. Qual è l'attuale dimensione del mercato del condizionamento? Come si evolverà nei prossimi anni? Quali potranno essere le azioni più efficaci per guidare la sua espansione garantendo il minimo impatto?

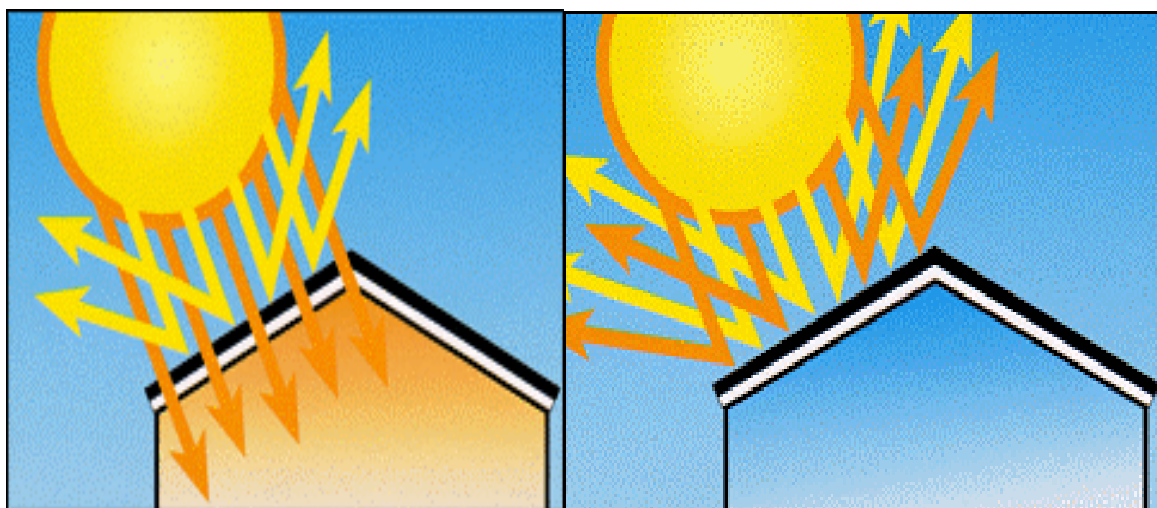
Scelte oculate e intelligenti consiglierebbero di indirizzarsi già oggi verso sistemi costruttivi che permettano una significativa diminuzione dei consumi, soprattutto perché la tecnologia è già disponibile e utilizzata da diversi anni in alcuni paesi europei, precursori in questo campo. Lo dimostrano gli edifici a basso consumo energetico e l'edificio passivo, che vanno oltre il concetto di semplice riduzione dei consumi, mediante isolamento dell'involucro, mirando alla massima efficienza energetica attraverso l'integrazione tra edificio ed impianti.

Le alte temperature nei centri urbani portano un aumento dei consumi energetici dovuto soprattutto all'utilizzo spropositato di aria condizionata sia nel settore residenziale sia in quello del terziario. Le città sono caratterizzate infatti per la maggior parte della loro estensione da superfici asfaltate e edificate

comportando un'assorbimento della radiazione solare molto alta, gli spazi verdi invece sono normalmente molto pochi.

I materiali scuri, normalmente utilizzati in edilizia per tetti e muri esterni, assorbono di più la radiazione del sole, è noto a tutti infatti che se si indossa una maglietta nera in una giornata di sole si ha più caldo. Le superfici nere sotto il sole possono diventare più calde di quelle più riflettive bianche di 40 C . Se queste superfici sono tetti, parte del calore assorbito si trasferisce all'interno . Un ambiente confortevole sotto un tetto molto scuro richiede un forte uso di aria condizionata e quindi energia. Inoltre essi riscaldandosi fino a temperature elevate contribuiscono all'effetto dell'isola di calore. Al contrario utilizzando tetti ad alto coefficiente di riflessione possono ridurre tale effetto.

Diventa molto facile intuire come l'uso di vernici con alta riflessione sulle superfici esterne di edifici come tetti e muri esterni possa migliorare le condizioni climatiche degli spazi urbani e ridurre il fabbisogno energetico nelle nostre case.



Tetto con vernici convenzionali

Tetto con vernici riflettenti

Questo lavoro si occuperà di quantificare i benefici tratti dall'utilizzo di particolari vernici per tetti. Tali vernici infatti sono dotate di coefficienti di riflessione molto alta comportando un bassissimo assorbimento della radiazione solare . La ricerca include misure e dimostrazioni dell'effettivo risparmio nell'arco di un anno per un edificio utilizzato per uffici in termini di energia primaria. Il lavoro si svolgerà in diverse parti , una prima si occuperà dell'analisi sperimentale del coefficiente di riflessione nelle superfici per l'edilizia tramite uno studio applicato a dei campioni di vernici. Grazie al laboratorio sperimentale del vetro di Murano, dove sono state fatte le misurazioni con uno spettrofotometro Perkin-Elmer mod. Lambda 900, si è potuto osservare le caratteristiche spettrofotoniche dei campioni presi in esame tra cui spiccano le proprietà riflettenti delle vernici bianche. La seconda parte si dedicherà all'analisi nel particolare di un edificio sperimentale situato nel centro Casaccia dell' ENEA. In questo stabile, monitorando gli ambienti interni ed esterni, verrà fatto un confronto delle condizioni climatiche tra due tipi di rivestimenti per tetti. Nel primo caso si tratta di una vernice normalmente utilizzata negli edifici moderni con assorbenza medio alta e nel secondo caso utilizzando una vernice particolarmente riflettente per il tetto. L 'ultima parte della tesi svilupperà lo studio dei carichi termici annuali attraverso il programma di simulazione TRNSYS di uno stabile per uffici analizzando gli effettivi guadagni ottenuti a seconda del coefficiente di riflessione del tetto e dei muri esterni, modificando il numero dei piani, la capacità termica della struttura , il livello di isolamento dell'edificio e la posizione geografica, prendendo quattro città campione: Roma, Napoli, Olbia e Palermo. Come risultato si avrà il risparmio energetico ottenuto grazie alle vernici riflettenti nell'arco di un anno.

Una personale curiosità verso la tematica dell'innovazione in edilizia ed in particolare dell'efficienza energetica, mi ha spinto a sviluppare e proseguire la ricerca svolta per il lavoro di tesi, riguardante gli edifici passivi ed a basso consumo energetico ed il loro sviluppo in Italia .

Capitolo 1

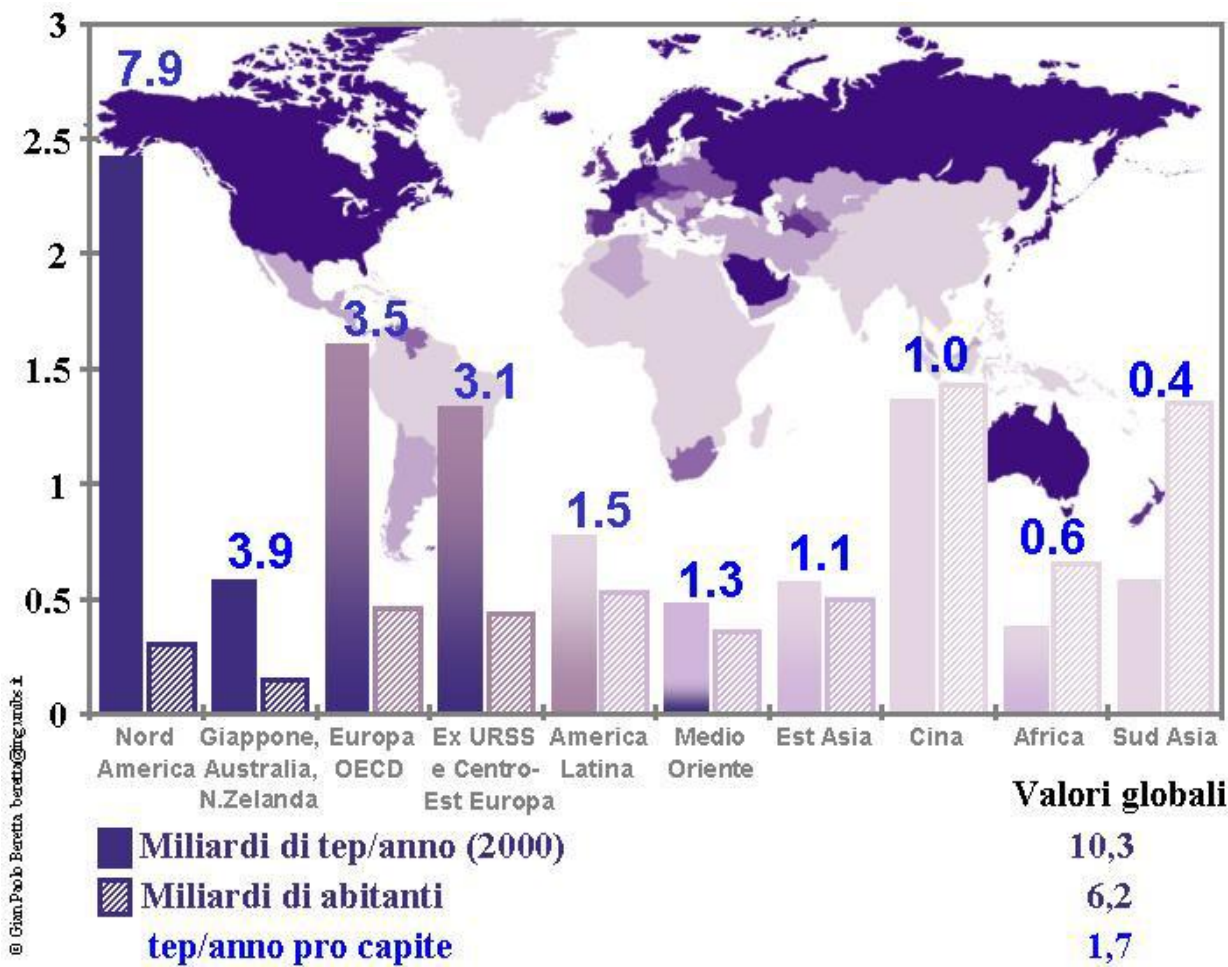
SVILUPPO SOSTENIBILE E IL PROTOCOLLO DI KYOTO

Il settore energetico mondiale è attualmente in un periodo di transizione. Le riserve di combustibili fossili diminuiscono gradualmente ed il loro impiego è reso difficile da questioni ambientali ed economiche. Infatti, la sfida per il futuro sarà quella di conciliare le due contrastanti esigenze che vanno delineandosi a livello globale: la crescita della domanda mondiale di energia ed il relativo aumento dell'impatto ambientale, locale e globale, dovuto alle attuali fonti di energia. In questa ottica ed a fini cautelativi è nato il protocollo di Kyoto che, pur non essendo ancora stato ratificato dalla maggior parte dei paesi firmatari, ha avuto comunque il merito di promuovere iniziative concrete per avviare interventi finalizzati prioritariamente all'uso razionale dell'energia, al miglioramento dell'efficienza dei processi e al graduale passaggio verso combustibili a minor contenuto di carbonio. In questo capitolo, si cercherà di delineare le future strategie energetiche europee ed italiane nell'ottica di uno sviluppo sostenibile, che vede anche il nostro paese alla ricerca di tecniche innovative per lo sfruttamento di nuove fonti per poter superare l'era dell'energia fossile. La sfida è molto ardua, vista la sempre crescente richiesta di energia elettrica e le caratteristiche dell'attuale parco di produzione elettrica italiano. Per un'analisi più accurata delle specificità del sistema elettrico italiano, nel suo complesso di apparati di produzione, vettoriamento e di utilizzo dell'energia elettrica si rinvia all'approfondimento sul quadro nazionale.

Riguardo ai consumi energetici, andrebbero comunque evitati sprechi ed inefficienze, ma non si può far a meno di constatare che un sufficiente approvvigionamento energetico fa parte dei più elementari diritti umani.

Oggi il consumo mondiale di energia si attesta a 10,3 miliardi di TEP (Tonnellate equivalenti di petrolio), pari a 1,7 TEP/anno pro capite. Tuttavia sussistono differenze enormi (fig. 1.3): si va dai 7,9 TEC all'anno pro capite negli USA, ai 0,6 in Africa.

figura 1.3 – Disponibilità energetica pro-capite in TEP [3]



La domanda mondiale di energia è cresciuta rapidamente dal 1900 ad oggi (vedere figura seguente). L'attuale ritmo di incremento della richiesta energetica in Italia e, più in generale, nel mondo è ormai abbastanza costante da alcuni decenni.

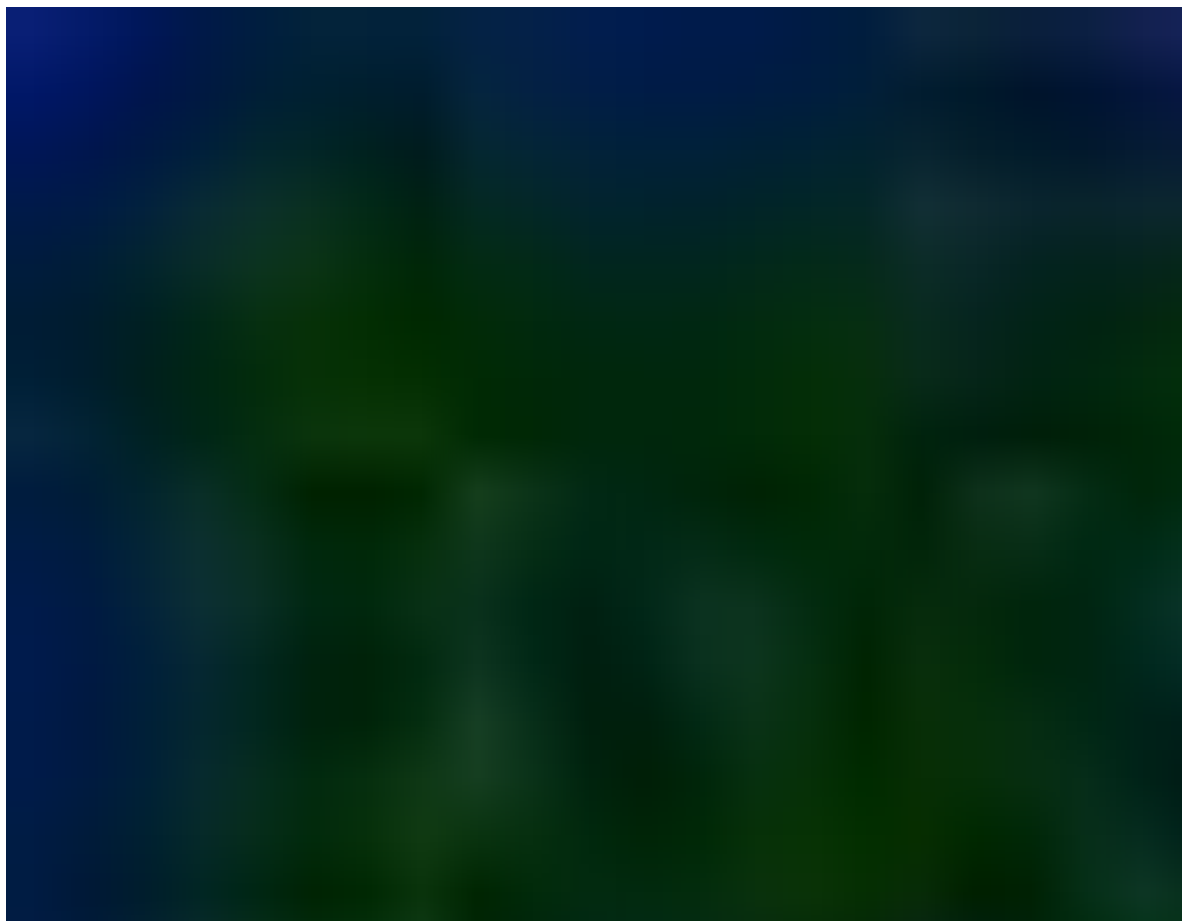


Figura 1.4 - Consumi mondiali di energia, in Tep (tonnellate equivalenti di petrolio), dal 1850 ai giorni nostri [3]



figura 1.5 - Trend dei consumi energetici mondiali previsto dal World Energy Outlook 2001

I paragrafi che seguono hanno lo scopo di fornire delle indicazioni sugli aspetti energetici ed ambientali nell'edilizia. Compito di questa prima fase della ricerca è di fornire alcuni dati, come premessa all'attività che sarà presentata nel resto del lavoro.

Quantificare i consumi e le risorse disponibili in modo accurato è un compito molto complesso, specialmente lavorando su macrosistemi. Esiste una notevole mole di informazioni di informazioni in materia, proveniente da Enti di ricerca, organi istituzionali, eccetera. Tuttavia esiste una notevole incertezza sulla loro stima accurata, poiché, oltre che numerosi, i dati presentati dipendono spesso dalle figure che li distribuiscono. Per fornire un quadro esauriente della situazione, i dati sono presentati a partire da un livello molto generale (internazionale), per scendere sempre più nel dettaglio (regionale).

Quadro internazionale

La valutazione dell'efficienza energetica di una nazione è una materia molto complessa, in genere semplificata introducendo indicatori. Uno largamente usato è l'intensità energetica, definita come rapporto tra consumo energetico (kTep, MWh ecc.) ed un indicatore di attività misurato in termini monetari, ad esempio PIL o valore aggiunto. L'intensità energetica consente di valutare le variazioni dell'efficienza energetica sia settoriale che complessiva, variazioni che vanno considerate sia se originate da fenomeni volontari, ad esempio politiche di risparmio energetico, sia se dovute a fenomeni casuali, ad esempio aumento del valore aggiunto.

In molti casi per avere informazioni più dettagliate è utile disaggregare i dati di natura complessiva, passando da indicatori economici ad indicatori tecnico-economici, attraverso normalizzazioni di tipo fisico. Così i consumi energetici si possono esprimere in funzione del clima, usando i gradi giorno come parametro fisico di normalizzazione. Questi rapporti si definiscono consumi unitari o specifici.

A seguire sono presentati una serie di dati che permettono di comparare il comportamento energetico dell'Italia rispetto ad altri Paesi industrializzati. Le prime indicazioni provengono da fonte dell'IEA (International Energy Agency) e consentono di valutare l'efficienza per il settore residenziale e per il terziario, in diversi paesi. Questi dati fanno parte di uno studio più ampio sui consumi energetici nei vari settori che riguarda: il settore civile, già citato, i trasporti e l'industria.

Il primo dato, riportato in Fig.1.2, è di tipo climatico, esso esprime l'andamento dei gradi giorno effettivi, calcolato come differenza tra temperatura media giornaliera ed una di riferimento, generalmente di 18°. Alcune considerazioni utili per l'interpretazione dei grafici successivi sono:

- Notevoli variazioni dei gradi giorno si registrano in funzione dell'anno, questo dato è molto importante da considerare al momento di effettuare qualsiasi

analisi comparativa sui consumi annuali. Non pesare i consumi energetici con la maggiore o minore severità del clima porterebbe ad analisi errate.

- L'Italia presenta dei carichi termici invernali ridotti rispetto a molti Paesi e questo è importante ai fini delle scelte energetiche da compiere, ma anche per comparare correttamente i consumi con gli altri paesi.

I seguenti grafici riguardano separatamente il settore residenziale ed il terziario. Le ragioni che spingono a disaggregare i dati sono di diversa natura, e riguardano sia le caratteristiche fisiche degli edifici, sia il comportamento di chi li occupa e li gestisce. Aggregare i due settori farebbe perdere a questa analisi importanti aspetti economici, gestionali e tecnologici. Gli aspetti su cui i due settori divergono sono:

- Mix delle fonti e degli usi di energia;
- Ore del giorno in cui l'energia è utilizzata;
- Dimensioni, localizzazione e tipo di edificio;
- Livello di management energetico;
- Differenti politiche applicate, o da applicare, al settore.

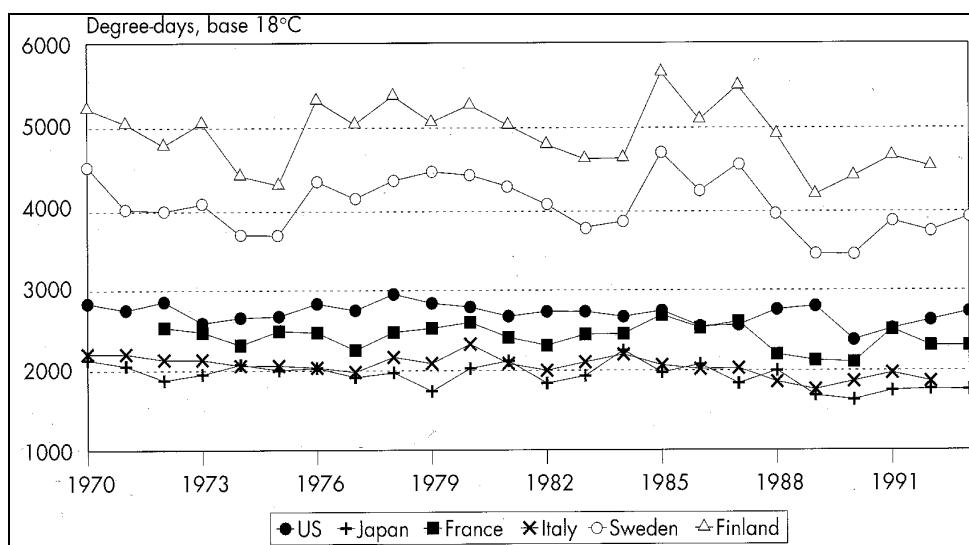


Fig.1.2

Gradi Giorno effettivi in alcuni Paesi IEA

Si stima che nei Paesi IEA il settore residenziale sia responsabile per i consumi, in una percentuale che varia tra il 15 ed il 25%. I dati a disposizione si basano sui consumi per il riscaldamento ed acqua sanitaria, maggiori responsabili degli usi finali di energia nelle abitazioni. In Fig. 1.3, 1.4 ed 1.5 si riportano i consumi energetici in funzione delle dimensioni delle abitazioni e dei metri quadrati. Quest'ultimo parametro introdotto per tenere in conto la variazione media delle dimensioni delle abitazioni nelle varie aree geografiche e nel corso degli anni. Infine in Fig.4, si è normalizzato il consumo anche rispetto ad un parametro climatico, ovvero i gradi giorno.

Fig.1.3 Energia utile per abitazione in alcuni paesi IEA

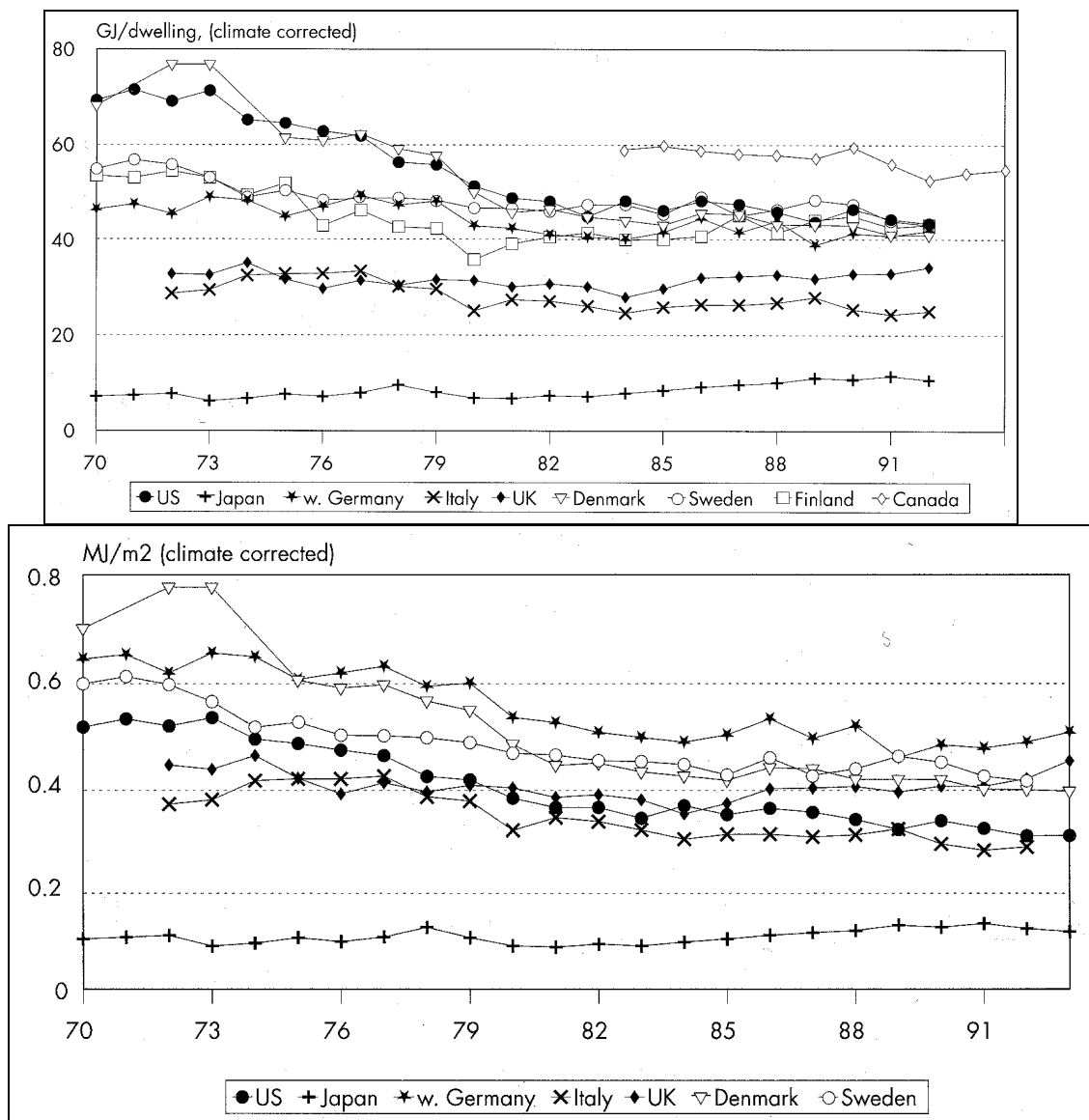


Fig.1.4 Energia utile per metro quadrato in alcuni Paesi IEA

Dalle figure in esame si possono trarre le seguenti considerazioni:

L'Italia occupa una buona posizione nei consumi normalizzati rispetto alle dimensioni, quando però si introduce la normalizzazione rispetto ai dati climatici diventa il Paese a minore efficienza energetica. Questo indica una politica di risparmio energetico ancora insufficiente rispetto a molti Paesi IEA.

Per quanto riguarda gli altri Paesi, si può notare come, ad esempio, la Svezia presenta una situazione esattamente inversa rispetto all'Italia: grande richiesta di energia, ma usata in modo efficace come si evince dalla normalizzazione rispetto alle condizioni climatiche. Gli USA hanno consumi pro abitazione molto elevati, ma il dato cambia con la normalizzazione rispetto ai metri quadrati: evidentemente in questo caso entrano in gioco le dimensioni degli alloggi.

Dalla crisi energetica del 1973 ad oggi si nota un netto miglioramento dell'efficienza energetica in alcuni Paesi, Italia inclusa, deducibile dalla pendenza delle curve di interpolazione. Comunque l'addensarsi di tali curve nel corso degli ultimi anni testimonia un generalizzato miglioramento rispetto agli '70, in cui si registravano valori molto diversi nei vari Stati, Fig. 1.5.

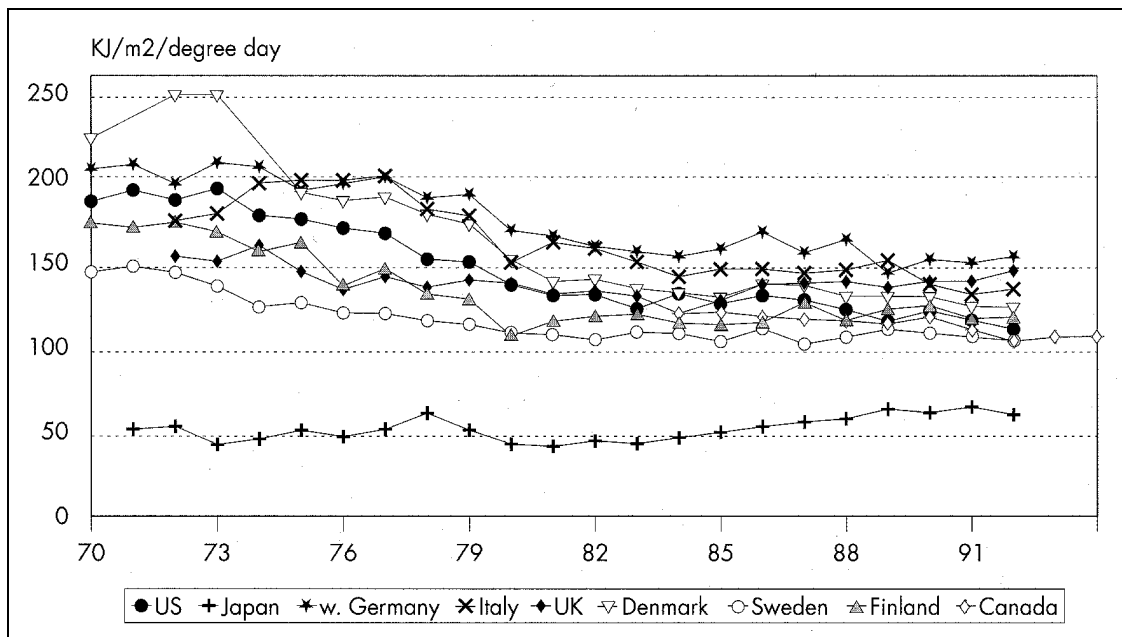


Fig.1.5 Energia utile per metro quadrato e per GG in alcuni Paesi IEA

Per quanto concerne il terziario, va innanzitutto detto che il settore include gli edifici non adibiti ad uso abitativo, industriale ed agricolo, ovvero: uffici, scuole, alberghi, negozi, luoghi di culto e così via. I consumi in questo settore sono di difficile valutazione, e spesso sono ottenuti come sottrazione di quelli non dovuti al residenziale, all'industria ed ai trasporti. Questa classificazione per differenza implica maggiori incertezze nella valutazione dei dati disponibili.

Purtroppo pochi dati sull'Italia sono forniti da questo studio IEA. In Fig. 1.6 è interessante notare come l'Europa abbia ridotto il consumo di olio a favore del gas e dell'energia elettrica, quest'ultima aumentata soprattutto a causa dell'utilizzo sempre maggiore di impianti di climatizzazione. I dati aggregati in Fig. 1.7 evidenziano, per l'Italia, un basso livello di consumi di energia rispetto al prodotto lordo del terziario. Tuttavia questi dati non forniscono indicazioni sull'efficienza energetica, infatti, dall'andamento piatto della Fig.1.7 non si potrebbero dedurre due aspetti fondamentali e contrastanti di questi ultimi anni, ovvero: da un lato in ogni Paese l'influenza del terziario è aumentata moltissimo, per contro è diminuita l'energia impiegata in tale settore rispetto al prodotto lordo: evidentemente queste deduzioni non possono essere riconosciute con facilità da semplici dati aggregati.

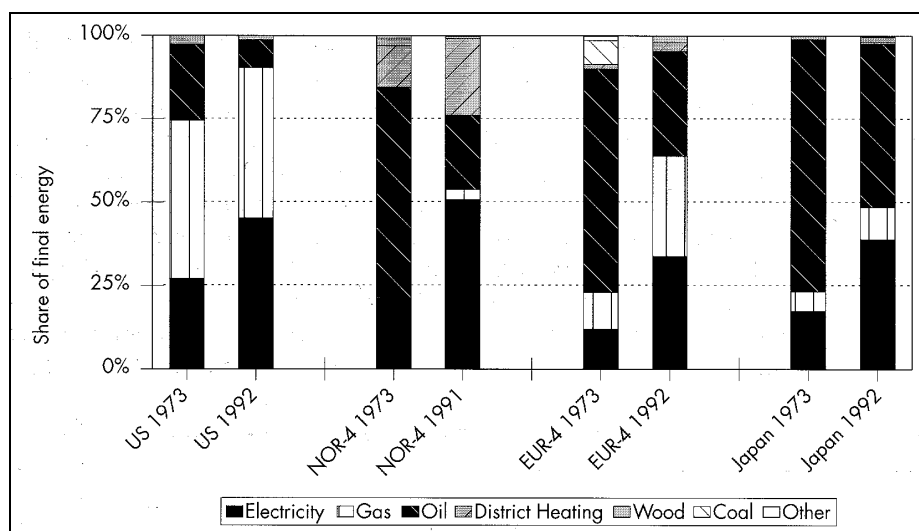


Fig.1.6 Mix dei consumi nel terziario in alcuni Paesi IEA

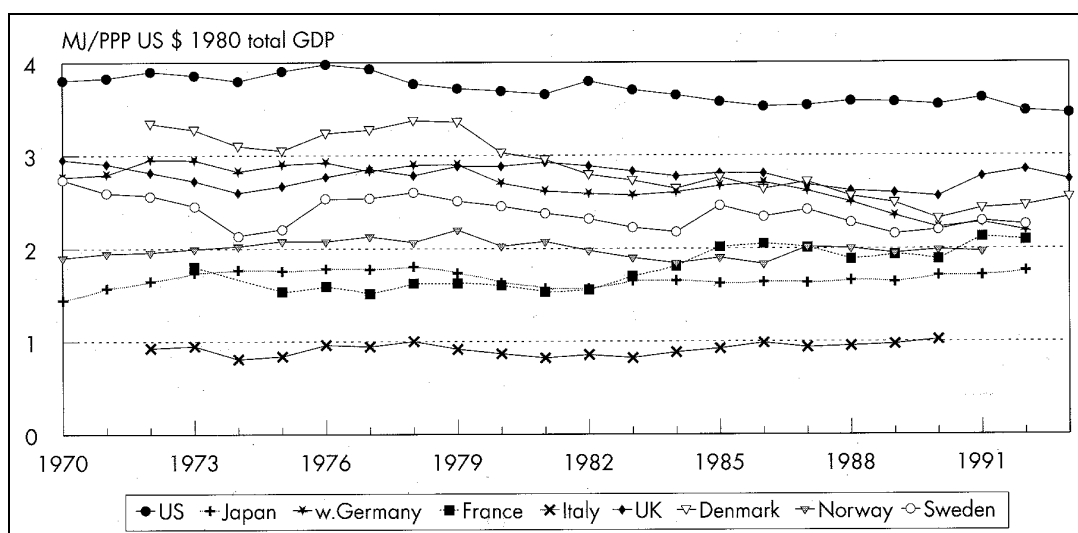


Fig. 1.7 Dati aggregati nel terziario in alcuni Paesi IEA

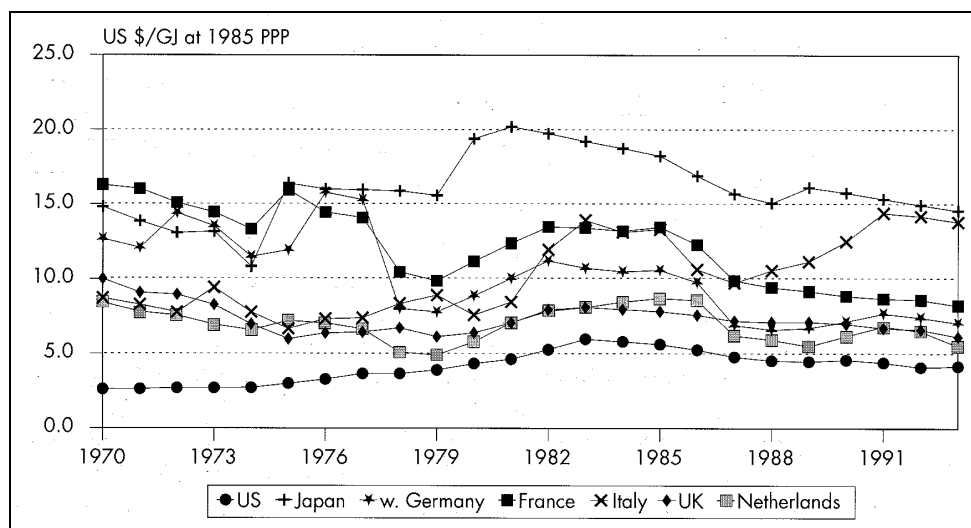
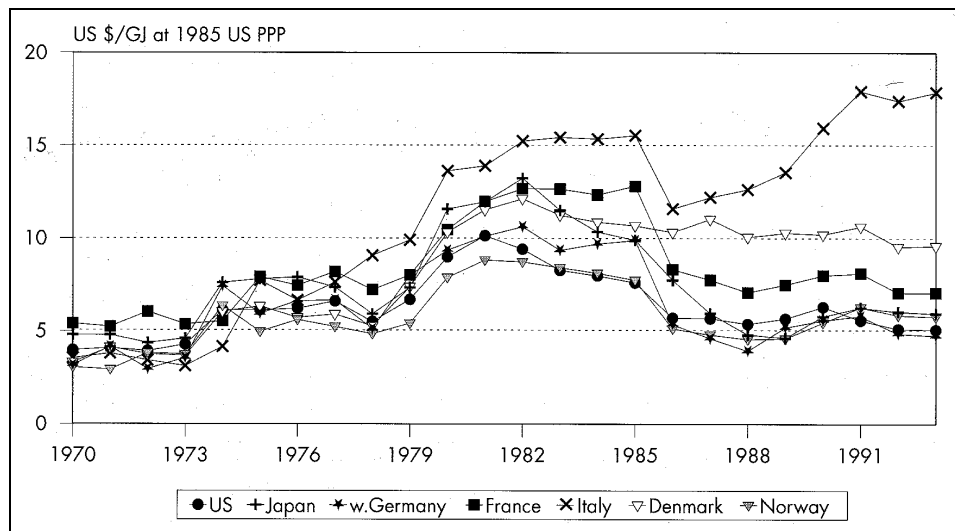
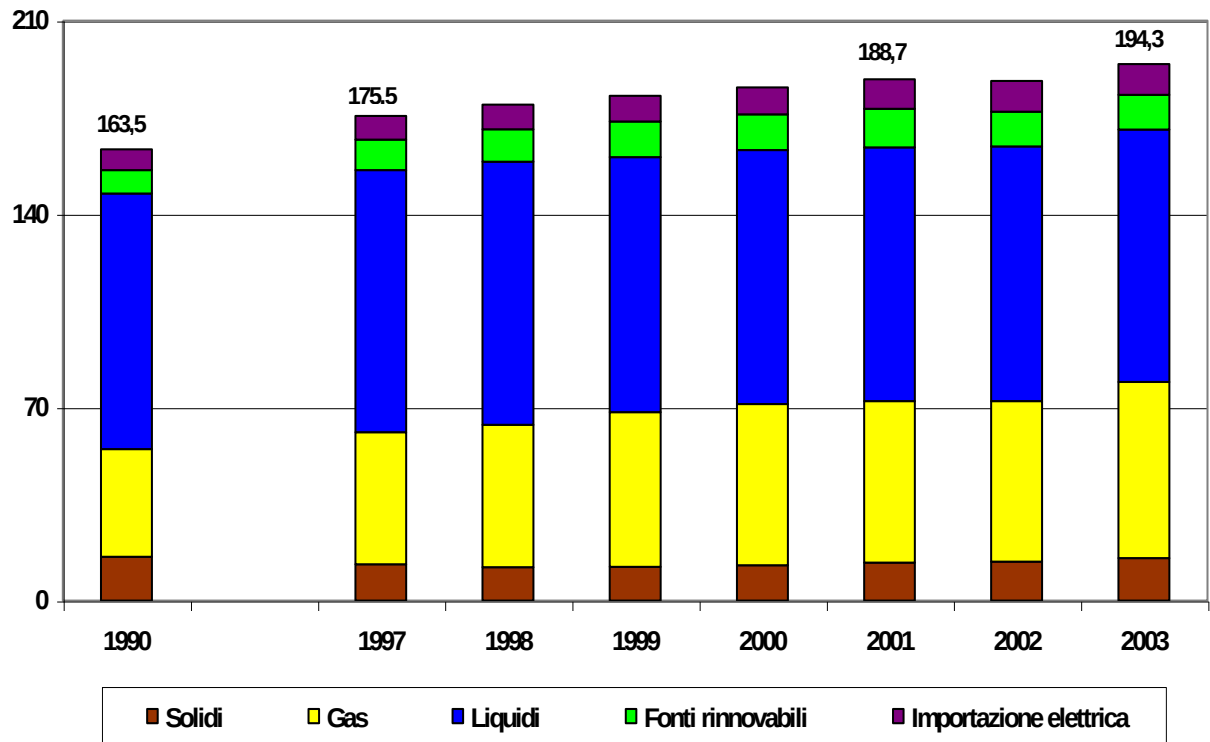


Fig.1.10 Prezzo dell'energia elettrica in alcuni Paesi IEA

Un ultimo dato proveniente dai dati IEA per completare concludere l'analisi nel settore residenziale emerge dalle Fig. 1.8, 1.9 ed 1.10, in cui si riportano gli andamenti dei prezzi delle fonti energetiche tradizionali. Il dato emergente è che l'Italia, a differenza di altri Stati, non ha ridotto i prezzi dopo le gravi crisi degli anni '70, che causarono un'impennata immediata dei costi. Si noti che tali prezzi sono normalizzati al valore del dollaro nel 1985.

Per concludere questo paragrafo si riportano nella Fig. 1.11 alcuni dati riferiti alla sola Comunità Europea, dove il settore civile è responsabile del 40% dei consumi finali di energia, di cui il 25% nel solo settore residenziale. Questi dati evidenziano l'importanza del riscaldamento degli edifici con percentuali consistenti, nel terziario si assiste anche a notevoli consumi di energia elettrica. Nel paragrafo successivo, trattando il caso italiano, si evidenzierà con dati più precisi questa tendenza generalizzata in molti Paesi.

La domanda di energia in Italia



La domanda di energia in Italia nel 2003 è stata di 194,3 Mtep . Nel 2002 - 2003 abbiamo avuto un aumento del 3,3% (aumentano gas e carbone e imp. Elettrica)

E' stato calcolato che dal 1990 al 2003 l'aumento è stato del 18,9%

Nel 2003 rispetto al 2002 si è registrato un aumento del PIL del solo 0,26% pertanto è facile constatare che i consumi continuano ad aumentare anche in una fase di stagnazione economica

Come nel caso precedente, i consumi energetici sono esaminati distinguendo il settore residenziale dal terziario. Alcuni dati sono di natura climatica e valgono, ovviamente per entrambi i settori. In particolare il grafico in Fig. 1.12 riporta l'andamento dei gradi giorno effettivi e quelli normalizzati. La normalizzazione su ogni anno è eseguita mediando i valori dei gradi giorno dei cinque anni precedenti e di quelli successivi. L'importanza di questa operazione risiede nell'evitare che la valutazione dei consumi energetici sia troppo influenzata dal clima del singolo anno, infatti gli usi per il riscaldamento sono i più elevati, per cui la maggiore/minore rigidità del clima influenza molto i consumi complessivi.

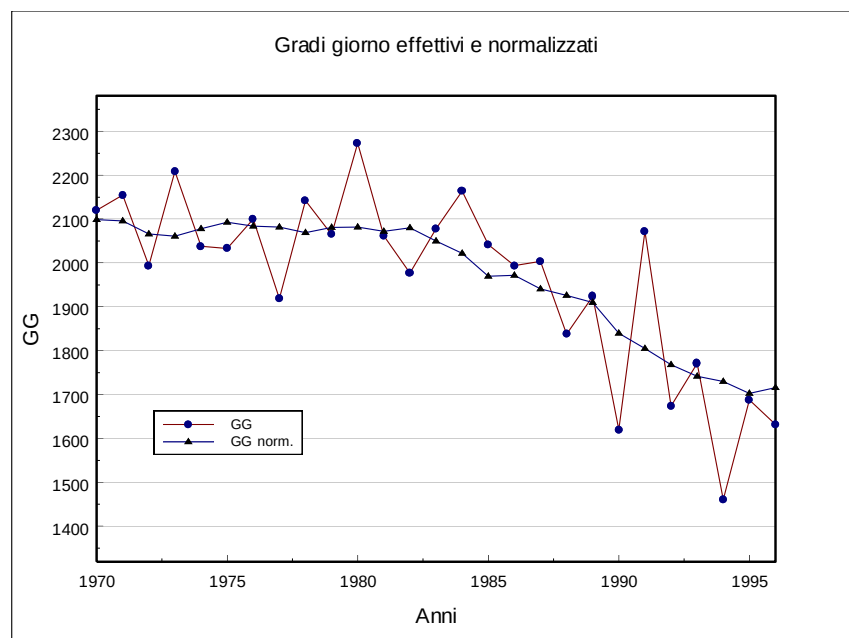


Fig. 1.12 Gradi giorno effettivi e normalizzati

A corollario di questo grafico si riporta in Tabella 1.1 l'andamento dei gradi giorno effettivi nelle varie regioni. Dai dati si evincono due aspetti significativi:

- Il primo, prevedibile, è quello di un profilo climatico molto eterogeneo, con oscillazioni sensibili non solo in funzione della latitudine
- Il secondo riguarda l'oscillazione dei valori effettivi da un anno all'altro. Per tale motivo alcune regioni cambiano di anno in anno l'appartenenza ad una zona climatica. In qualsiasi politica di risparmio energetico sarebbe opportuno valutare la relazione tra dato geografico (regione, comune, stazione climatica) e climatico (gradi giorno di legge, effettivi, normalizzati)

Regione	1990	1991	1992	1993	1994	1995
Piemonte	2551	2979	2707	2850	2756	2654
Valle d'Aosta	3181	3199	3184	3292	3251	3482
Lombardia	2596	2817	2643	2731	2667	2666
Trentino Alto Adige	3026	3266	3129	3148	3170	2968
Veneto	2555	2738	2880	2816	2506	2645
Friuli Venezia Giulia	1873	2137	2171	2177	1886	2172
Liguria	1500	1794	1673	1836	1592	1591
Emilia Romagna	2389	2720	2423	2594	2236	2239
Toscana	1813	2160	2183	2159	2123	1969
Umbria	2104	2358	2302	2488	2232	2434
Marche	1021	1192	1128	1184	1073	1089
Lazio	1636	1908	1695	1661	1561	1626
Abruzzo	1920	2164	2016	2264	2117	2148
Molise	2271	2252	2389	2384	2051	2332
Campania	1364	1518	1636	1486	1327	1430
Puglia	1353	1501	1386	1484	1325	1444
Basilicata	2556	2961	2927	2971	2505	2826
Calabria	1196	1320	1371	1447	1223	1329
Sicilia	1049	1086	1059	1204	1112	1129
Sardegna	1228	1514	1435	1440	1297	1311
Italia	1620	2072	1674	1771	1461	1688

Tabella 1.1. Gradi Giorno effettivi nelle regioni italiane

Passando al settore residenziale, nel grafico successivo sono riportati dati percentuali sul tipo di riscaldamento delle abitazioni. Questo tipo di dati, detti strutturali, fornisce informazioni importanti sulla *storia* del patrimonio edilizio. Nella figura 1.13 si distinguono due fasi nell'evoluzione del tipo di impianto adottato: una prima in cui la trasformazione degli obsoleti impianti singoli (stufe, caminetti ecc.) viene ripartita tra impianti autonomi e centralizzati. La seconda fase, dall'inizio degli anni '80, vede un'ampia diffusione degli impianti autonomi a spese anche di quelli centralizzati, per la maggiore flessibilità, con conseguente risparmio di consumi energetici ed economici, che questi consentono ai singoli utenti.

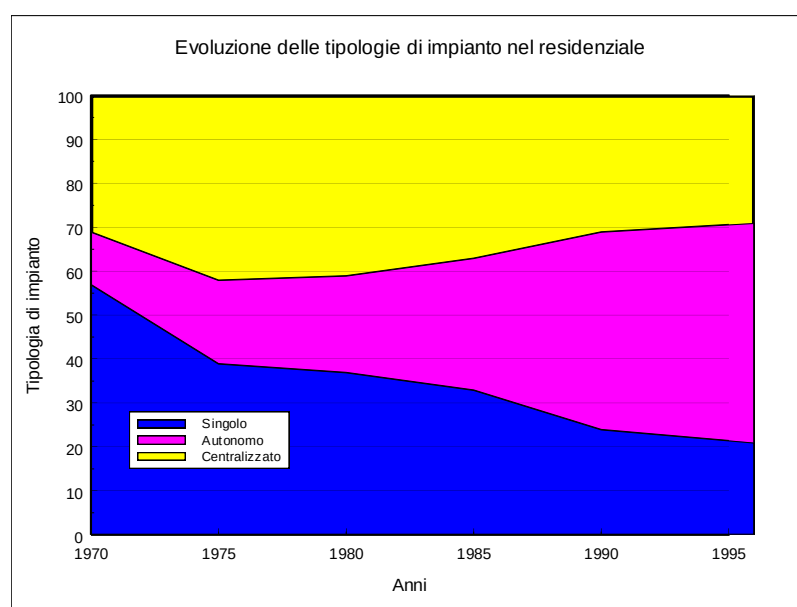


Fig. 1.13 Mix degli impianti di riscaldamento nel residenziale

Studi condotti da ENI ed ENEL, incrociati con i dati provenienti dalla banca dati EIS, hanno permesso di determinare i dati sui consumi finali di energia per il

settore residenziale. Essi sono ripartiti tra le fonti energetiche considerate, ovvero:

- GPL (Gas Propano Liquido)
- Gas Gasolio
- Olio combustibile
- Carbone
- Legna
- Energia elettrica

Esiste un'ulteriore ripartizione per funzione d'uso suddivisa in:

- Riscaldamento
- Acqua calda
- Usi cucina
- Usi elettrici obbligati

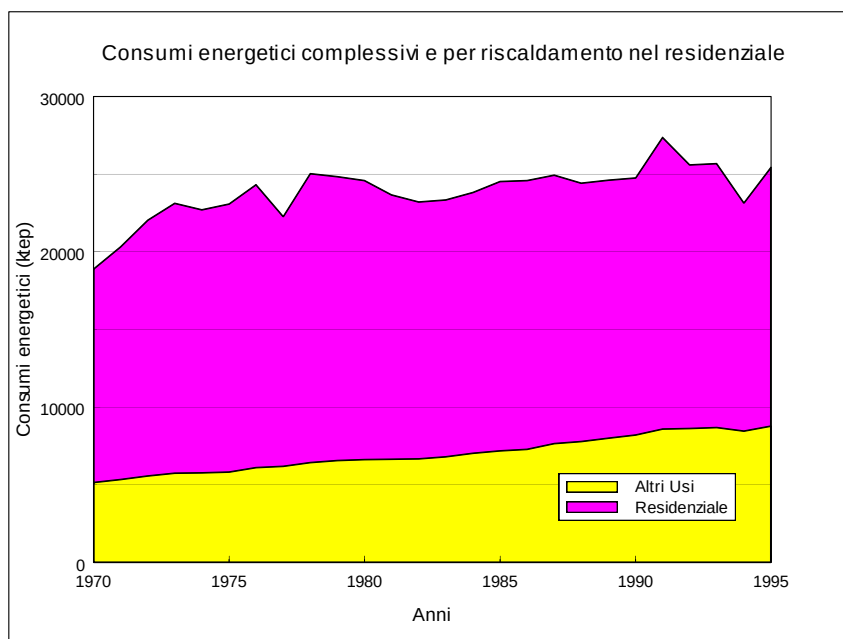


Fig. 1.14 Consumi complessivi e per riscaldamento

Incrociando i dati si ottengono informazioni sia sulla produzione di energia, sia sul suo uso finale. Nel settore residenziale, ai fini di questa ricerca interessa soprattutto l'energia spesa per il riscaldamento, che è la parte preponderante, assorbendo il tra il 65 ed il 72% degli interi consumi, come evidenziato in Fig.

1.14. Inoltre sono proprio i consumi per il riscaldamento a determinare il profilo globale, con il tipico andamento frastagliato, dovuto alle variazioni delle condizioni climatiche da un anno all'altro. Viceversa la somma degli altri usi evidenzia un andamento crescente. Accanto a questo dato globale è interessante notare l'evoluzione del mix dei consumi energetici, che riguardano il settore residenziale e sono riportati in Fig.1.15 e 1.16. Il settore è stato sottoposto ad una radicale trasformazione che ha visto quasi scomparire alcune fonti a vantaggio di altre, il gas metano fra tutte. Evidentemente, nuovi scenari e nuove modifiche strutturali dovranno avvenire nel corso dei prossimi anni ed investiranno anche questo settore.

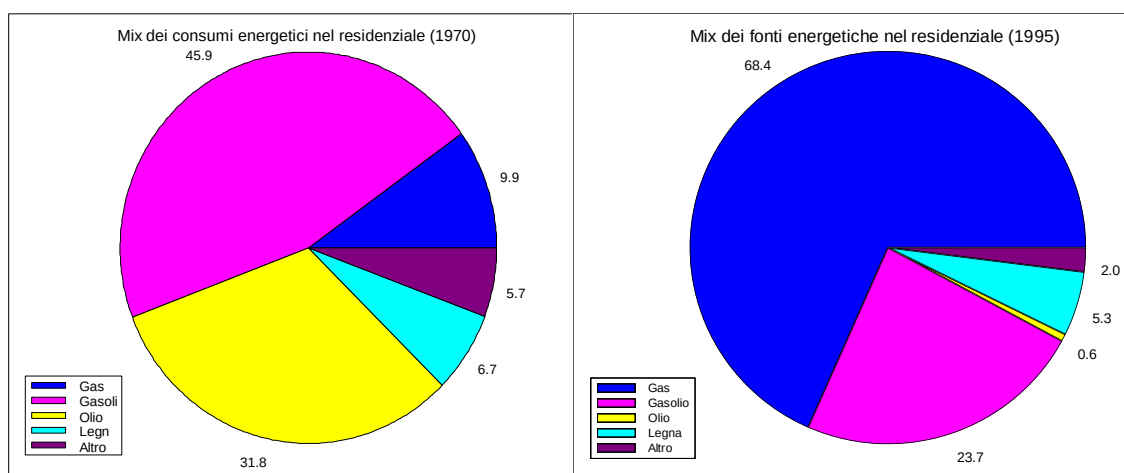


Fig. 1.15 Mix fonti energetiche nel 1970 Fig. 1.16 Mix fonti energetiche nel 1995

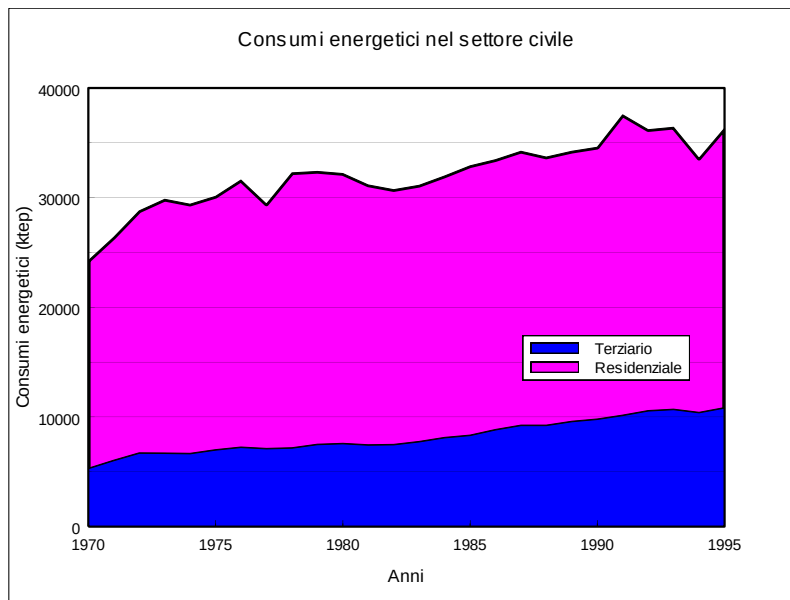


Fig. 1.17 Consumi complessivi nel settore civile

I dati complessivi del settore civile sono presentati in Fig.1.17 insieme a quelli del terziario. Si può notare che il residenziale è di gran lunga prevalente, tuttavia nel corso degli ultimi 30 anni si è assistito all'aumento del terziario, come evidente dalla Tabella 1.2. Il terziario nel periodo si è accresciuto del 38% in modo costante, le poche annate in cui il trend si è invertito sono coincise con gli inverni più freddi, in cui vi è stato un notevole aumento dei consumi per il riscaldamento delle abitazioni.

Valori %	1970	1980	1990	1996
Residenziale	78	76.4	71.6	69.6
Terziario	22	23.6	28.4	30.4

Tabella 1.2. Ripartizione percentuale dei consumi energetici nel settore ci

Dal mix delle fonti energetiche per i consumi emerge un aspetto molto significativo che differenzia i due settori, ovvero l'energia elettrica che nel terziario occupa un posto rilevante, vedi Fig.1.18. Nel terziario l'uso di strumentazione elettrica ed elettronica, l'illuminazione artificiale e la climatizzazione estiva, aumentata in modo formidabile negli ultimi anni, fanno aumentare moltissimo gli usi finali di energia elettrica. Questo dato è preoccupante proprio per la natura *nobile* della fonte che si utilizza, la cui percentuale nel computo dei consumi globali è inevitabilmente destinata a salire. Se a questo si aggiunge il già citato aumento percentuale del settore nei confronti del residenziale, è inevitabile che qualsiasi politica di risparmio energetico dovrà confrontarsi drasticamente con i consumi nel terziario.

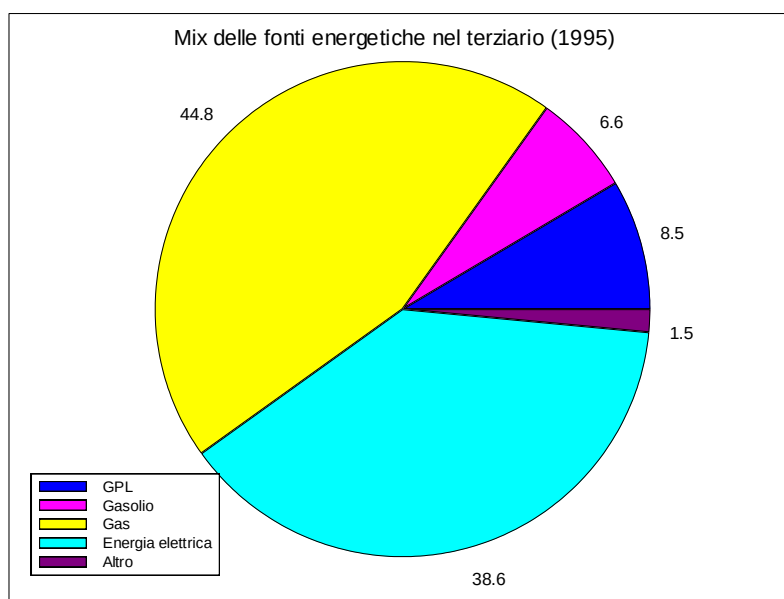
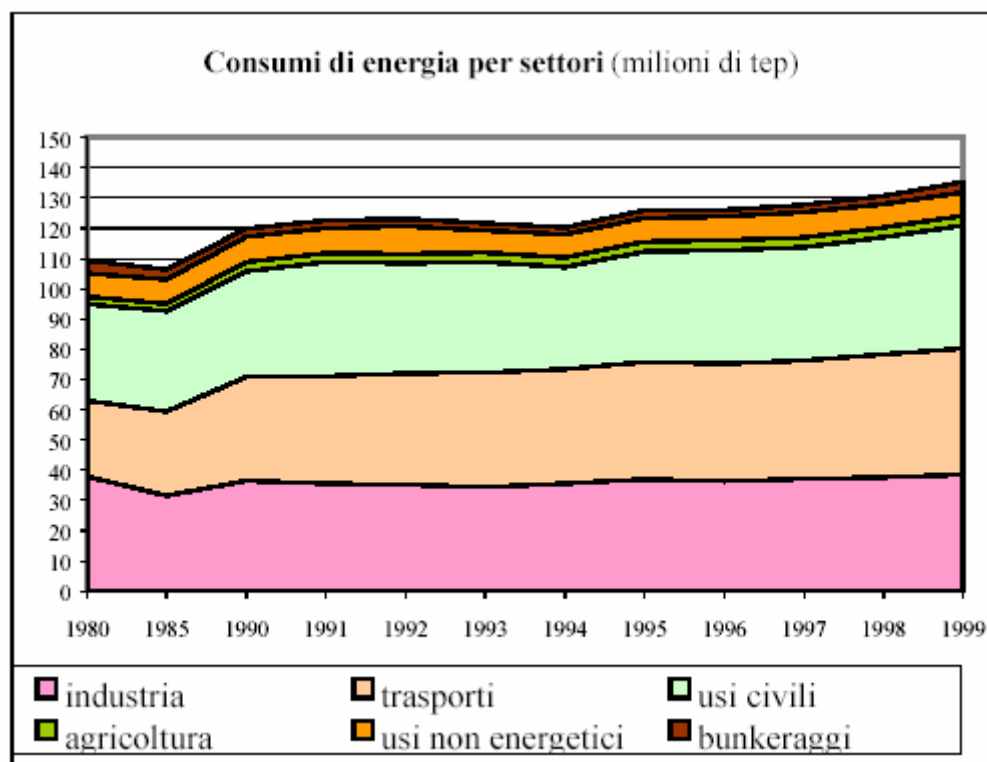


Fig. 1.18 Mix delle fonti energetiche nel terziario

negli ultimi venti anni nel nostro paese, come mostrato dal grafico seguente, i consumi dell'industria sono stati stazionari, mentre si è avuto un notevole incremento dei consumi energetici nel settore civile e in quello dei trasporti, due settori in cui il soddisfacimento dei bisogni è fortemente condizionato dalle scelte politiche; questo è il frutto della inadeguatezza delle politiche dei trasporti e della mancanza di provvedimenti per il miglioramento dell'efficienza energetica nel settore domestico.



Interessante risulta essere la distribuzione dei consumi elettrici: circa un terzo dell'energia elettrica viene impiegata negli usi finali come calore a bassa temperatura, un altro terzo come carburanti e solo il 13,8% direttamente per utenze propriamente elettriche. Dal momento che ogni trasformazione energetica comporta delle perdite relative al rendimento delle macchine utilizzate, da questi dati emerge una preoccupazione per l'aumento degli usi finali elettrici. Di seguito, si riporta una tabella esemplificativa:

USI FINALI	INDUSTRIA	COMMERCIO E SERVIZI	USI DOMESTICI	AGRICOLTURA	TRASPORTI	TOT USI FINALI
ALTA TEMPERA	52,4 %					17,4 %
MEDIA TEMPERA	11,8 %	3,7 %	6,9 %			6,0 %
BASSA TEMPERA	8,5 %	65,8 %	85,0 %	23,1 %		30,8 %
ELETTRICITÀ	25,3 %	30,5 %	8,1 %	11,5 %	1,7 %	13,8 %
CARBURANTI	2 %			65,4 %	98,3 %	32,0 %
% SETTORE	33,2 %	8,2 %	26,0 %	2,6 %	30,0 %	100

Tabella 1.4 - Usi finali di energia per settore

La maggior parte dell'energia elettrica viene prodotta attraverso un ciclo termoelettrico; ad essa va aggiunta la quota delle importazioni, che provengono quasi totalmente da centrali termonucleari francesi. In generale, in Italia è in corso da alcuni anni una continua variazione della composizione delle fonti energetiche per la produzione di energia elettrica, con la crescita del gas naturale e il calo del petrolio. A causa del minor prezzo si registra un aumento anche della quota del carbone. Questo andamento è stato confermato dai dati inerenti il bilancio di energia elettrica in Italia nel 2002, pubblicati il 19 Gennaio 2004 dal Gestore della rete di trasmissione nazionale (GRTN): questi attestano un fabbisogno totale di energia elettrica di circa 310,7 miliardi di KWh, mostrando un aumento dell' 1,9% rispetto all'anno precedente; inoltre, confermano quella che è la singolarità del parco macchine di produzione dell'energia elettrica in Italia, che vede circa l'80% della potenza netta effettivamente disponibile sulla rete nazionale provenire da impianti termoelettrici. Per una più accurata analisi di questi aspetti si rinvia all'approfondimento inserito in appendice (Appendice A: "La produzione di energia elettrica in Italia"), in cui sono stati riportati per esteso i dati sopra menzionati.

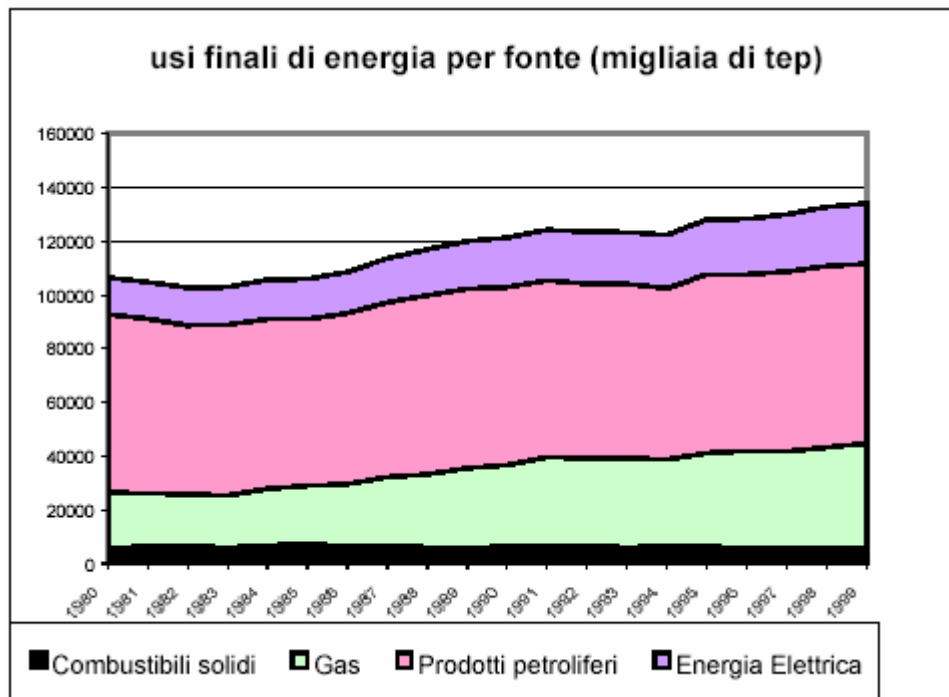


Figura 1.23 - Trend degli usi finali di energia per fonte dal 1980 al 2000

La Figura 1.23 evidenzia come in Italia ci sia stato in questi ultimi 20 anni un aumento consistente degli usi finali di elettricità e gas. L'analisi per settori della dipendenza energetica mostra come il settore più vulnerabile, perché totalmente dipendente dal petrolio, sia quello dei trasporti, seguito dalla generazione di elettricità. L'Italia, se vorrà mantenere gli impegni assunti a Kyoto, dovrà porre un serio rimedio alla situazione energetica sopra descritta attuando rigorose strategie per un reale sviluppo sostenibile; questo significa impegnarsi soprattutto su tre fronti:

1. l'efficienza energetica;
2. la cogenerazione;
3. le fonti rinnovabili.

Alla luce dei nuovi dati, è possibile effettuare un confronto con i dati di consumo

riportati nel precedente Piano; da una prima analisi si evince che il settore residenziale ha avuto un notevole incremento legato non tanto all'aumento degli

utenti ma ad un maggiore utilizzo di elettrodomestici e alle particolari condizioni climatiche dell'estate 2003 che hanno favorito l'utilizzo prolungato degli impianti di condizionamento. Il settore industriale, invece, presenta una flessione sia nel numero di utenti, che risultano diminuiti di circa 1000 unità, che nei consumi.

Complessivamente si riscontra un incremento del 9,4% degli utenti nel periodo 1997- 2003 corrispondente ad un aumento del consumo di energia elettrica pari al 40%. La quota predominante dei consumi energetici del civile è da attribuire ai consumi energetici del **settore residenziale**, anche se va aumentando negli ultimi anni il peso del terziario: nel 1995 il residenziale è responsabile del 71 per cento del totale dei consumi del civile e il terziario il 29 per cento, nel 2000 il residenziale determina il 67 per cento del totale dei consumi del civile e il terziario il 33 per cento ed infine nel 2003 residenziale e terziario sono responsabili rispettivamente del 65 per cento e del 35 per cento del totale dei consumi del settore civile.

Il condizionamento negli edifici

Uno spazio costruito è soggetto a flussi di calore determinati sia dalle condizioni ambientali esterne, sia da quelle interne, secondo lo schema in Figura 1.1. Per effetto del bilancio di questi scambi entranti ed uscenti, all'interno dell'edificio non si hanno in ogni istante le necessarie condizioni di comfort per gli occupanti. Per ovviare a tale fabbisogno è necessario fornire energia, ovvero immettere calore in inverno ed estrarlo in estate.

E' noto come il problema dell'approvvigionamento e dei consumi energetici sia un aspetto fondamentale, che investe tutto il pianeta e richiede in ogni campo misure ed interventi per risolverlo. Come si potrà evincere dai seguenti paragrafi, l'edilizia è uno dei settori maggiormente interessati al problema ed in tale ambito è possibile intervenire con molta efficacia.

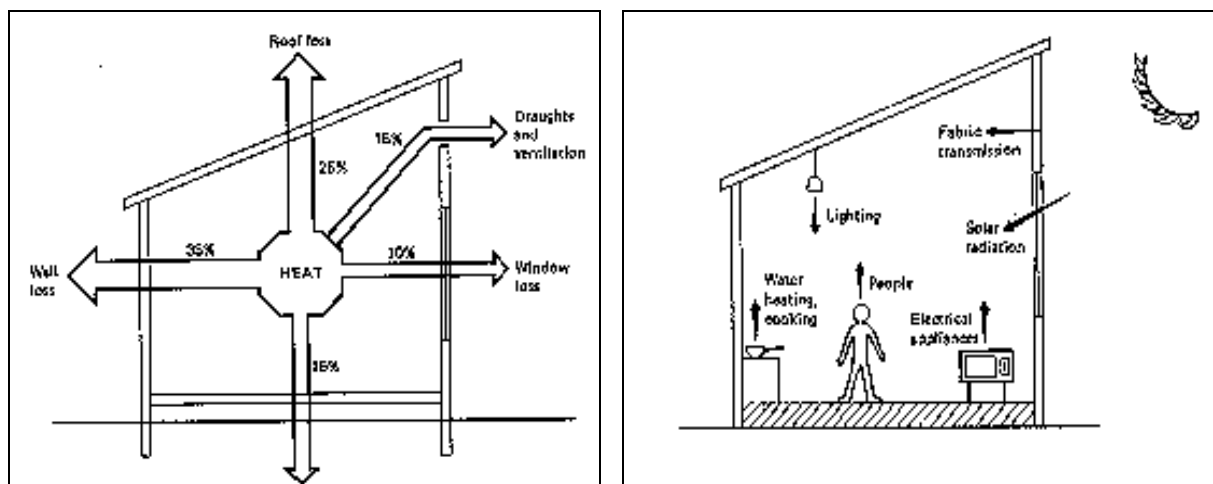
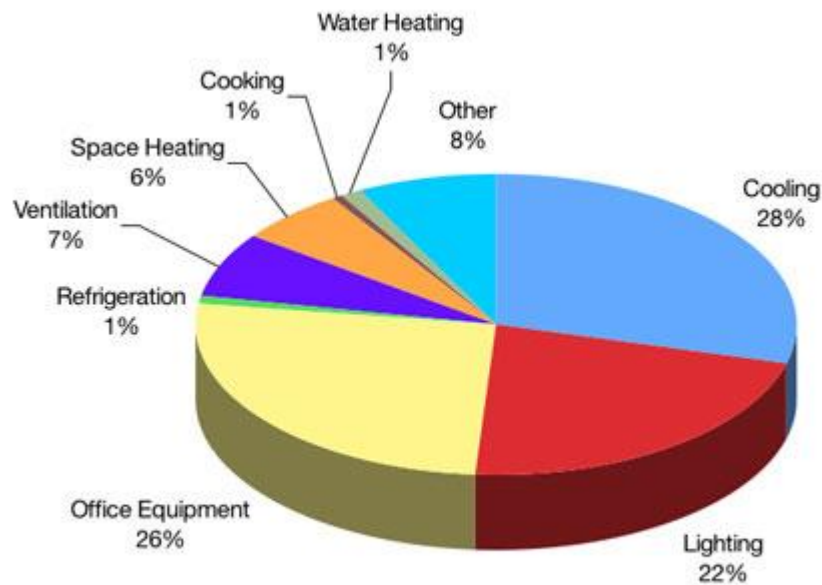


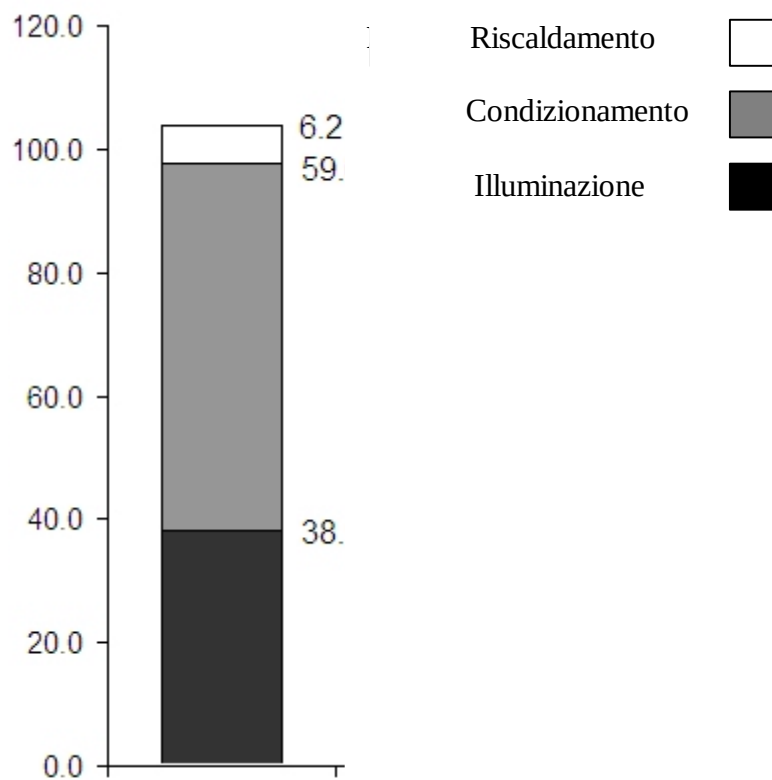
Fig.1.1 Schema di flussi termici negli spazi confinati

Negli ultimi anni il condizionamento negli edifici occupa una fetta importante del consumo di energia totale, specialmente nel terziario.



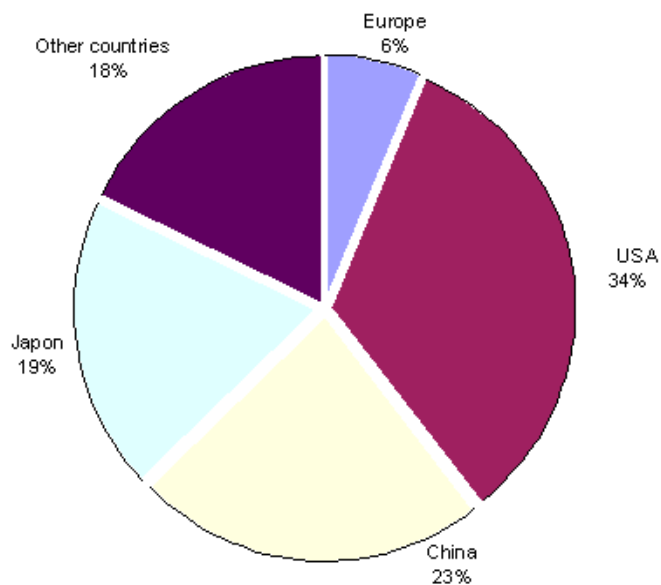
La climatizzazione estiva degli edifici, specie quelli del terziario, è diventata da tempo una parte integrante delle strategie di marketing del mercato immobiliare. La ricerca del comfort, tuttavia, dovrà sempre di più considerare in modo congiunto due esigenze: risparmio energetico e salvaguardia dell'ambiente. Qual è l'attuale dimensione del mercato del condizionamento? Come si evolverà nei prossimi anni? Quali potranno essere le azioni più efficaci per guidare la sua espansione garantendo il minimo impatto?

La figura sottostante mostra il consumo energetico annuale di illuminazione, riscaldamento e aria condizionata per un ufficio a Roma in Mj/m².

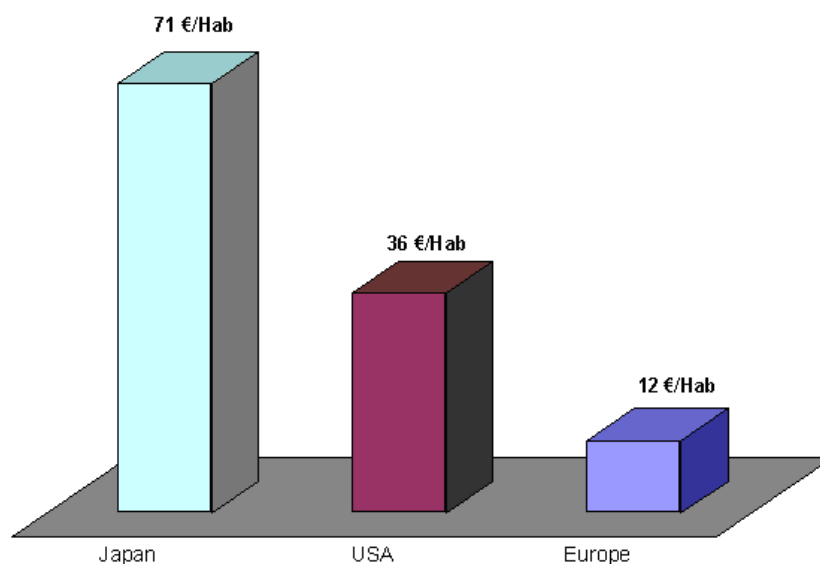


Il mercato mondiale di aria condizionata è attualmente uno dei più fiorenti ed è ancora in espansione. Negli Stati Uniti d’America sono state vendute, solo nel

2000, 13,2 milioni di unità. La Cina si posiziona al secondo posto con 9,2 milioni di unità. Di seguito abbiamo il Giappone e l'Europa. Nel 2000, nel mondo sono stati spesi più di 35 miliardi di dollari in condizionatori d'aria.

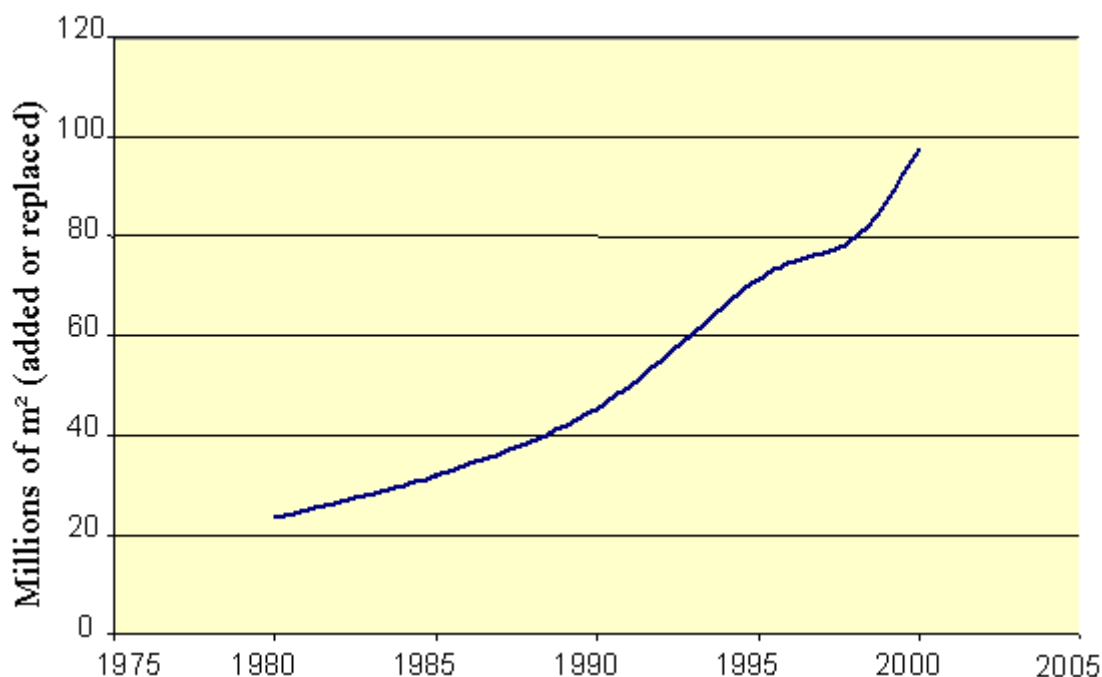


Mercato dell'aria condizionata nel mondo nel 2000

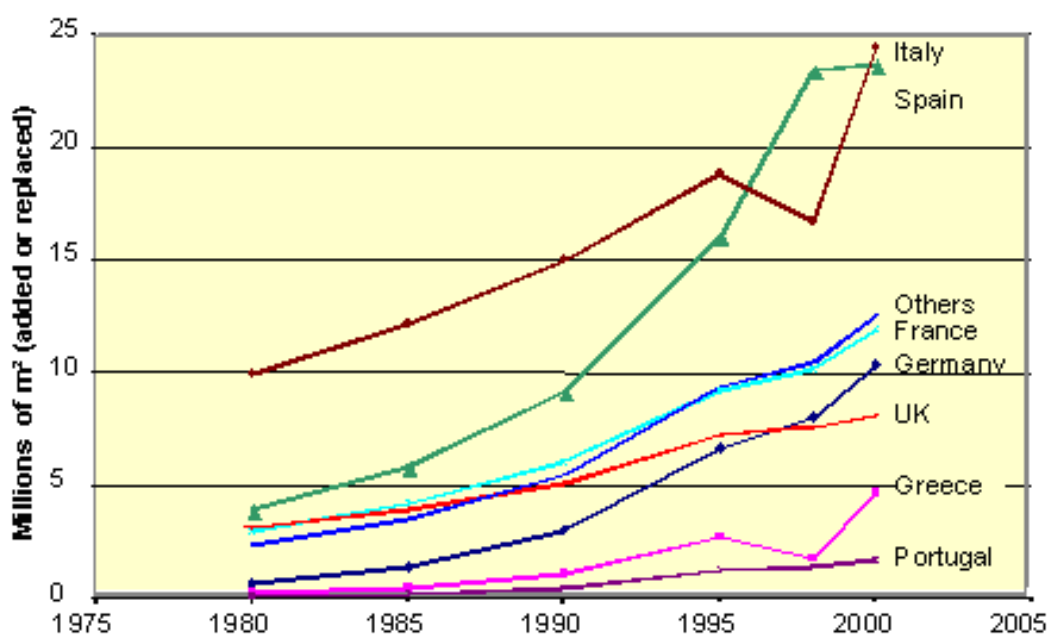


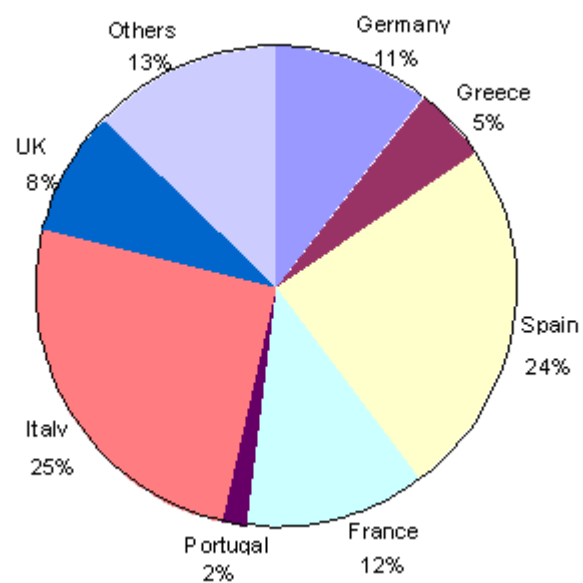
spesa annuale per aria condizionata per abitante

Negli ultimi 25 anni abbiamo assistito ad un'espansione delle aree interessate da impianti di aria condizionata. Qui sotto viene riportato l'andamento (in metri quadrati) di aree coperte da sistemi centralizzati di aria condizionata in Europa .

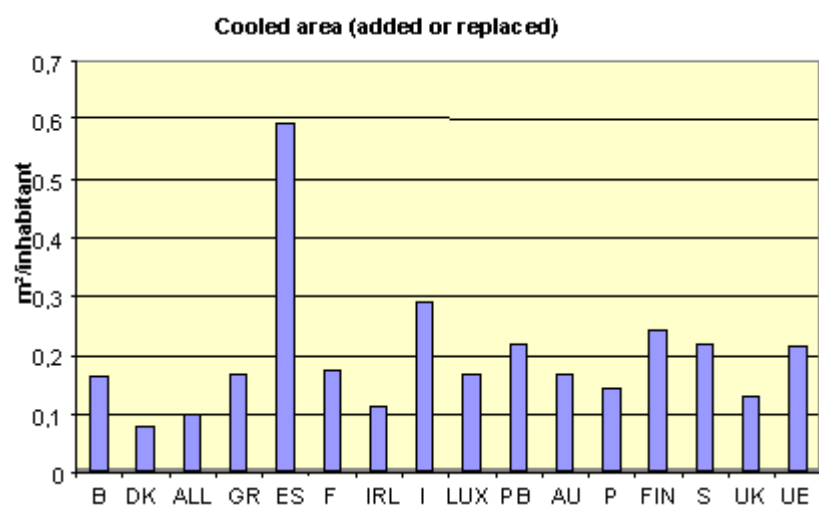


I dati riferiti a tutti gli stati d'Europa sono relativi alla zona climatica. Oggi Italia e Spagna rappresentano più del 50 % del mercato europeo.

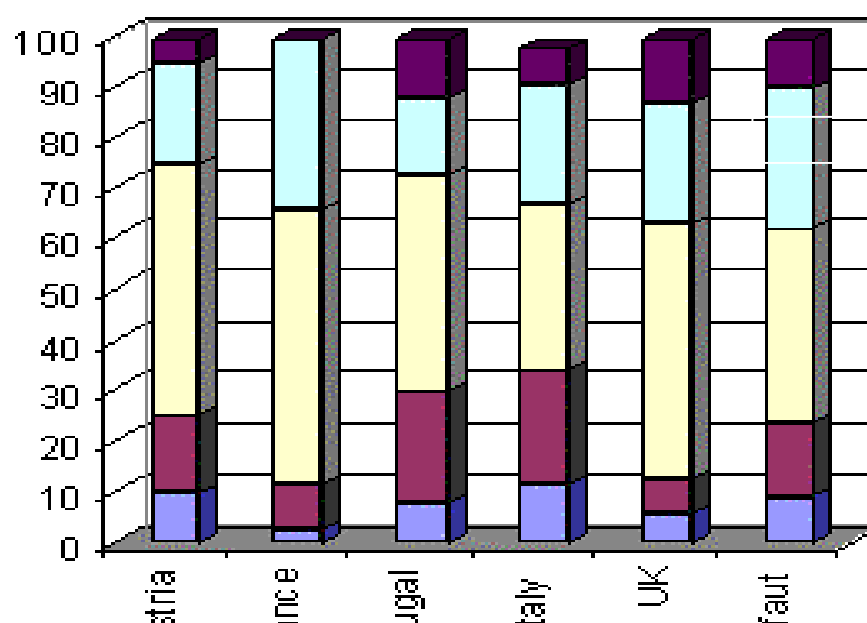
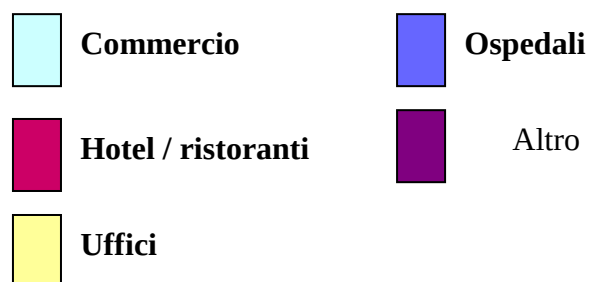




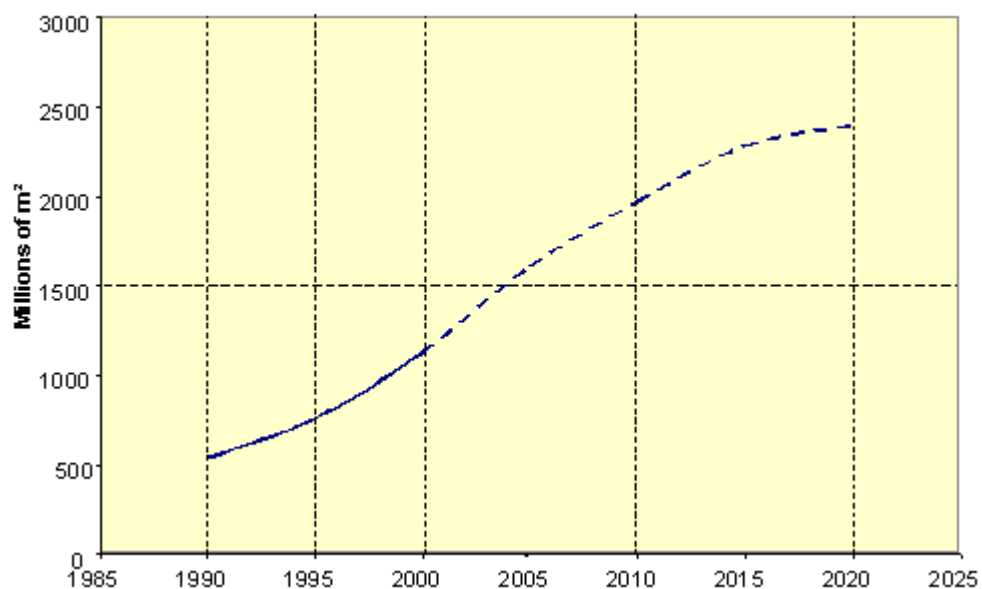
La figura sottostante mostra la disparità tra i paesi europei e il loro clima



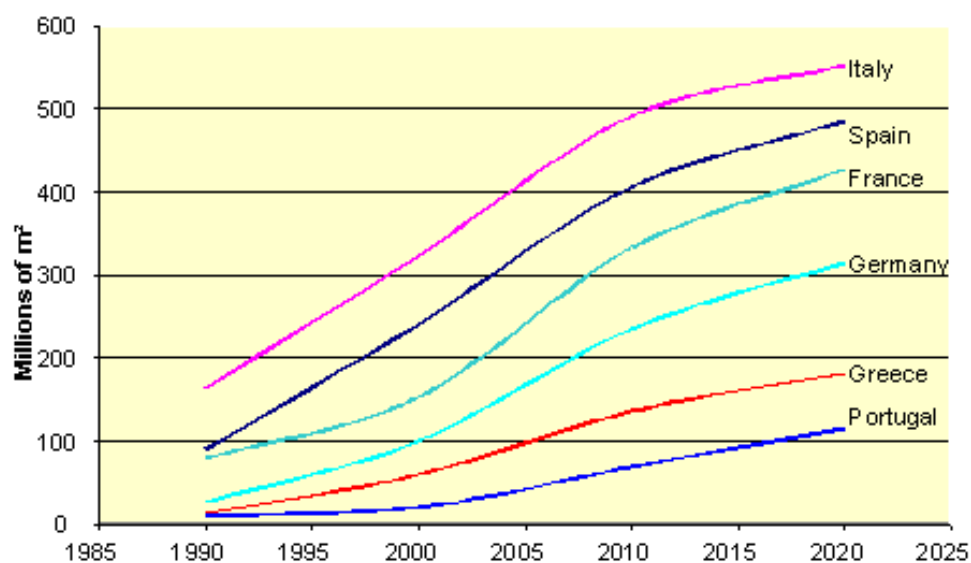
In precedenza si è parlato di come il mercato del condizionamento negli edifici è sviluppato soprattutto nel terziario. Qui di sotto è riportata una divisione per settori. La maggioranza dei sistemi centralizzati di aria condizionata è presente negli uffici.



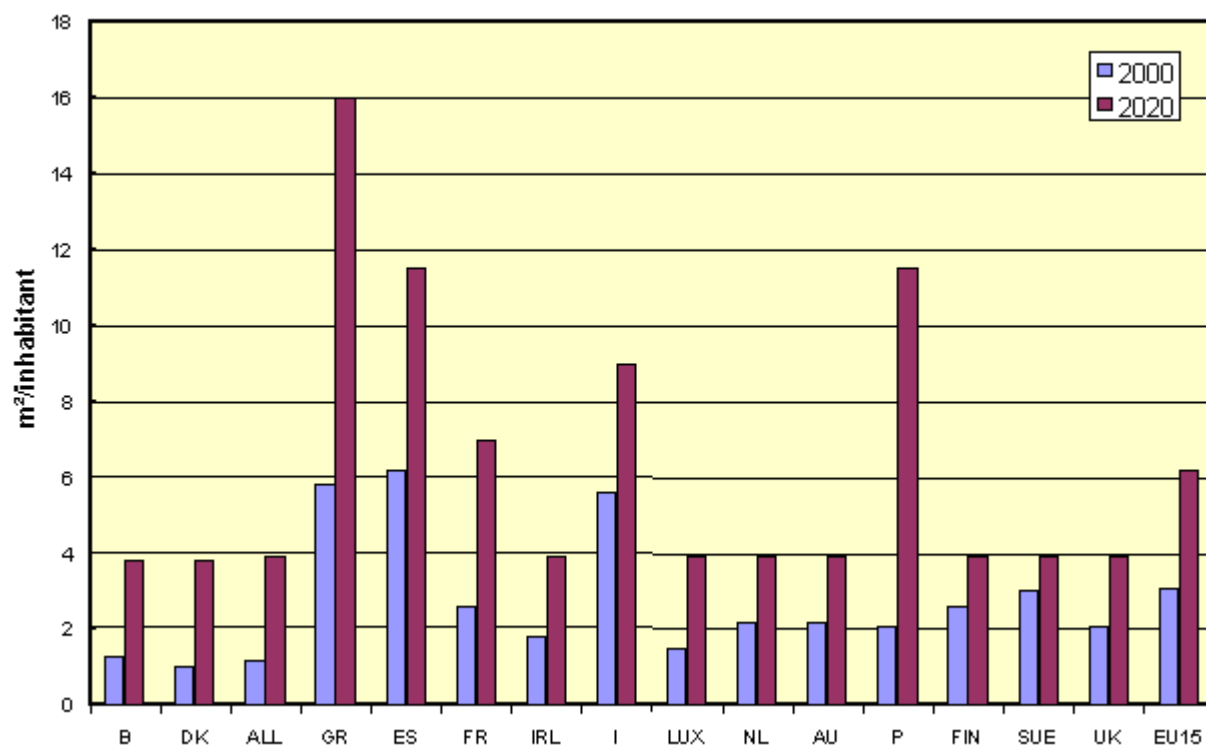
Nei prossimi anni lo sviluppo di impianti di climatizzazione è previsto in forte aumento. Di seguito viene riportata l'evoluzione stimata dal 1990 al 2020 dell'area totale climatizzata in Europa.



Evoluzione dal 1990 al 2020 dell'area totale climatizzata nei vari stati dell'Europa



Evoluzione dal 1990 al 2020 dell'area totale climatizzata nei vari stati dell'Europa per abitante.



La domanda di energia nel settore del terziario per il condizionamento degli ambienti risulta di non facile determinazione. Si parte da una analisi del mercato su tre regioni, Lombardia, Portogallo e Francia . Per quanto riguarda la Lombardia, la stragrande maggioranza degli edifici dotati d'impianti di condizionamento estivo si concentra nella provincia di Milano (circa il 68%), cui segue un 8,5% nella provincia di Brescia e percentuali di molto inferiori per le altre province. Gli impianti di condizionamento nel settore terziario sono presenti solo in una percentuale relativamente modesta degli edifici se si considera il settore nella sua globalità. Il valore medio regionale del 5,8 % raggiunge delle punte nella provincia di Milano dove tocca il 9,5 % e si mantiene in valori intorno al 2-3% nelle altre province. Le statistiche pubblicate dalle aziende elettriche non forniscono, purtroppo, valori sui consumi degli usi finali in generale ed in specifico per il condizionamento. Due elementi degni di interesse sono da un lato l'incremento costante dei consumi globali nel terziario, che negli ultimi quattordici anni sono praticamente raddoppiati, passando da un valore di 5.028 milioni di kWh del 1980 ad un valore di 10.620 milioni di kWh del '94, dall'altro l'elevato consumo di energia elettrica in Lombardia che è circa pari al 21% di quello nazionale. Risultati interessanti emergono dallo studio condotto in Francia. Da una indagine dell'ADEME (DBC-Pierre Hérant, 1995) risulta che nel 1990 il consumo per la climatizzazione nel terziario sia stato di circa 1 miliardo di kWh, inferiore quindi all'1% del consumo totale di energia elettrica dell'intero settore che raggiunge i 182 miliardi di kWh. Nella regione francese oggetto dello studio (PACA) gli edifici del terziario hanno una superficie complessiva di 131 milioni di m² e di questa, 14,7 milioni di m² sono destinati ad uffici. Più della metà degli edifici (8,4 milioni di m²) ha un'epoca di costruzione antecedente al 1969; 5,2 milioni di m² ha un'epoca di costruzione compresa tra il 1969 ed il 1989 e solo 1,1 milioni di m² ha un'epoca di costruzione posteriore al 1989. Risulta dallo studio che circa il 50% degli spazi per uffici non è condizionato. Il consumo medio annuo per la sola climatizzazione estiva è stimato in 24 kWh/m², considerando tutte le modalità

tecnologiche (condizionatori singoli e centralizzati). Nella Regione Centrale del Portogallo la superficie complessiva degli edifici del terziario è di circa 5 milioni di m²; di questi circa l'80% appartiene ad edifici con più di 10 anni. Nel 1996 sono stati venduti in Portogallo 30.000 impianti di condizionamento con un incremento, rispetto al 1992, del 47%. Il consumo energetico per l'aria condizionata nel 1996 è stato di circa 300 GWh nella regione centrale oggetto dello studio. La stima per l'anno 2005 supera i 500 GWh. Alcune informazioni sulle soluzioni tecniche adottate in Italia per il condizionamento possono essere ricavate dallo studio condotto dal Co.Aer (l'associazione di categoria) e pubblicato sulla rivista CDA. Analoghi studi sono stati condotti nelle altre due regioni. Analizzando le tre [tabelle](#), che si riferiscono all'intero mercato e non solo a quello del terziario, si può osservare come sia largamente prevalente in tutte e tre le regioni la percentuale dei piccoli condizionatori (costituiscono circa il 95% delle unità vendute). Il mercato del condizionamento nelle tre regioni oggetto dello studio, anche se non confrontabile in termini numerici con quello del riscaldamento, che invece interessa la totalità degli interventi edificatori, pone comunque dei problemi in termini energetici. E li pone soprattutto in paesi nei quali il mercato non è ancora del tutto maturo e la crescita è relativamente veloce. La comunicazione fra gli attori del processo (progettisti dell'involucro e progettisti degli impianti, proprietari ed utenti) tende ad essere scarsa e frammentaria. Inoltre il controllo del consumo energetico per il condizionamento non può beneficiare di una regolamentazione analoga a quella per gli impianti di riscaldamento, almeno in Italia e in Portogallo. In Francia esiste una normativa specifica che richiede la presenza di protezioni solari, requisiti di isolamento, limiti di consumo, anche se non sempre viene coerentemente applicata. Ci si attende che la nuova legislazione, in preparazione per gli edifici, preciserà ancora meglio vincoli e linee guida per il raffrescamento. Un metodo standard per la valutazione del fabbisogno estivo degli edifici è, come noto, allo studio anche in Italia. In questa situazione il rischio è che il mercato trascuri le sinergie tra involucro, carichi interni ed

impianto e per quest'ultimo si orienti verso il "fai da te". Molte opportunità per razionalizzare i consumi e mantenere od aumentare i livelli di comfort vanno colte al momento della progettazione dell'involucro e dell'impianto per i nuovi edifici e risultano in tal caso anche particolarmente favorevoli dal punto di vista economico; oltre a risparmiare energia, interventi per ridurre il carico o migliorare l'efficienza degli impianti, pur avendo un costo aggiuntivo rispetto a soluzioni convenzionali, possono consentire dimensionamenti più contenuti di alcuni componenti attivi e quindi non produrre un incremento del costo di investimento totale dell'edificio. Nei casi di retrofit ovviamente le possibilità di una stretta integrazione progettuale subiscono forti limitazioni e le convenienze economiche possono essere più ristrette. In ogni caso lo sforzo informativo e di supporto, che una campagna pubblica dovrebbe sostenere, non sembra spropositato. Per esempio in PACA circa 300 edifici per uffici (o parte di essi) vengono ristrutturati ogni anno ed un supporto basato su informazioni standardizzate per tipologie edilizie potrebbe non essere fuori dalla portata economica ed organizzativa di agenzie locali per l'energia. Risulta interessante, al riguardo, il contributo dello studio condotto dai partner francesi nell'ambito della ricerca che, partendo dall'analisi della situazione impiantistica attuale, ricostruita su base statistica definendo una matrice a due ingressi (da un lato l'epoca di costruzione degli edifici, e quindi in modo implicito le caratteristiche dell'involucro, dall'altro le zone climatiche) ipotizza una evoluzione del mercato immobiliare del 10% al 2007 e propone due scenari: uno di tipo conservativo, in cui le tecnologie sostanzialmente non si modificano, ed uno più innovativo in cui viene incentivato l'uso di tecnologie alternative (raffrescamento naturale, sistemi ad alta efficienza, raffreddamento a pannelli, macchine ad assorbimento a gas, accumuli di freddo). I risultati dello studio evidenziano che partendo dalla situazione attuale, nella quale il consumo specifico è pari a 24 kWh/m², si passa ad un consumo di 25 kWh/m² per lo scenario conservativo e ad un consumo di 18 kWh/m² per lo scenario innovativo.

	1994			1995		
<i>Tipologia impiantistica</i>	<i>n° pezzi</i>	<i>% relativo</i>	<i>% assoluto</i>	<i>n° pezzi</i>	<i>% relativo</i>	<i>% assoluto</i>
Condizionatori autonomi da appartamento	41.503	40,1	38,4	46.965	33,1	31,7
Condizionatori autonomi con cond. ad aria	59.723	57,8	55,2	93.503	65,9	63,1
Condizionatori autonomi con cond. ad acqua	962	0,9	0,9	780	0,5	0,5
Condizionatori autonomi per CED, ecc.	1.187	1,1	1,1	648	0,5	0,4
<i>Totale condizionatori autonomi</i>	<i>103.375</i>	<i>100,0</i>	<i>95,6</i>	<i>141.896</i>	<i>100,0</i>	<i>95,7</i>
Gruppi refrigeranti con condensaz. ad aria	4.418	92,1	4,1	5.879	93,1	4,0
Gruppi refrigeranti con condensaz. ad acqua	380	7,9	0,4	438	6,9	0,3
<i>Totale condizionatori centralizzati</i>	<i>4.798</i>	<i>100,0</i>	<i>4,4</i>	<i>6.317</i>	<i>100,0</i>	<i>4,3</i>

Tab. I – Impianti di condizionamento venduti in Lombardia nel 1994 e nel 1995
(Fonte: Co.Aer 1995, elaborazione Punti Energia)

	1995			1996		
<i>Tipologia impiantistica</i>	<i>n° pezzi</i>	<i>% relativo</i>	<i>% assoluto</i>	<i>n° pezzi</i>	<i>% relativo</i>	<i>% assoluto</i>
Sistemi mobili	40.282	22,0	20,8	44.860	24,5	23,1
Sistemi split fissi	97.043	53,0	50,0	92.466	50,5	47,6
Sistemi multisplit	26.550	14,5	13,7	29.296	16,0	15,1
Altri	19.226	10,5	9,9	16.479	9,0	8,5
<i>Totale condizionatori autonomi</i>	183.100	100,0	94,4	183.100	100,0	94,3
Sistemi ad acqua	5.528	51,0	2,9	6.310	57,0	3,2
Sistemi ad aria	4.553	42,0	2,3	4.428	40,0	2,3
Altri	759	7,0	0,4	332	3,0	0,2
<i>Totale condizionatori centralizzati</i>	10.840	100,0	5,6	11.070	100,0	5,7

Tab. II - Impianti di condizionamento venduti in Francia nel 1995 e nel 1996

	1995		1996	
<i>Tipologia impiantistica</i>	<i>n° pezzi</i>	<i>%</i>	<i>n° pezzi</i>	<i>%</i>
Condizionatori autonomi				
Sistemi mobili	11.213	18,9	12.562	18,8
Split system fissi	33.796	56,9	39.203	58,8
Sistemi multisplit	7.614	12,8	8.124	12,2
Altri	4.686	7,9	4.235	6,3
Condizionatori centralizzati				
Sistemi ad acqua	1.360	2,3	1.623	2,4
Sistemi ad aria	723	1,2	871	1,3
Altri sistemi	53	0,1	75	0,1
TOTALE	59.445	100,0	66.693	100,0

Tab. III – Impianti di condizionamento venduti in Portogallo (regione centrale) nel 1995 e nel 1996

La progettazione dell'impianto di condizionamento dovrebbe nascere nel momento in cui viene concepito l'edificio assieme con tutti gli elementi che lo delimitano nell'interfaccia verso l'ambiente esterno. Prima ancora di considerare delle tecnologie alternative di raffrescamento è quindi utile ripensare all'involucro rivalutando tutti quegli elementi che possono concorrere alla riduzione del carico termico estivo, a cominciare dalle superfici vetrate. La progettazione energeticamente consapevole degli edifici dovrebbe tenere in uguale considerazione sia il comportamento estivo che invernale ed utilizzare tutta la molteplicità di variabili su cui è possibile giocare contemporaneamente per giungere ad una soluzione che minimizzi il costo nel ciclo di vita (costo capitale iniziale + costi di gestione e manutenzione), e produca un'alta qualità globale dell'edificio (comfort e compatibilità ambientale).

Capitolo 2

IL RISPARMIO ENERGETICO

Come detto nel capitolo precedente l'edilizia contribuisce in modo significativo ai consumi finali di energia dei vari Paesi, in particolare in Italia il settore edile assorbe il 34% dei consumi energetici globali. Di conseguenza ha un notevole impatto sulla cronica dipendenza dall'estero per quanto concerne l'approvvigionamento delle risorse energetiche. Difatti, nell'ultimo Piano Energetico Nazionale, il risparmio energetico era segnalato al primo posto tra i cinque obiettivi prioritari da perseguire nel campo dell'energia. Inoltre quest'influenza si estende anche in campo ambientale, a causa della notevole mole di prodotti della combustione immessi nell'atmosfera.

In edilizia l'obiettivo della riduzione dei consumi può essere perseguito in diverse direzioni, che si possono riassumere nelle seguenti azioni:

- Maggiore efficienza degli impianti di climatizzazione estivi ed invernali, che comportano maggiori rendimenti delle caldaie, migliore isolamento di tubazioni e canalizzazioni, accurata termoregolazione degli impianti per una maggiore efficienza energetica e migliori condizioni di comfort ambientale.
- Maggiore capacità isolante degli elementi di chiusura degli edifici.
- Integrazione con sistemi solari attivi, i quali a differenza dei precedenti possono essere inseriti anche in edifici già esistenti, anche se ciò comporta problemi di carattere estetico e funzionali. Tuttavia è innegabile che per alcune utenze (ad esempio per la produzione di acqua calda sanitaria), l'integrazione edificio/impianto possa sensibilmente ridurre i consumi dovuti alle fonti energetiche convenzionali.

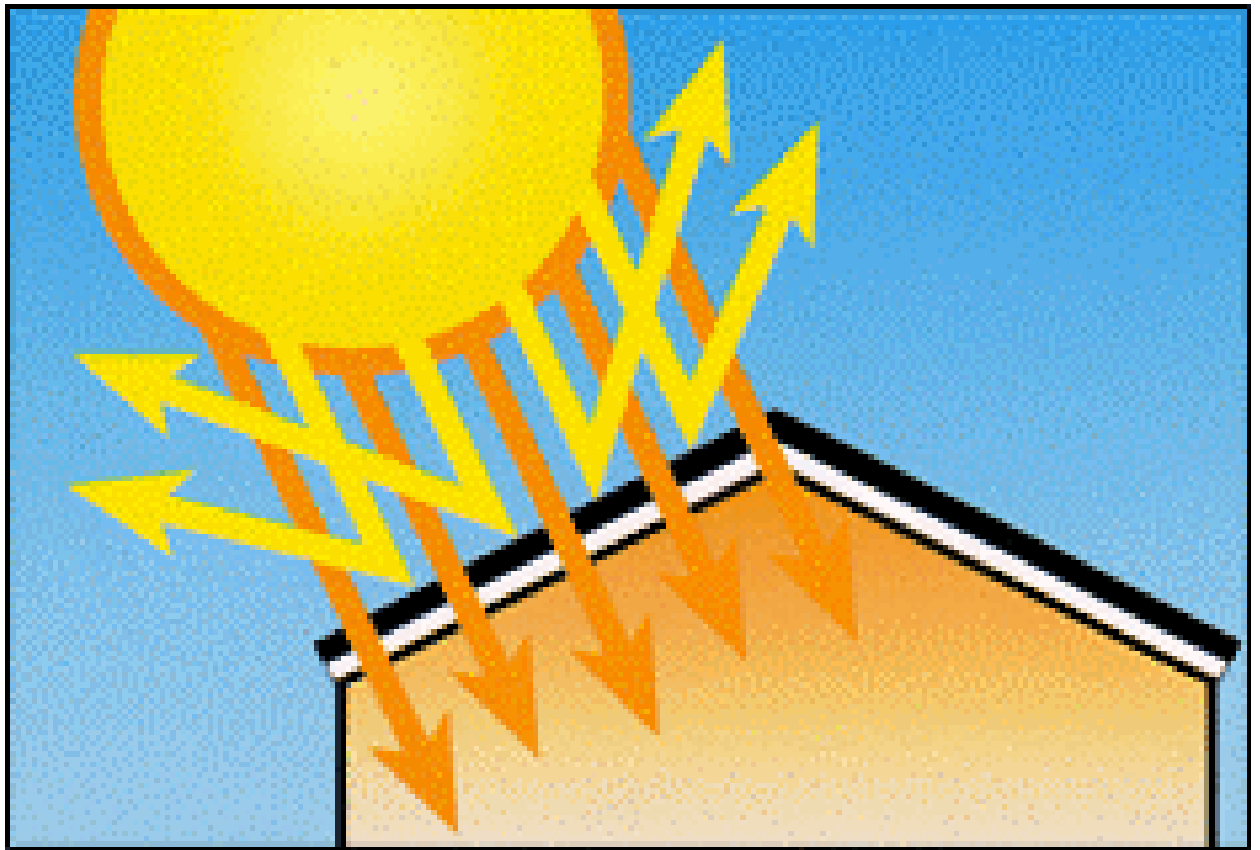
- Utilizzo del calore recuperato da impianti industriali, con sistemi di cogenerazione e teleriscaldamento
- Integrazione con sistemi solari passivi, i quali, se dimensionati adeguatamente, possono contribuire a ridurre i carichi termici sia estivi che invernali.

Il lavoro a seguire fa riferimento a quest'ultimo tipo di interventi, pertanto è necessario approfondire alcuni aspetti.

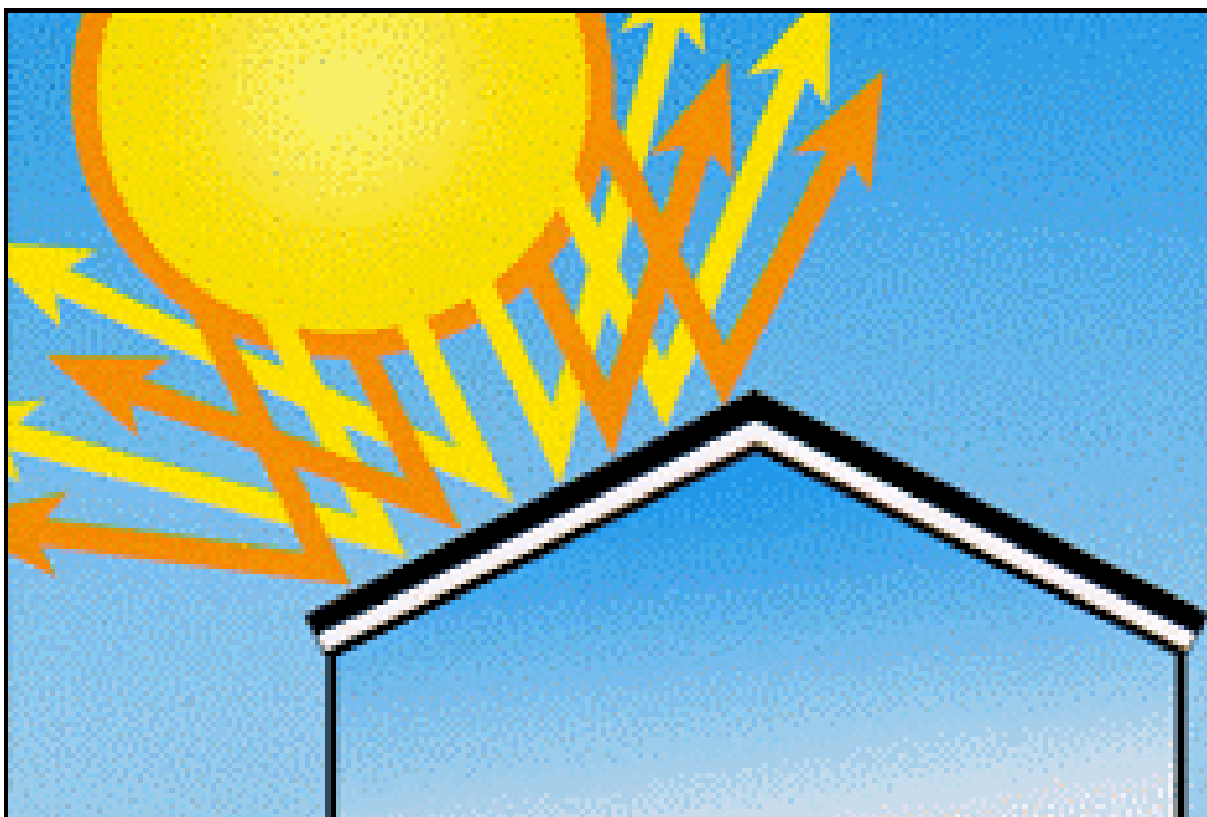
Vernici riflettenti

I carichi energetici di un edificio sono regolati dall'interno e possono essere ridotti utilizzando materiali efficienti e soluzioni costruttive. L'assorbimento delle radiazioni del sole da parte delle superfici opache degli edifici può essere minimizzato, utilizzando materiali riflettenti, con conseguente diminuzione dei picchi di temperatura e dei carichi richiesti per il raffreddamento. Diversi studi sono stati portati avanti su questo campo ottenendo risultati significativi. Il fenomeno è abbastanza intuitivo. L'architettura vernacolare delle regioni mediterranee è caratterizzata da un intenso uso di pietra strutturale pesante e colori molto chiari, prevalentemente bianco, per le mura e il tetto esterno. Queste dimore erano godevano di condizioni confortevoli per tutta la stagione estiva mentre gli edifici moderni residenziali e commerciali richiedono oggi un eccezionale uso di impianti per la refrigerazione. E' dunque importante recuperare i vecchi concetti utilizzando nuovi materiali e nuove tecnologie per far fronte all'incremento della richiesta energetica.

I rivestimenti riflettenti possono intervenire dove la situazione sta diventando problematica : nelle città.



Tetto con vernici convenzionali



Tetto con vernici riflettenti

Isola di calore

Nelle grandi aree urbane infatti il clima è più mite rispetto alle zone rurali vicine, questo fenomeno è conosciuto col nome di 'isola di calore'. Le grandi città sono caratterizzate per la maggior parte della loro estensione da superfici asfaltate e edificate, gli spazi verdi invece sono normalmente molto pochi; questi fattori, uniti al traffico, all'uso dei riscaldamenti e alla vicinanza di aree industriali, causano un aumento generale della temperatura media annua della città e una sostanziale modifica di altri parametri meteorologici. La modifica avviene a causa del maggior immagazzinamento di calore da parte delle superfici asfaltate e dai muri delle case, questo calore viene restituito molto lentamente all'ambiente e quindi modifica la temperatura.

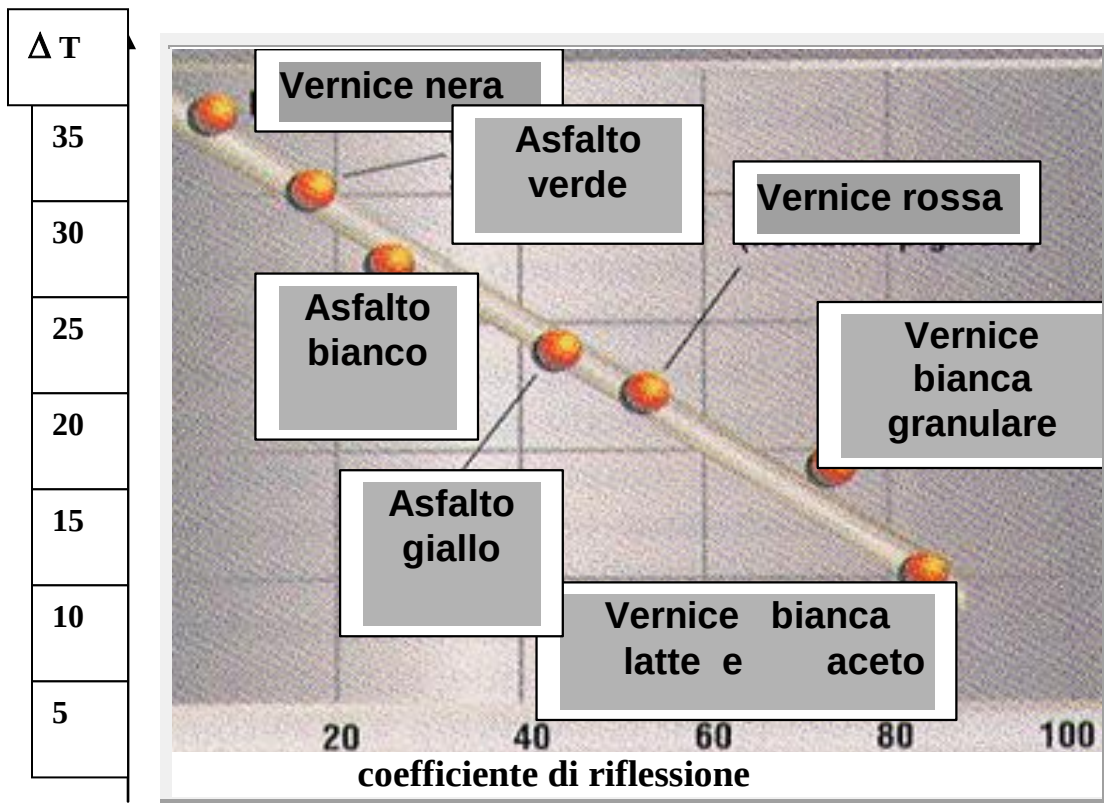


I tetti delle case e l'asfalto possono raggiungere sotto il sole estivo i 65°C e quello è tutto calore che andrà poi a riscaldare l'ambiente urbano. Si comprende come, non mancando fonti di calore aggiuntive al sole, il clima cittadino tenda a riscaldarsi notevolmente. Si calcola per una città di medie dimensioni che tra il centro e le zone rurali ci siano tra gli 0.5°C e i 3°C di differenza; non solo, esaminando il dato per stagioni si evince che la media delle minime invernali sia più alta rispetto alla normalità (cioè senza isola di calore) di 1-2°C e che le massime estive siano più alte di 1-3°C.

Diventa molto facile intuire come l'uso di vernici con alta riflessione sulle superfici esterne di edifici come tetti e muri esterni possa migliorare le condizioni climatiche degli spazi urbani e ridurre il fabbisogno energetico nelle nostre case. Le alte temperature nei centri urbani portano un aumento dei consumi energetici dovuto soprattutto all'utilizzo spropositato di aria condizionata sia nel settore residenziale sia in quello del terziario.. Questo fenomeno ha causato un forte innalzamento di consumi di materiali fossili e innalzamento dei prezzi. La domanda di energia aumenta di circa il 2% per ogni grado F. In totale al giorno si stima in 1-1,5 gigawatts il consumo di energia per il condizionamento, pari a circa 100000 euro all'ora, 100 milioni all'anno.

Una conseguenza di tali consumi è l'aumento di smog, si parla infatti di un incremento di 5% per ogni 0.5 °C. Mitigare l'effetto dell'isola di calore va di pari passo col risparmio energetico.

I materiali scuri assorbono di più la radiazione del sole –è noto a tutti infatti che se si indossa una maglietta nera in una giornata di sole si ha più caldo. Le superfici nere sotto il sole possono diventare più calde di quelle più riflessive bianche di 40 °C. Se queste superfici sono tetti, parte del calore assorbito si trasferisce all'interno. Un ambiente confortevole sotto un tetto molto scuro richiede un forte uso di aria condizionata e quindi energia. Inoltre essi riscaldandosi fino a temperature elevate contribuiscono all'effetto dell'isola di calore. Al contrario utilizzando tetti ad alto coefficiente di riflessione possono ridurre tale effetto.



Andamento della differenza di temperatura tra aria e superficie col variare del coefficiente di riflessione della stessa

Come è ormai noto, l'impatto dell'eccessiva impermeabilizzazione dei suoli sulle condizioni climatiche locali e perfino regionali, insieme alla forma, alla struttura del tessuto urbano ed altri fattori, è così elevato da contribuire a creare quel fenomeno conosciuto come "isola di calore urbano".

Nella formazione delle isole di calore è determinante il comportamento dei materiali utilizzati per l'edificazione in funzione della radiazione solare. Infatti, i materiali da costruzione e il manto stradale delle aree urbane hanno una grande capacità termica e conduttiva. Esse assorbono più radiazione solare di quanta ne riflettano e il calore trattenuto viene lentamente rilasciato.

Conoscere la risposta termica dei materiali da costruzione alla radiazione solare, permetterà di trovare soluzioni atte al miglioramento delle loro prestazioni termiche e, di conseguenza, mitigare, almeno in parte, il fenomeno delle isole di calore.

L'esperienza condotta dal gruppo di ricerca ha valutato le potenzialità del dato

telerilevato MIVIS per l'individuazione e l'analisi delle superfici in ambito urbano. E' stata messa a punto una metodologia in grado di discriminare elementi e materiali presenti nell'area di studio attraverso tecniche di classificazione. Inoltre, al fine di individuare una correlazione tra i risultati di questa caratterizzazione dei materiali presenti e la temperatura al suolo, sono state svolte delle analisi sia attraverso lo studio del canale termico del dato MIVIS (ch. 93), sia attraverso delle misure di temperature puntuali in situ, in modo tale da individuare elementi e materiali con caratteristiche termiche critiche.

L'utilizzo di dati telerilevati per il riconoscimento delle superfici di copertura in ambito urbano, realtà complessa come quella di un territorio costruito, ha suggerito l'esplorazione di nuovi metodi di indagine ed indirizzato un crescente interesse verso un lavoro di ricerca pluridisciplinare capace di individuare campi di applicazione ancora poco esplorati ma ricchi di prospettive.

Forte di questa convinzione, in questo studio preliminare, che è parte integrante di un progetto di ricerca in cui sono coinvolti altri Enti operanti in diversi ambiti disciplinari (CNR, ENEA, Univ. "La Sapienza" Dip. Fisica Tecnica), vengono presentati i primi risultati relativi ad una attività volta all'analisi del comportamento termico dei materiali di rivestimento in ambito urbano e alla loro influenza sull'ambiente circostante.

La ricerca prosegue con uno studio dettagliato del bilancio termico delle superfici sottoposte a radiazione solare, al fine di valutare e ricavare alcune indicazioni utili ai fini di una pianificazione termicamente sostenibile.

Principi generali

L'accumulo di energia solare da parte della Terra è un importante fattore per la determinazione del clima terrestre. Assume quindi un'importanza rilevante studiare i fenomeni che portano allo scambio di calore tra la Terra e l'atmosfera e determinare i fattori ambientali e fisici che possono provocare un riscaldamento locale delle superfici.

L'energia incidente sul suolo terrestre è costituita principalmente dalla radiazione solare che può essere suddivisa in radiazione diretta e diffusa. Mentre la prima dipende dalla posizione del Sole nel cielo, la seconda viene emessa in ogni direzione per i fenomeni di dispersione causati dalle molecole dell'aria, le nuvole e in generale le particelle sospese nell'aria. A queste due forme di energia occorre aggiungere la radiazione emessa dalla volta celeste nell'infrarosso (*longwave radiation*). La radiazione incidente sulla superficie terrestre varia ovviamente in funzione del periodo dell'anno, dell'ora del giorno, dalla nuvolosità e dalla torbidità atmosferica. La radiazione incidente deve essere bilanciata dalla radiazione che viene reirradiata verso l'atmosfera costituita dal calore latente (fenomeni di vaporizzazione), calore sensibile (fenomeni convettivi) e dalla radiazione scambiata dal suolo con la volta celeste (*longwave radiation*).

Considerando il sistema Terra-Atmosfera, la partizione netta di energia assorbita dal suolo è costituita dalla differenza tra l'energia entrante, rappresentata dalla radiazione solare diretta e dalla radiazione solare diffusa in atmosfera, e l'energia uscente, rappresentata dal calore latente, dal calore sensibile e dalla radiazione riemessa come onda lunga (Fig.1) (Bonan G. 2002).

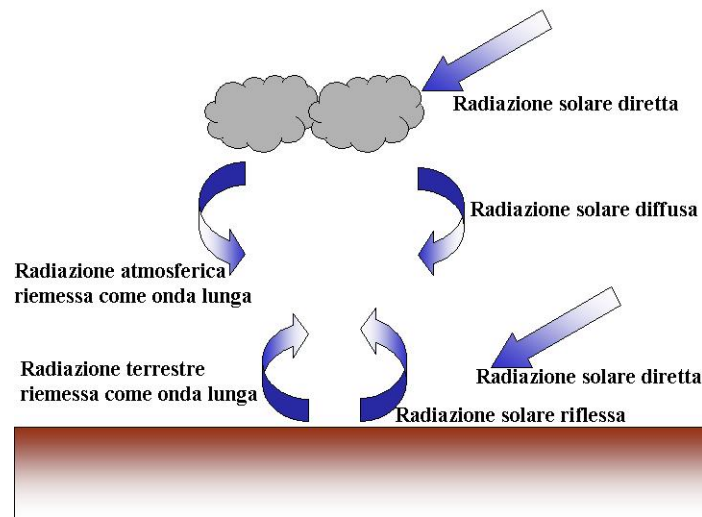


Fig.1 – Bilancio energetico

Si nota immediatamente che queste porzioni di energia scambiata sono direttamente proporzionali alla temperatura delle superfici. Per tale ragione il primo passo dello studio condotto ha avuto come oggetto la rilevazione delle temperature superficiali dei singoli materiali. Tali misure sono state eseguite sia mediante dati telerilevati MIVIS, sia attraverso una campagna di terra puntuale, effettuate entrambi su aree campioni opportunamente scelte in base alle caratteristiche di eterogeneità proprie delle aree urbane.

Area di studio

L'area di studio è rappresentata da una parte del quartiere Monteverde-Gianicolense nelle aree limitrofe al Parco Comunale di Villa Pamphili. E' stata selezionata tale zona in quanto risulta costituita da un insieme di aree edificate e grandi aree verdi ed è attraversata da alcune importanti arterie di circolazione, quindi presenta una elevata eterogeneità spaziale e spettrale. L'area complessiva risulta pari a 638 ha.

La ripresa MIVIS utilizzata per lo studio è stata effettuata sulla città di Roma il 20 giugno 1995 secondo una linea di scansione N-S da una quota di 2000 m, a cui corrisponde un pixel di 4 x 4m.

Misure attraverso dati MIVIS

Il MIVIS (*Multispectral Infrared Visible Imaging Spectrometer*) è uno strumento modulare aero-trasportato costituito da 4 spettrometri che riprendono simultaneamente le radiazioni provenienti dalla superficie terrestre nel visibile, nell'infrarosso vicino, nell'infrarosso medio e nell'infrarosso termico, per un totale di 102 bande. Oltre alla sua elevatissima risoluzione spettrale, si aggiunge una altrettanto elevata risoluzione spaziale con un pixel variabile di 3-4 m a seconda della quota di volo dell'aereo.

Tali caratteristiche rendono il sensore MIVIS adatto per lo studio su scala locale delle relazioni tra i diversi parametri chimici e fisici; ciò permette una elevata precisione di analisi nel riconoscimento di elementi e materiali.

Inoltre, la disponibilità di bande nell'infrarosso termico consente di stimare con elevata accuratezza le temperatura cinetica della superficie e di studiare le proprietà emissive dei materiali superficiali, sulla base di quanto visto nel paragrafo precedente.

Classificazione

Attraverso il dato MIVIS, è stato possibile individuare e caratterizzare, attraverso tecniche di classificazione, alcuni materiali di rivestimento ed elementi naturali come acqua e verde presenti nell'area in esame (Fiumi, 2002). A tale scopo è stato utilizzato l'algoritmo di classificazione noto come SAM (*Spectral Angle Mapper*) (Gommarasca, 1997) che richiede come input un numero di aree di prova (*training areas*) o spettri di riferimento, derivanti da specifiche "Regioni di Interesse" (*Region Of Interest, ROI*) o banche dati spettrali. In Fig.2 è mostrato il risultato della classificazione

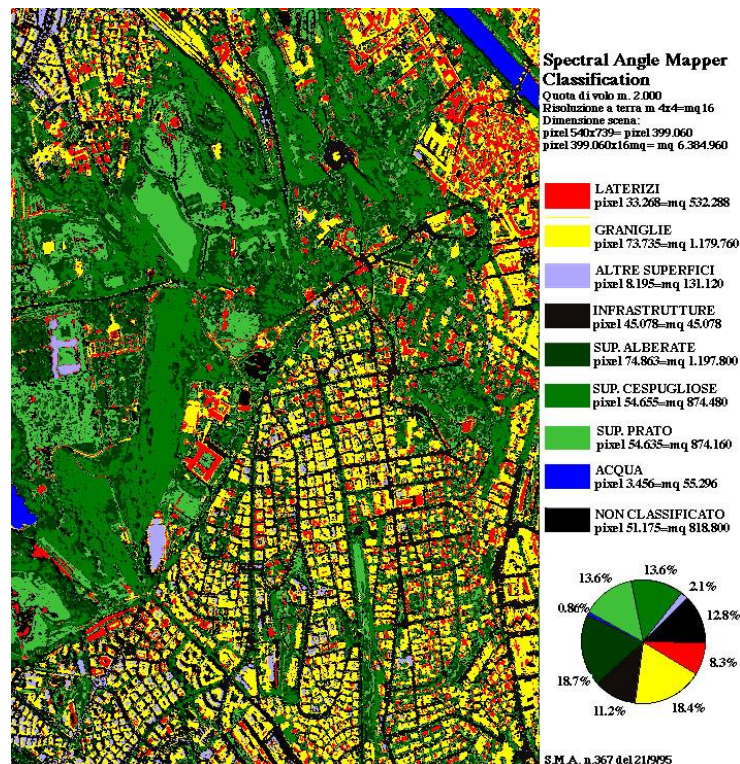


Fig.2 – Classificazione dell’area di studio

A partire dalla caratterizzazione dei materiali è possibile realizzare diverse mappe tematiche, in grado di evidenziare particolari caratteristiche dell’area. A titolo di esempio in Fig.3 è stata effettuata una discriminazione tra aree permeabili e aree impermeabili, importante ai fini di una valutazione urbanistico-ambientale per quanto riguarda tutti i problemi legati ad un’eccessiva impermeabilizzazione delle zone antropizzate, con conseguenze negative sia per lo smaltimento delle acque piovane, sia per il microclima di ogni zona, sia ancora per la ricarica delle falde acquifere sotterranee. (Rossi S., 1999).

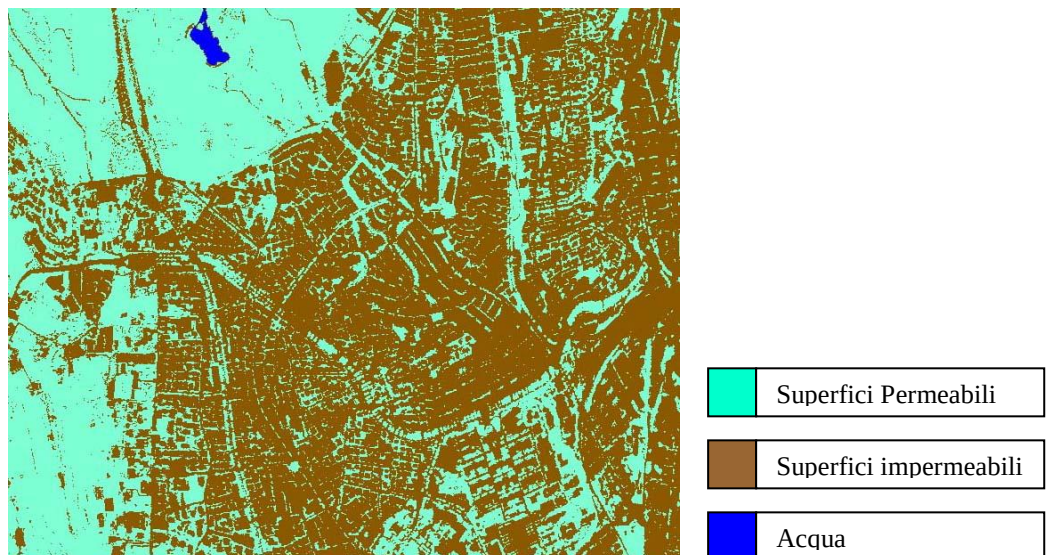


Fig.3 - Caratterizzazione aree permeabili ed impermeabili

Mappe termiche

Per rilevare i valori di temperatura delle superfici, si è proceduto alla visualizzazione del canale 93 dei suddetti dati MIVIS, da 8.200 micron a 8.600 micron, sensibile alla porzione dello spettro elettromagnetico corrispondente all'infrarosso termico. La mappa termica ottenuta (Fig.4) visualizza con uno *slicing* su 7 livelli di colore l'emissività delle superfici, per valori che vanno da 0° ad oltre 40°. Le temperature al suolo sono raggruppabili in sette fasce e tradotte in colori:

- fino a 20 gradi (nero);
- da 20 a 24 gradi (blu);
- da 24 a 28 gradi (azzurro);
- da 28 a 32 gradi (marrone);
- da 32 a 36 gradi (bianco);
- da 36 a 40 gradi (giallo);
- oltre i 40 gradi (rosso).

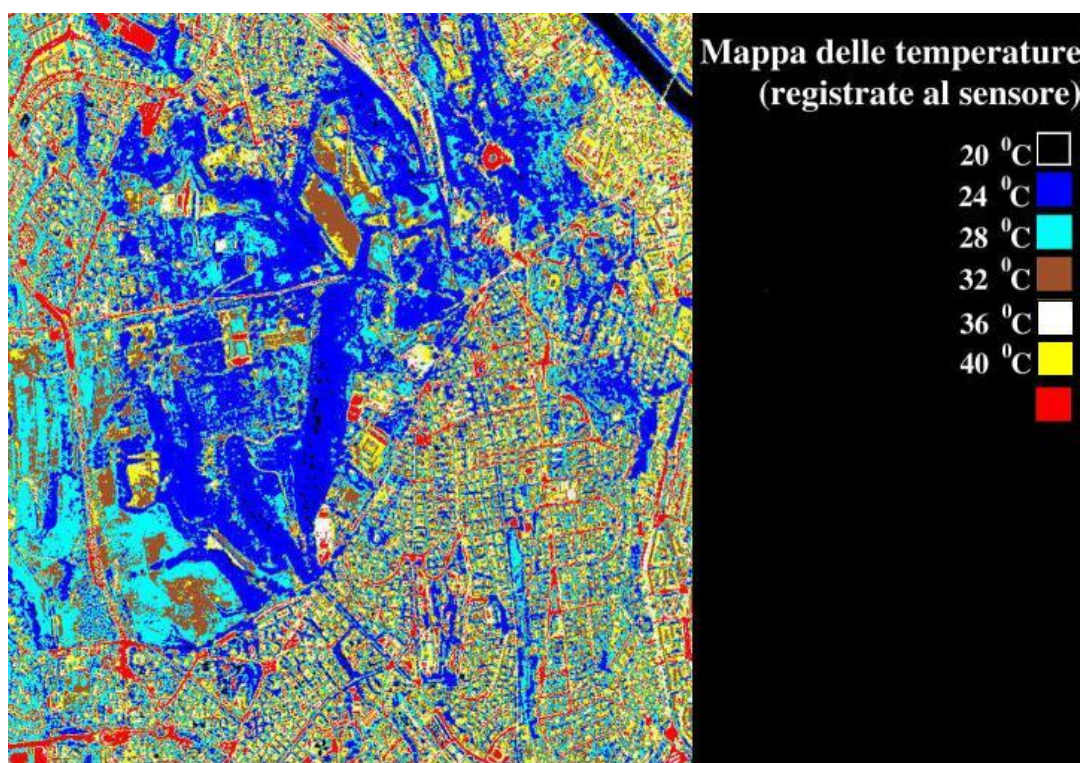


Fig.4 – Mappa termica

Da una semplice analisi visiva della mappa prodotta, risulta evidente che le superfici costituite da elementi naturali, quali acqua, prati ed alberi, registrano le temperature più basse. Nelle zone coperte con vegetazione il riscaldamento superficiale è minore perché una parte notevole dell'energia disponibile viene smaltita attraverso il processo di evapotraspirazione. Inoltre le zone vegetate riflettono più energia solare rispetto al tessuto urbano. Al contrario, nelle superfici edificate e nelle strade variamente pavimentate, si registrano nella mappa termica le temperature più alte, maggiori di 32°. Il fenomeno è dovuto sia alla grande capacità di queste superfici impermeabili di assorbire calore solare, sia anche dal calore prodotto *in situ* dalle attività dell'uomo (Vinci, 1996). Conviene ricordare che l'assenza del flusso di calore latente, unita alla grande capacità di assorbimento di energia da parte dei materiali ed al rilascio di calore antropico sono da annoverarsi tra le cause dominanti che producono temperature superficiali più elevate. Infatti, è facile notare che i livelli termici più elevati si segnalano lungo le principali arterie di comunicazione, soprattutto in prossimità degli incroci o comunque in presenza di superfici estese soggette ad una maggiore esposizione al sole.

Capitolo 3

MISURE SPERIMENTALI DELLA RIFLETTANZA SOLARE DI MATERIALI DA COSTRUZIONE

In questo capitolo affronteremo il discorso della interazione tra la radiazione solare e le superfici e di come il suo apporto di calore è influenzato dal tipo di materiale con cui va ad interagire, dal colore e dalla lunghezza d'onda.

Vedremo come tramite opportuni strumenti sarà possibile determinare come ogni tipo di materiale risponde alla sollecitazione del sole in modo del tutto diverso .

Il lavoro a seguire fa riferimento a quest'ultimo tipo di misure fatte nel laboratorio sperimentale del vetro di Murano, ma prima sarà necessario approfondire alcuni aspetti.

La radiazione solare

La radiazione elettromagnetica emessa dal sole copre uno spettro di lunghezze d'onda teoricamente infinito, tuttavia dal punto di vista applicativo può essere

suddivisa negli intervalli definiti nella tabella 1. Lo spettro che va dai 380 ai 2500 nanometri viene comunemente detto intervallo solare, in quanto e' al suo interno che avvengono gli scambi energetici, inoltre, come evidenzia la tabella, e' quello in cui cade la maggior parte dell'energia solare.

Spettro	λ (nm)	% energia
Ultravioletto	150-380	2.3
Visibile	380-780	54
Infrarosso vicino	780-2500	42.4
Infrarosso lontano	2500-1	1.3
mm		

Tabella 1 Suddivisione spettrale dell'energia solare

Quando la radiazione solare incide su un materiale trasparente è trasmessa, assorbita e riflessa in funzione di parametri che riguardano le caratteristiche della radiazione, come la distribuzione spettrale e l'angolo di incidenza, e la natura del materiale stesso. In figura 1 è riportato, in maniera molto schematica, ciò che avviene allorché un fascio di radiazioni colpisce un elemento trasparente, dalla figura sono facilmente comprensibili i seguenti coefficienti:

- Coefficiente di trasmissione τ : rapporto tra radiazione che attraversa il materiale e radiazione incidente.
- Coefficiente di riflessione ρ : rapporto tra radiazione riflessa dal materiale e radiazione incidente.
- Coefficiente di assorbimento α : rapporto tra radiazione assorbita dal materiale e radiazione incidente.

Per i tre coefficienti sussiste sempre la relazione:

$$\tau + \rho + \alpha = 1$$

I concetti espressi di seguito valgono per i tre coefficienti, per brevità si farà riferimento alla sola trasmittanza in quanto parametro più importante utilizzato, ma è intrinseco che queste considerazioni valgono anche per gli altri due. Ovviamente è necessario approfondire le definizioni sopra riportate con una serie di considerazioni. Innanzi tutto in funzione del materiale, la radiazione incidente sulla superficie può essere trasmessa con le seguenti modalità:

- Regolare, il raggio è trasmesso (riflesso) con angolo pari all'angolo della radiazione incidente,

- Diffondente, secondo la legge del coseno, il raggio incidente viene trasmesso come somma di infiniti raggi emessi in tutte le direzioni. La radiazione I_α nella generica direzione α , si ricava, secondo la legge del coseno, dalla relazione: $I_\alpha = I_o \cos \alpha$, essendo I_o la radiazione in direzione normale alla superficie.
- Parzialmente diffondente (scattering), il raggio incidente è trasmesso in modo più o meno diffuso mantenendo come direzione principale quella dell'angolo di incidenza. Si parlerà di low o high scattering se la diffusione avviene per angoli prossimi alla direzione della radiazione incidente oppure in modo più uniforme.
- A selettività angolare, cioè la radiazione è trasmessa in modo regolare ma secondo direttrici preferenziali, dovute ad esempio ad elementi prismatici.

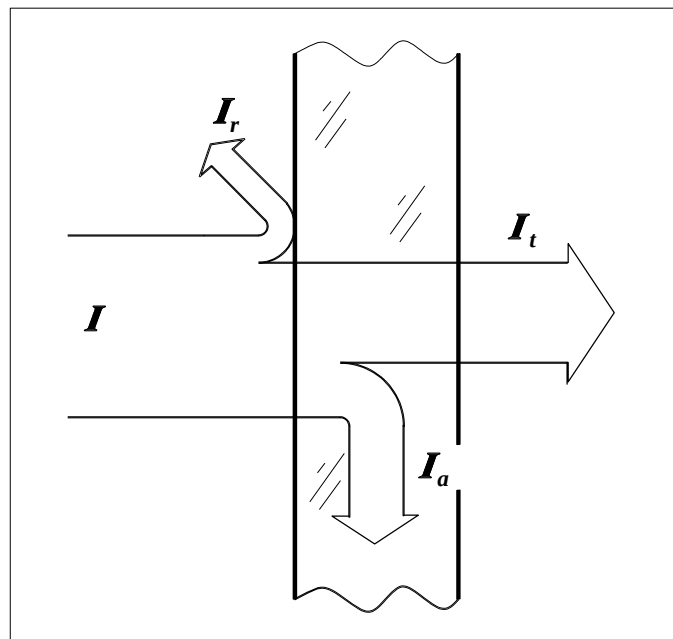


Fig. 1 Flussi energetici in un materiale trasparente.

I coefficienti precedentemente introdotti, esattamente come la radiazione incidente, non sono costanti ma dipendono dalla lunghezza d'onda e dalla natura del materiale stesso. Ai fini pratici la trasmittanza è espressa da valori integrati

passando, in tal modo, dalla «funzione» al «numero». Supponendo di illuminare un certo materiale con il sole e facendo il rapporto tra l'energia globalmente trasmessa e quella incidente si ottiene la trasmittanza solare τ_e (comprensiva delle lunghezze d'onda del visibile e del vicino infrarosso). Analiticamente questo equivale alla formula seguente in cui i due integrali sono pesati dalla curva $E(\lambda)$, che rappresenta lo spettro solare di riferimento secondo la normativa internazionale ISO 9050:

$$\tau_e = \frac{\int \tau(\lambda) \cdot E(\lambda) \cdot d\lambda}{\int E(\lambda) \cdot d\lambda}$$

Allo stesso modo è definita la trasmittanza luminosa τ_v , in cui le *curve peso* sono due la prima è quella di un illuminante bianco standard, la seconda è la curva di visibilità dell'occhio umano.

$$\tau_v = \frac{\int \tau(\lambda) \cdot D(\lambda) \cdot V(\lambda) d\lambda}{\int D(\lambda) \cdot V(\lambda) \cdot d\lambda}$$

I valori dei parametri ottici variano sensibilmente in funzione dell'angolo d'incidenza, infatti la trasmittanza mantiene valori pressoché costanti fino ad angoli intorno ai 30° per decrescere, in maniera più o meno rapida a secondo del materiale, ed ad annullarsi a 90°, la riflettanza ha un comportamento complementare, con il minimo ad incidenza normale e dai 30° aumenta progressivamente fino a diventare pari ad 1 a 90°, viceversa l'assorbimento varia con il percorso ottico della radiazione all'interno del materiale.

Oltre alle grandezze di natura ottica, è importante introdurne alcune di carattere energetico le quali sono fondamentali per la scelta dei materiali ed il corretto dimensionamento ed orientamento delle superfici trasparenti. La figura 2 approfondisce quanto descritto in figura 1, dallo schema si può evincere come parte dell'energia assorbita dal materiale venga poi riemessa sia verso l'interno che verso l'esterno, con contributi che dipendono dalle condizioni ambientali indoor e outdoor e, soprattutto, dalle caratteristiche del materiale trasparente.

Viene così definito g coefficiente di trasmissione totale di energia solare, o brevemente fattore solare, che indica la quota di energia globalmente trasmessa attraverso il materiale, rispetto a quella incidente:

$$g = \frac{I_t}{I} = q'_e + \tau_e$$

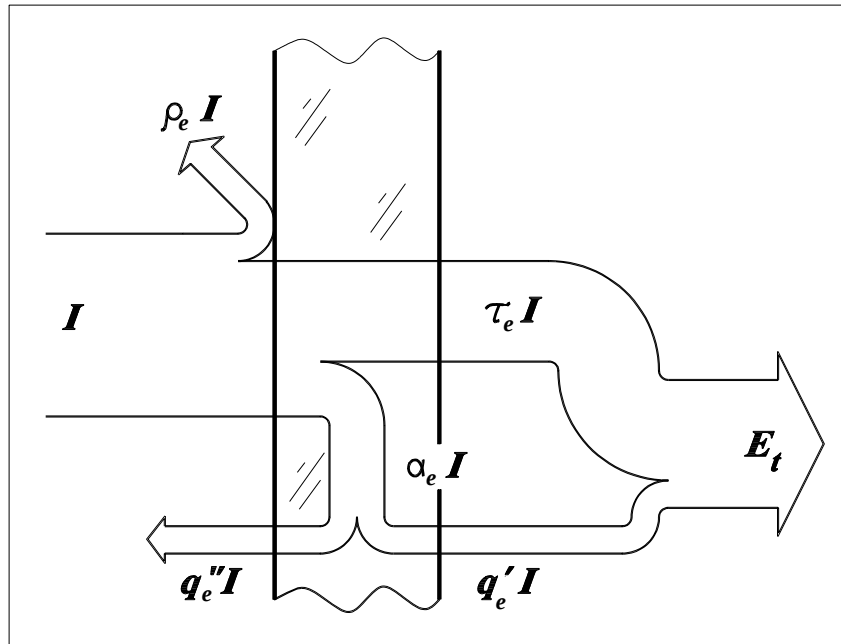


Figura 2 Definizione del fattore solare.

Il fattore solare è sempre maggiore della trasmittanza solare, con contributi che in alcuni casi possono essere di diversi punti percentuali; con tale parametro si possono valutare al meglio gli apporti solari gratuiti.

Variazione della temperatura delle superfici al variare di ρ

Abbiamo visto come il raggio di sole che impatta su di una superficie viene trasmesso, riflesso e assorbito, la somma dei tre coefficienti è 1 e che per le superfici opache la trasmittanza è ovviamente 0.

Un'elevata assorbenza della radiazione solare, tipica dei materiali da costruzione normalmente utilizzati oggi, implica che tale energia è trattenuta all'interno degli stessi causando un apporto di calore.

La conseguenza è un trasferimento di calore verso gli edifici che dipende da molti fattori tra cui la massa termica della struttura, coefficiente di assorbimento delle superfici, condizioni climatiche e struttura geometrica. A partire da queste considerazioni è nata la scelta del gruppo di ricerca di effettuare delle misure di temperatura puntuali sui materiali più rappresentativi delle coperture urbane; in particolare, è stata individuata un'area campione in cui sono presenti asfalto, basalto, travertino, suolo nudo e prato.

La figura sottostante dà un esempio della situazione. È stato rilevato l'andamento della temperatura nell'arco di tutta la giornata di alcuni materiali comunemente utilizzati come ricoprimento di superfici urbane. Le misure sui materiali sono state rilevate il 14 ottobre 2003 Roma, località Colle Oppio (Verde pubblico inserito in un contesto urbanizzato), mediante un Thermopoint portatile della AGEMA con un *spectral range* di 8-14 micron. Contestualmente sono stati rilevati i valori della temperatura dell'aria attraverso un termoigrometro della Delta OHM modello 9216.

In Fig.5 sono riportati i valori di temperatura misurati alle diverse ore della giornata.

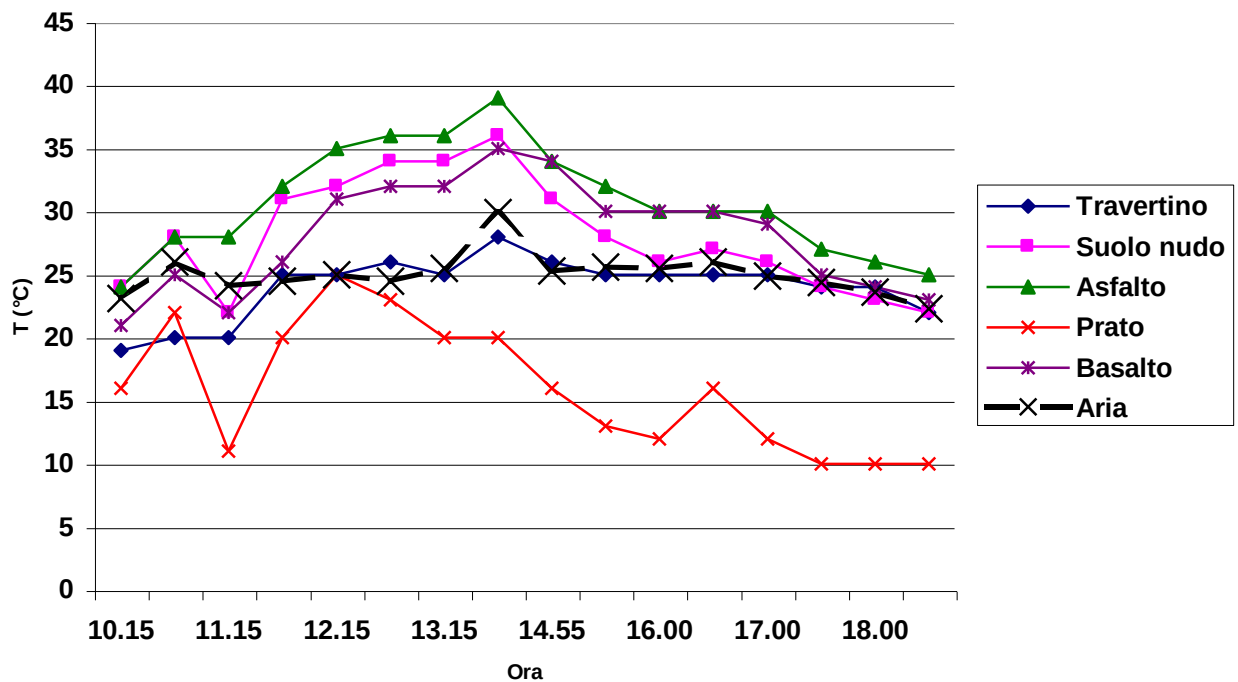
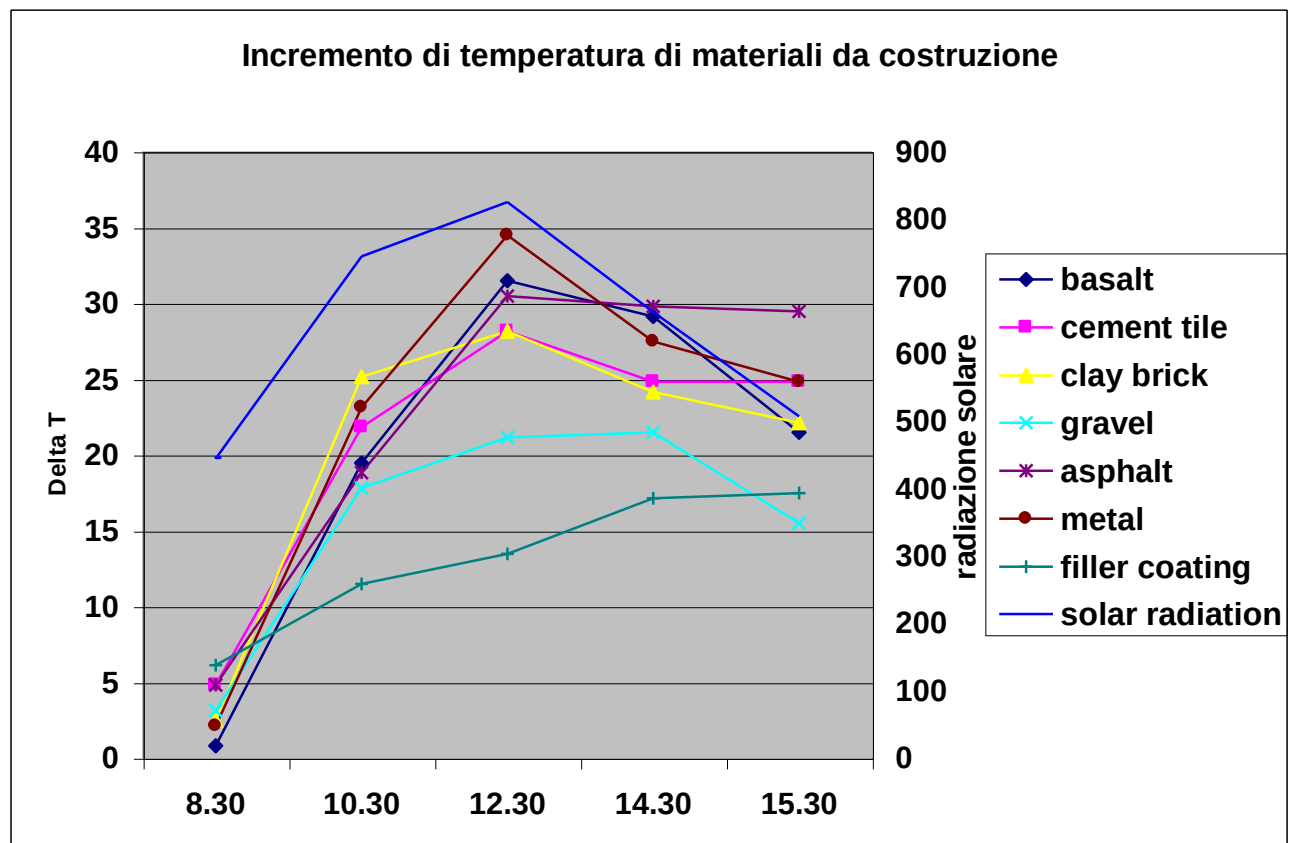


Fig.5 – Andamento termico dei materiali esaminati

Il risultato dell' esperimento mostra come i materiali influiscono sulla temperatura dell' aria sovrastante. A seconda del tipo di materiale si può osservare una variazione della temperatura dell'aria dai 15 ai 25 gradi nelle ore più calde. Dalla visione del grafico si può capire come nelle superfici ad alto assorbimento le temperature restano alte durante tutta la giornata. Infatti mentre la radiazione solare decresce nel pomeriggio, l' effetto combinato dell' assorbimento e dell' aumento della temperatura dell' aria mantiene la superficie molto calda con il conseguente consumo energetico elevato per il mantenimento delle condizioni climatiche all'interno ottimali



Dal grafico emerge che escludendo la superficie a prato ed il travertino, a causa del loro basso assorbimento solare, tutti gli altri materiali subiscono incrementi termici elevati, superando la temperatura dell'aria nella parte centrale del periodo di sessione di misure.

Per materiali molto usati per pavimentazioni stradali, quali asfalto e basalto, sono stati misurati incrementi compresi tra 10 e 20 gradi, così anche come per il suolo nudo secco costituito da materiale pozzolanico. Affrontare il problema dell'isola di calore a livello urbano, implica la riduzione di consistenti *gap* di temperatura; in particolare, il problema potrebbe essere ridotto utilizzando materiali diversi, ovvero utilizzando gli stessi materiali rifiniti con rivestimenti speciali. L'obiettivo di ridurre le temperature superficiali deve essere perseguito riducendo l'assorbimento della radiazione solare, ovvero aumentandone la riflessione. A questo scopo numerose attività di ricerca sono state condotte negli anni passati da importanti istituti, quali L.W. Berkeley

Laboratory in California, con l'obiettivo di sviluppare e testare nuovi prodotti atti a mitigare l'effetto isola di calore.

Il campo di applicazione è quello dei manti stradali e dei rivestimenti degli edifici, in particolare delle coperture.

Nel caso delle pavimentazioni stradali, è stato verificato che l'assorbanza¹ ha il suo massimo durante la fase iniziale, con valori pari a circa il 95% della radiazione incidente. Con l'invecchiamento dei materiali, diminuisce la pellicola di asfalto, la parte più scura dunque più assorbente, portando gli inerti a contatto con l'aria. La loro maggiore riflettanza fa sì che l'assorbimento di un asfalto invecchiato si attesti su valori compresi tra il 10 ed il 15%. Si tratta di valori ancora molto alti se si vuole ridurre la temperatura superficiale delle pavimentazioni stradali [Pommerantz M. et al. 2000]. Alcune soluzioni sono in fase di sperimentazione, ma è utile ricordare che non è tanto fondamentale il dato iniziale, quanto la sua evoluzione nel corso del tempo. Comunque, realizzando pavimentazioni con inerti molto chiari e tecniche particolari di posa in opera consentono di ottenere valori di assorbimento anche inferiori al 65%.

Per quanto riguarda i rivestimenti degli edifici, la zona più critica è il tetto, poiché la posizione del sole in estate è tale da determinare livelli di irraggiamento molto elevati sulle coperture [Konopacky S. et al. 1998]. La temperatura superficiale, analogamente al caso delle pavimentazioni stradali, si ottiene aumentando la riflessione su tutto lo spettro solare del materiale. Esistono diverse soluzioni che possono essere raggruppate come segue:

- Rivestimenti bianchi, ottenuti con materiali polimerici e pigmenti bianchi. La riflessione può essere spinta fino ad oltre l'80% della radiazione incidente. Prestazioni leggermente inferiori si possono ottenere con altre colorazioni leggere.

¹ Misura della capacità di una superficie di assorbire l'energia incidente: cioè rapporto tra energia assorbita e energia incidente.

- Rivestimenti in alluminio, sono realizzati con delle resine particolari in cui si trovano particelle di alluminio. La caratteristica di questi fiocchi fa sì che la superficie esterna del rivestimento sia praticamente un continuo di metallo, garantendo dei valori di riflettanza accettabili (50-60%).

- Membrane, realizzate con materiali idrorepellenti ad elevata resistenza, del tipo mono o multi strato. Sono realizzate con elementi di feltro, fibra di vetro o poliestere, successivamente laminato con materiale polimerico flessibile. I valori di riflettanza cadono in un range molto elevato, prodotti di buona qualità hanno valori compresi tra 70 ed 80% della radiazione incidente.

Altre soluzioni possono essere le coperture in metallo (riflettanza intorno al 60%) o con tegole di tipo particolare (riflettanza intorno al 40%, ma alcune tegole in calcestruzzo trattato arrivano al 70%).

La scelta di questi materiali dipende comunque da diversi fattori tra cui: il costo, la durabilità del prodotto, la destinazione d'uso della copertura (calpestabile, con locali tecnici, ecc.), la giacitura del tetto. La scelta dovrà scaturire da un'accurata analisi dei benefici energetici indoor ed ambientali outdoor.

Fino adesso abbiamo visto l'esistenza di un vasto range di soluzioni possibili sul mercato per ridurre l'apporto di calore del sole sulle superfici ma, oltre alle proprietà ottiche dei materiali bisogna considerare altri aspetti. È fondamentale che il colore e le caratteristiche spettrofotometriche iniziali permangano nel tempo quindi diventano importanti la durata del colore nel tempo, la resistenza agli agenti atmosferici quindi l'erosione dell'acqua e l'umidità. La rimozione di sporcizia dalle superfici interessate è un altro aspetto importante, deve essere facile e non dispendioso. Ulteriori aspetti vanno infine considerati nello scegliere un rivestimento ad alta riflettanza, il costo, gli accorgimenti architettonici, l'estetica, i componenti dei materiali con cui si costruiscono i muri e i tetti da rivestire e la disponibilità del mercato.

Misure sperimentali di ρ

Le misure sono state prese per 8 campioni di materiali nel laboratorio sperimentale del vetro a Murano il giorno 25/06/2006

Lo strumento utilizzato è uno spettrofotometro Perkin-Elmer mod. Lambda 900. I componenti principali di uno spettrofotometro sono la sorgente luminosa, il monocromatore ed il rivelatore (fig.1a). Il fascio luminoso prodotto dalla sorgente e reso monocromatico raggiunge il rivelatore grazie ad un sistema di deflessione e focalizzazione del fascio stesso basato su un sistema di lenti di quarzo e/o specchi.

La sorgente emette uno spettro continuo ed il monocromatore seleziona una radiazione monocromatica caratterizzata da una certa lunghezza d'onda, λ [nm].

Il rivelatore misura il flusso ϕ_i di tale radiazione.

Le sorgenti utilizzate normalmente in spettrofotometria sono le seguenti:

- lampade al deuterio, $200 < \lambda < 350$ nm;
- lampade incandescenti alogene, $350 < \lambda < 3000$ nm;
- lampade xenon, $250 < \lambda < 1200$ nm.

I monocromatori possono essere a prisma o a reticolo olografico. I parametri caratteristici di un monocromatore sono la larghezza angolare dello spettro e il potere risolvibile del prisma o del reticolo. La dispersione nel caso dei reticoli olografici è indipendente dalla lunghezza d'onda e questa è la loro principale differenza rispetto ai prismi. I monocromatori, oltre al sistema che scompone la radiazione incidente nelle sue componenti monocromatiche, presentano una fenditura che seleziona quelle componenti che presentano una lunghezza d'onda compresa nell'intervallo $\lambda \pm \frac{\Delta\lambda}{2}$ dove $\Delta\lambda$ è il passabanda dello spettrofotometro.

Una riduzione della dimensione della fenditura in millimetri corrisponde ad una riduzione del passabanda in nanometri.

Ruotando il prisma o il reticolo olografico varia con continuità la lunghezza d'onda della radiazione che attraversa la fenditura. I rivelatori utilizzati a seconda dell'intervallo spettrale considerato sono i seguenti:

- fotomoltiplicatori, $200 < \lambda < 900$ nm;
- celle fotovoltaiche al silicio, $200 < \lambda < 1100$ nm;
- rivelatori PbS, InGaAs ed altri rivelatori a stato solido, $\lambda > 800$ nm.

Se tra monocromatore e rivelatore viene interposto un campione, ad es. una lastrina di vetro (fig. 1a), in posizione perpendicolare al fascio incidente, il flusso della radiazione misurata dal rivelatore si ridurrà ad un certo valore ϕ_u . Il rapporto ϕ_u/ϕ_i rappresenta la trasmittanza spettrale τ del campione in incidenza normale e in corrispondenza alla lunghezza d'onda considerata:

$$\tau(\lambda) = \frac{f_u}{f_i} \quad (1)$$

Nello spettrofotometro si ha una variazione continua della lunghezza d'onda selezionata dal monocromatore e sul plotter xy viene registrata la curva di trasmittanza $\tau(\lambda)$ del campione in esame nell'intervallo spettrale considerato

Gli spettrofotometri commerciali generalmente presentano un sistema biraggio costituito da un raggio di riferimento e da un raggio campione in cui viene posizionato il campione stesso (fig.1b). Il sistema biraggio viene ottenuto mediante settori rotanti che alternativamente deflettono il fascio luminoso o lo lasciano passare. Nel caso ad esempio della fig. 1b si hanno due settori rotanti in quadratura tra loro e due specchi di deflessione. L'elettronica associata al rivelatore realizza il rapporto tra i due segnali sia per ottenere la linea di base in assenza del campione (corrispondente a ϕ_i nell'eq. (1)) sia per eseguire la misura sul campione (ϕ_u in (1)). In tal modo la misura non viene perturbata da eventuali fluttuazioni dell'intensità della lampada o della risposta del rivelatore. Il sistema biraggio può essere ottenuto anche mediante un beam splitter e un rivelatore ausiliario (fig. 1c).

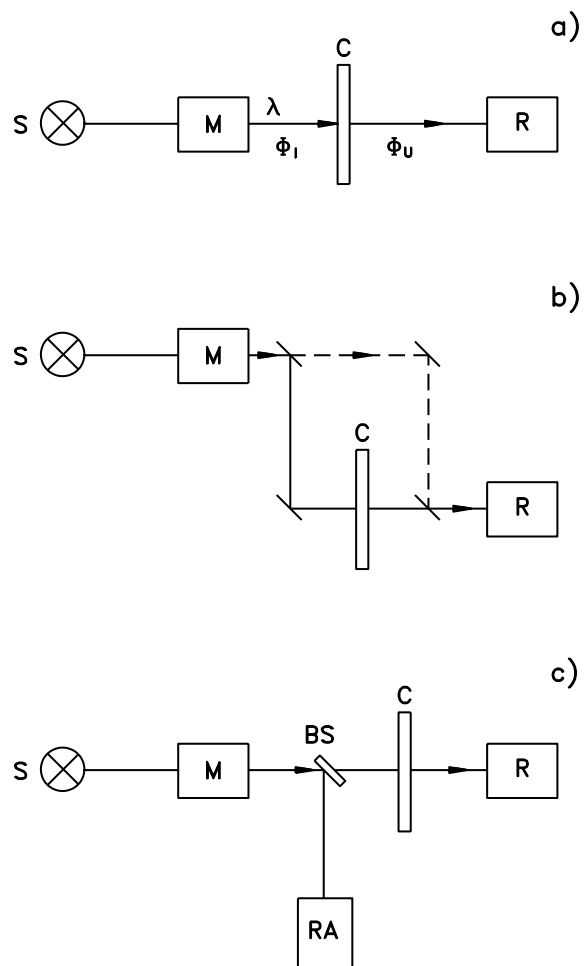


Fig. 1 - Schema a blocchi di uno spettrofotometro: a) monoraggio; b) biraggio; c) biraggio con rivelatore ausiliario.

S: sorgente; M: monocromatore; C: campione; R: rivelatore; BS: beam splitter; RA: rivelatore ausiliario.

Lo spettrofotometro va sottoposto a controlli periodici per garantire il buon funzionamento e l'assenza di errori di tipo sistematico [1]. In particolare vanno verificate la calibrazione in lunghezza d'onda (asse x) e la linearità fotometrica (asse y) dello strumento. La scala delle lunghezze d'onda può essere controllata mediante lampade spettrali o filtri a banda stretta (es. vetri al didimio e soluzioni di olmio) [2-3]. La linearità fotometrica può essere controllata mediante filtri grigi calibrati o utilizzando il metodo dell'addizione luminosa [4-5].

Gli spettrofotometri commerciali sono dotati di accessori mediante i quali è il fascio riflesso dal campione anziché quello trasmesso a colpire il rivelatore. Si registra così la curva di riflettanza spettrale, $\rho(\lambda)$ del campione in esame in incidenza quasi normale.

Gli accessori di riflettanza possono essere basati su una serie di specchi di deflessione (fig. 2) o sull'utilizzo di una sfera integrante (fig. 3). Non è possibile realizzare un'incidenza del fascio perfettamente perpendicolare al campione (angolo di incidenza nullo, $\theta=0^\circ$) a causa delle dimensioni finite degli specchi di deflessione o della porta di ingresso della sfera integrante. Tuttavia la riflettanza di un vetro e di un qualsiasi altro materiale non cambia per $\theta \leq 10^\circ$.

L'accessorio riportato in fig. 2a esegue una misura di riflettanza relativa e si deve necessariamente utilizzare uno standard a riflettanza nota (calibrato ad es. da un istituto metrologico) per ottenere la riflettanza "assoluta" del campione, $\rho_x(\lambda)$. La formula da usare è la seguente:

$$\rho_x(\lambda) = \frac{\phi_{obs}}{\phi_N} \rho_N(\lambda) \quad (2a)$$

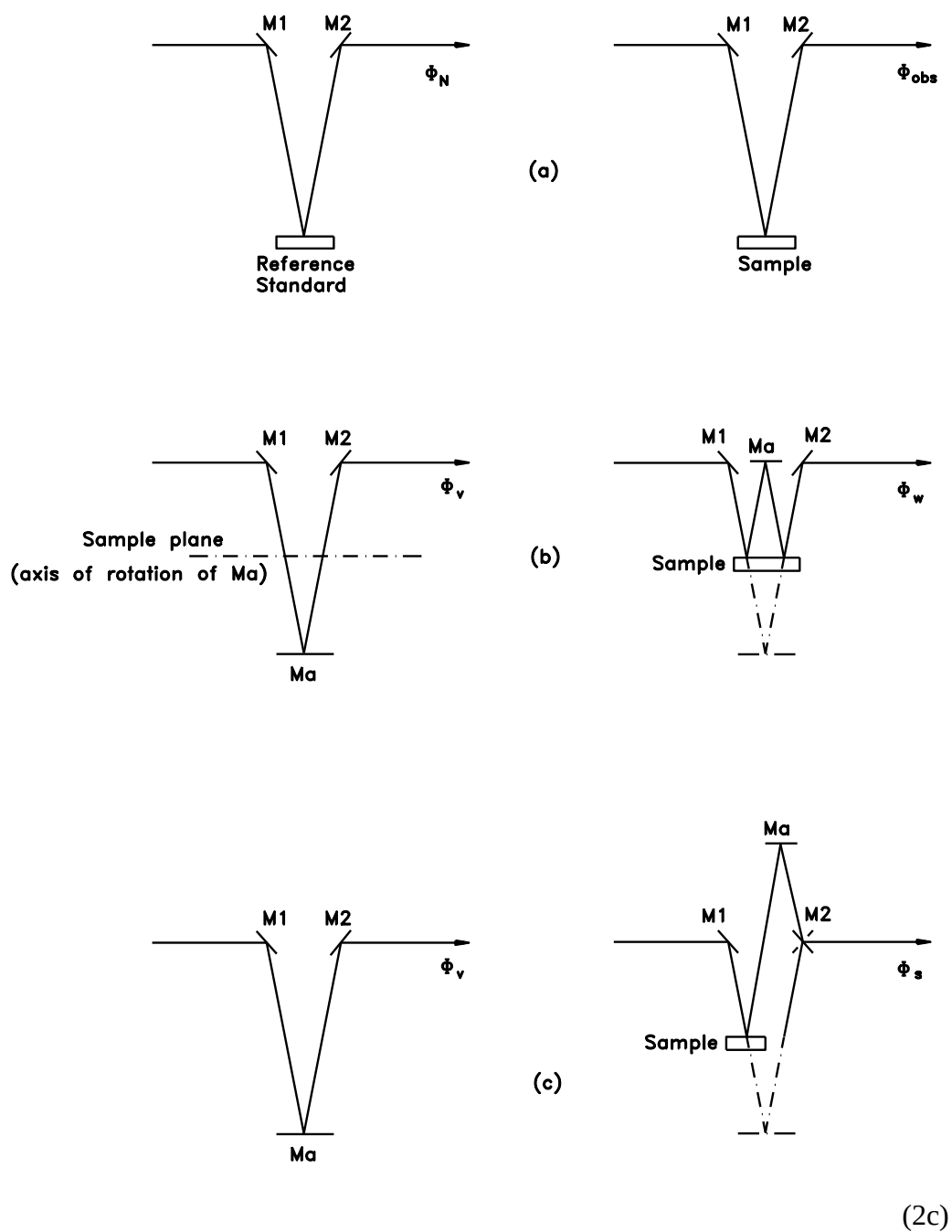
Dove ϕ_{obs} è il flusso misurato dal rivelatore quando sul portacampioni dell'accessorio è inserito il campione;

ϕ_N è il flusso misurato con lo standard inserito;

$\rho_N(\lambda)$ è la riflettanza nota dello standard.

Gli accessori riportati nelle fig. 2b-c sono assoluti e si basano rispettivamente sul metodo VW e sul metodo VS così chiamati dalla forma assunta dal percorso ottico quando si esegue la registrazione della linea di base (assenza del campione: percorso V) o la misura sul campione (percorso W o S). Anziché l'eq. (2a) vengono rispettivamente usate le seguenti formule:

$$\rho_N(\lambda) = \sqrt{\frac{f_W}{f_V}} \quad (2b)$$



Nel nostro è stato utilizzato come accessorio una sfera integrante (fig. 3). Un sistema di specchi di deflessione devia i fasci campione e riferimento all'interno

della sfera integrante. Il fascio riflesso dal campione colpisce la superficie interna della sfera che è ricoperta da un materiale altamente riflettente e diffondente (es. solfato di bario o politetrafluoroetilene). Si hanno così delle riflessioni multiple ed ogni punto della sfera (ed in particolare la regione occupata dal rivelatore) sarà illuminata con un'intensità proporzionale al fascio riflesso dal campione [6]. Il rivelatore deve misurare l'illuminamento indiretto dovuto alle riflessioni multiple: schermi inseriti in modo opportuno all'interno della sfera integrante impediscono al fascio riflesso dal campione di perturbare la misura eseguita dal rivelatore. Gli errori di misura dovuti alla cattiva geometria della sfera integrante (porte di dimensioni finite, planarità dei campioni, presenza di schermi, ecc.) sono parzialmente ridotti grazie all'uso del sistema biraggio. Tutte le sfere integranti che sono accessori di spettrofotometri commerciali si basano sul metodo relativo ad uno standard di riferimento. Per ridurre ulteriormente tali tipi di errore è necessario che lo standard abbia un livello di riflettanza e delle proprietà regolari o diffondenti analoghe a quelle del campione. La formula da applicare è la seguente:

$$\rho_x(\lambda) = \frac{E_{\text{obs}}}{E_N} \rho_N(\lambda) \quad (2d)$$

Dove E_{obs} è l'illuminamento indiretto misurato dal rivelatore quando sulla porta della sfera integrante è inserito il campione;

E_N è l'illuminamento indiretto misurato con lo standard inserito;

$\rho_N(\lambda)$ è la riflettanza nota dello standard.

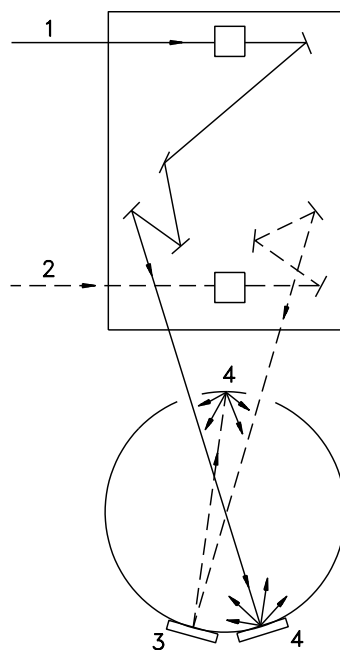


Fig. 3 - Esempio di accessorio di uno spettrofotometro costituito da sistema di deflessione e sfera integrante: 1) fascio diriferimento; 2) fascio campione; 3) campione non diffondente; 4) BaSO₄. Il rivelatore (protetto da schermi) si trova nel piano perpendicolare.

Una volta determinate la trasmittanza e la riflettanza spettrale del campione in incidenza (quasi) normale, l'assorbimento $\alpha(\lambda)$ corrispondente alla stessa lunghezza d'onda viene ottenuto mediante una semplice differenza

$$\alpha(\lambda) = 100 - \tau(\lambda) - \rho(\lambda) \quad (3)$$

dove $\tau(\lambda)$ e $\rho(\lambda)$ sono espresse in percentuale.

CARATTERISTICHE UV, LUMINOSE ED ENERGETICHE DEI CAMPIONI

Partendo dai dati acquisiti tramite lo spettrofotometro Perkin-Elmer mod. Lambda 900 e procedendo come specificato dalla norma EN410:1998, sono stati esaminati diversi campioni di dimensioni 20 cm x 30 cm.

Per quanto riguarda i primi tre campioni, C1, C2 e C3 si tratta di una vernice bianca ottenuta da diverse combinazioni di latte e aceto volte ad ottenere risultati particolarmente riflettenti. Poi sono stati misurati altri quattro campioni di vernici convenzionali per l'edilizia, C4, C5, C6, C7, C8 rispettivamente marroncino, marrone, verde, giallo e rosso.

Lo strumento ha permesso di ottenere i seguenti risultati che di trasmissione ultravioletta, τ_{UV} , τ_{UV-A} , τ_{UVB} , di trasmissione luminosa, τ_v , di riflessione luminosa verso l'esterno, ρ_{ve} , di riflessione luminosa verso l'interno, ρ_{vi} , indice generale di resa del colore, R_a , di trasmissione energetica, τ_e , di riflessione energetica diretta verso l'esterno, ρ_{ee} , di riflessione energetica verso l'interno, ρ_{ei} , di trasmissione infrarossa (porzione infrarossa dello spettro solare), τ_{IR} , di riflessione infrarossa verso l'esterno, ρ_{IRe} , di riflessione infrarossa verso l'interno, ρ_{IRi} ed il fattore solare.

Sono riportati per ogni campione i seguenti risultati :

Coefficiente di riflessione nel visibile ρ_v

Coefficiente di riflessione nel solare ρ_e

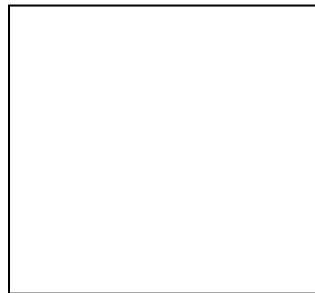
Coefficiente di riflessione nell'infrarosso ρ_{ir}

Campione 1 bianco

$$\rho_v = 92.28 \%$$

$$\rho_e = 85.92 \%$$

$$\rho_{ir} = 90.32 \%$$



campione C1

Campione 2 bianco

$$\rho_v = 91.99 \%$$

$$\rho_e = 84.47 \%$$

$$\rho_{IR} = 88.66 \%$$



campione C2

Campione 3 bianco

$$\rho_v = 90.15 \%$$

$$\rho_e = 84.05 \%$$

$$\rho_{IR} = 88.40 \%$$



campione C3

Campione 4 marroncino

$$\rho_v = 52.85 \%$$

$$\rho_e = 53.72 \%$$

$$\rho_{IR} = 58.57 \%$$



campione C4

Campione 5 marrone

:

$$\rho_v = 34.18 \%$$

$$\rho_e = 34.15 \%$$

$$\rho_{IR} = 35.89 \%$$



campione C5

Campione 6 verde

$$\rho_v = 28.58 \%$$

$$\rho_e = 54.29 \%$$

$$\rho_{IR} = 79.59 \%$$



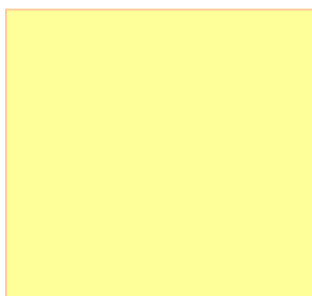
campione C6

Campione 7 giallo

$$\rho_v = 64.93 \%$$

$$\rho_e = 66.26 \%$$

$$\rho_{IR} = 82.64 \%$$



campione C7

Campione 8 rosso

$$\tau_v = 39.28 \%$$

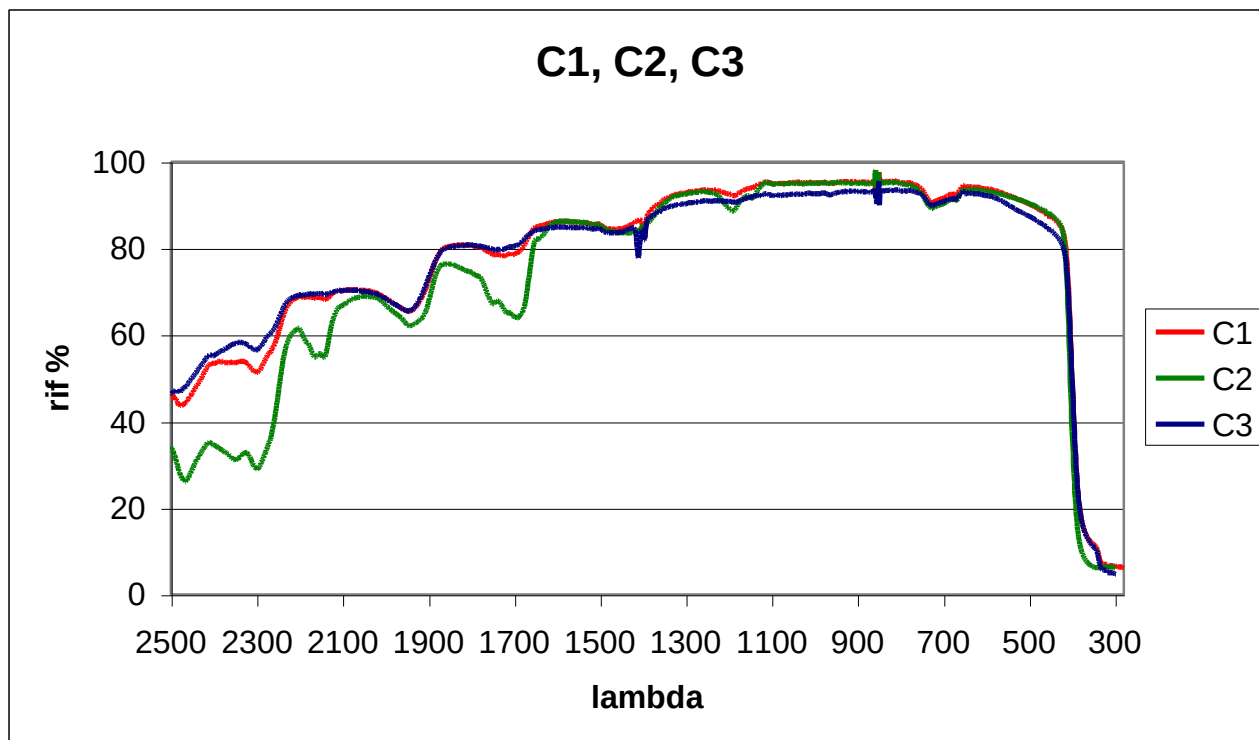
$$\tau_e = 54.67 \%$$

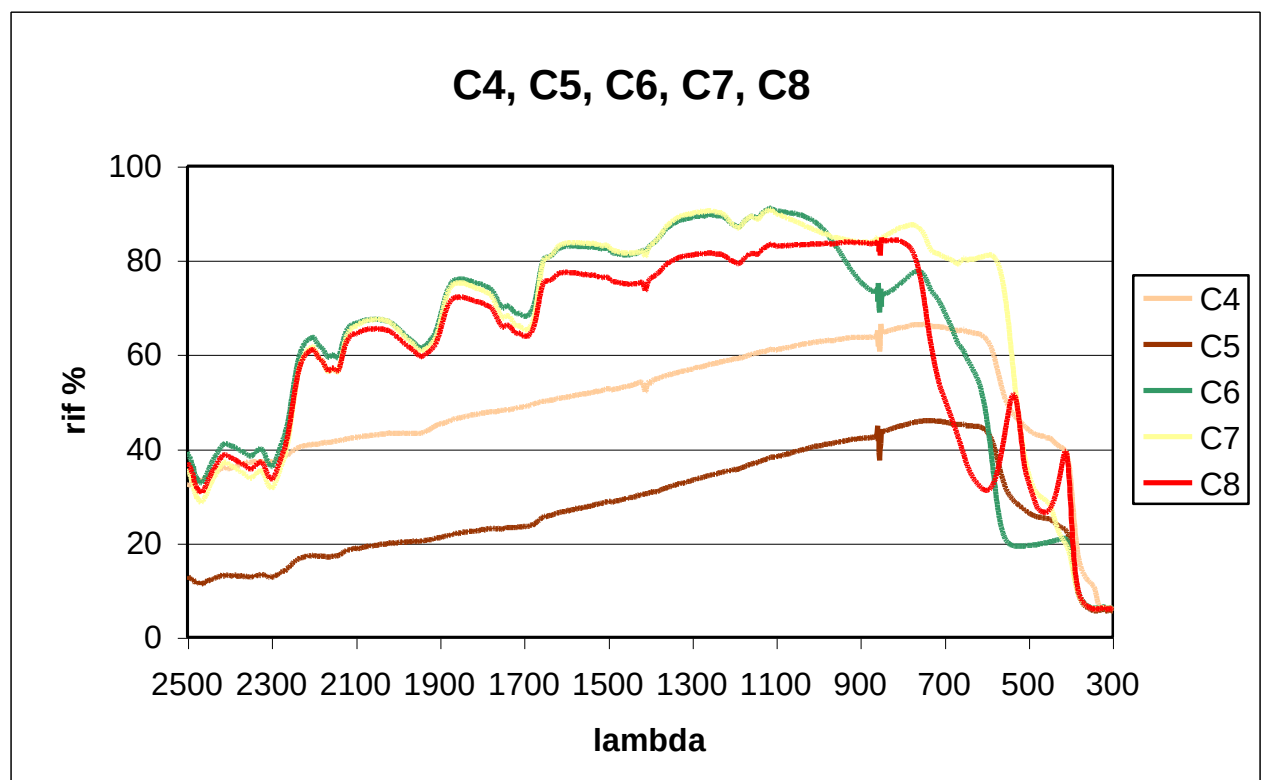
$$\tau_{IR} = 78.91 \%$$



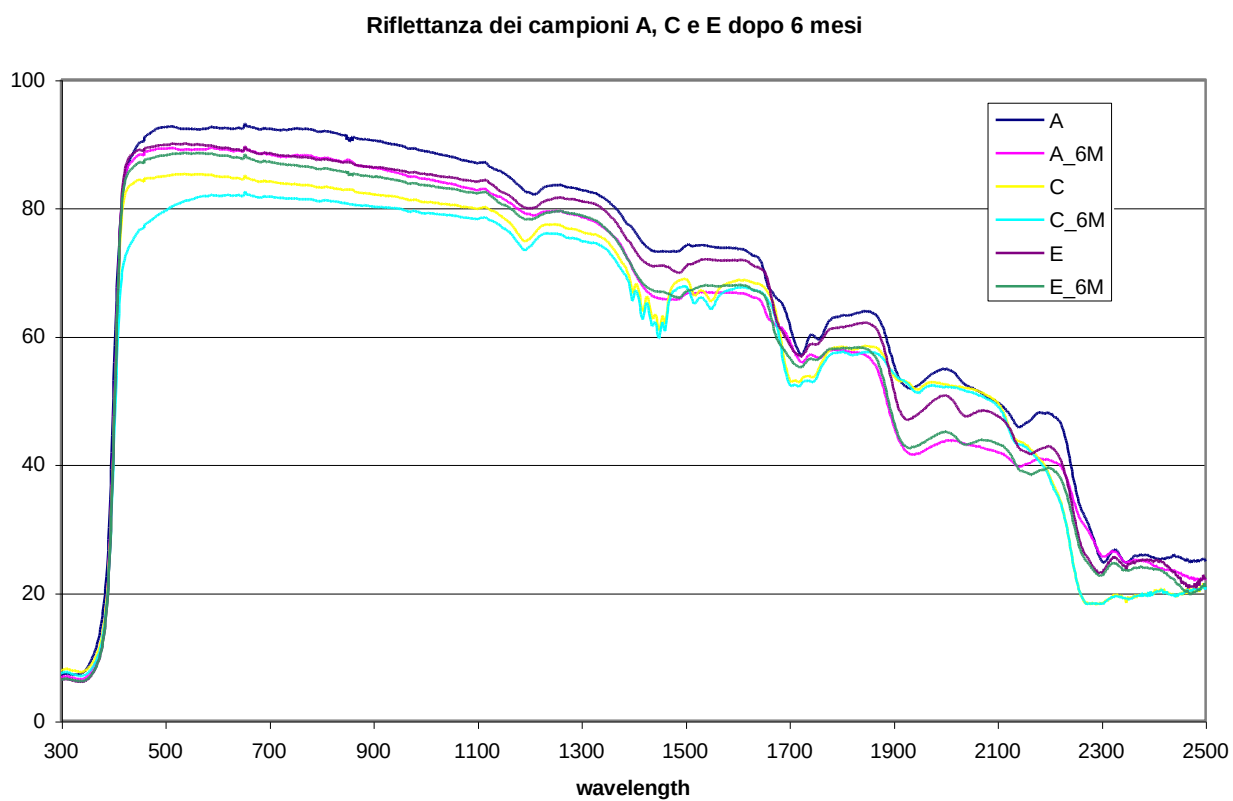
campione C8

Risultati delle misurazioni fatte al laboratorio sperimentale del vetro di Murano (Ve)





Risultati di misurazioni fatte su alcuni campioni sulla resistenza all'invecchiamento.



Capitolo 4

PROVE SU EDIFICIO

In questa parte sono presentati i risultati di un esperimento che è stato condotto nell'estate 2006 per studiare l'influenza dei rivestimenti riflettenti applicati ai tetti.

Come edificio di prova è stato utilizzato l' Edificio laboratorio Casa Intelligente realizzato nel Centro Ricerche ENEA-Casaccia



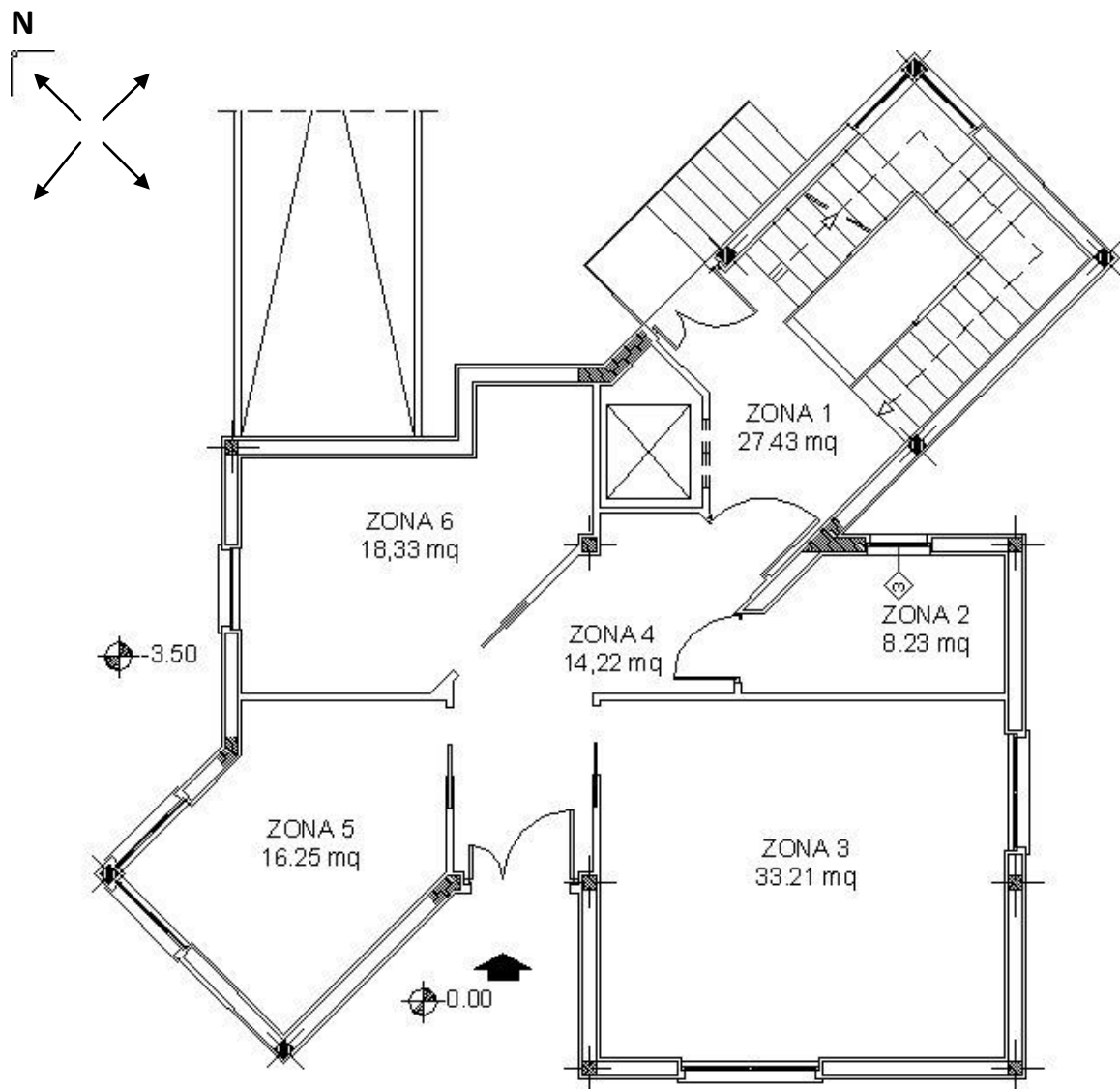
Edificio laboratorio Casa Intelligente realizzato nel Centro Ricerche ENEA-Casaccia, dalla Divisione Sistemi Energetici per la Mobilità e l'Habitat.

Si tratta di un edificio di due piani in cui verranno confrontati i parametri climatici durante il periodo che va dal 20 /06 /2006 al 1 /09 /2006 dell'ambiente interno ed esterno in una situazione di rivestimento del tetto con alto coefficiente di riflessione.

Sono stati sistemati, sensori di temperatura e flussimetri per rilevare le temperature e i flussi di calore verso l'esterno prima e dopo la verniciatura del tetto della casa .

I risultati ottenuti mostreranno i guadagni effettivi tratti dalle vernici riflettenti . Verranno poi confrontati tali risultati con quelli ottenuti tramite il codice transys, un programma di simulazioni dinamiche le cui caratteristiche sono mostrate nel capitolo successivo.

La tipologia edilizia è quella di una villetta ad uso civile abitazione, composta da un piano semi interrato, due piani fuori terra di circa 90 m^2 ciascuno, con copertura piana a lastrico solare. La struttura è in c.a. e laterizio: La cubatura totale è di circa 950 m^3 . Il piano rialzato è predisposto per l'applicazione di soluzioni architettoniche ed impiantistiche, da sviluppare e valutare. L'edificio è dotato di una intercapedine ispezionabile ed attrezzata, che consente di poter modificare ed implementare le utenze e le funzioni secondo le specifiche esigenze di sperimentazione o prova; di un cavedio verticale tecnologico che accoglie tutti i cablaggi ed i passaggi verticali (tubature, canalizzazioni, ecc.); di un controsoffitto smontabile e ispezionabile che consente interventi di manutenzione e di modifica in tempi molto rapidi ed a basso costo; di una zona esterna, a porticato, in cui provare diverse soluzioni di bioclima e di sistemi solari attivi e passivi.

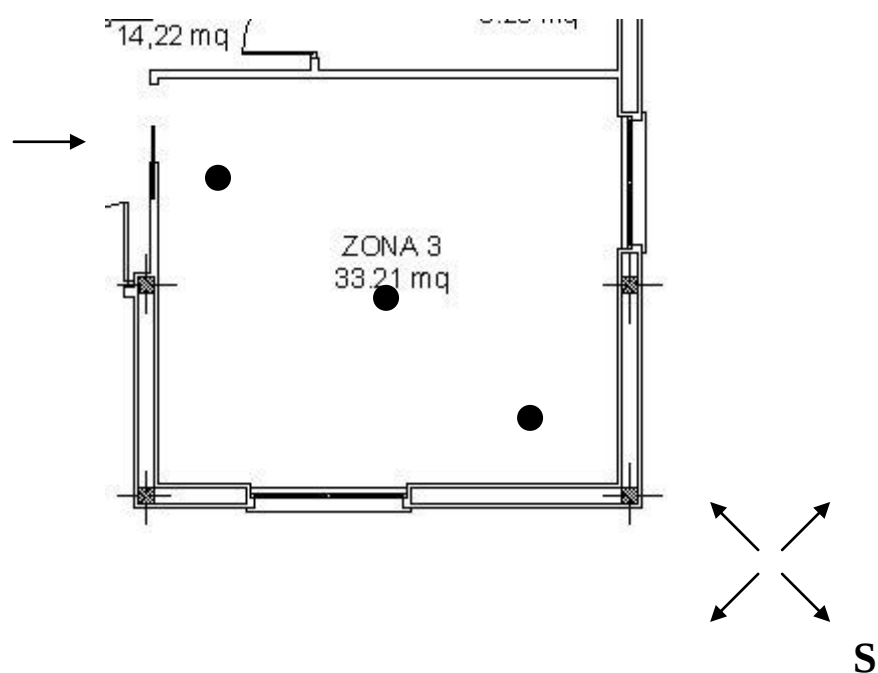


Edificio laboratorio Casa Intelligente. Pianta

Il monitoraggio è stato fatto nel soggiorno del primo e del secondo piano, nella piantina è segnato col numero 1. Si tratta di una stanza di 33 m² dove i due muri esterni, dotati di finestre, guardano a sud-est e sud-ovest. Quest'ultima facciata ha un'area di 13.3 m² con una finestra di 1.7 m² mentre l'altra facciata è di 14.8 m² con una finestra di 1.7 m².



Dal giorno 19 giugno 2006 al 06 settembre 2006 sono stati collocati tre sensori di temperatura dell'aria ad un'altezza di 120 cm lungo una diagonale del salone dei due piani e nei corridoi adiacenti.



Le caratteristiche dell'edificio “ casa intelligente “ , riprese poi nelle simulazioni in trnsys sono le seguenti :

- La superficie della sala è di 33.21 m^2
- Le due finestre delle pareti sud-est e sud-ovest di dimensioni 1.96 m^2 ciascuna hanno infissi in alluminio e una trasmittanza, espressa in $\text{w/m}^2\text{k}$, di 5.61
- La trasmittanza dei muri (espressa in $\text{w/m}^2\text{k}$) è la seguente :
 - muri interni : 2.08
 - muri esterni : 0.446
 - pavimento : 2.784
 - pavimento intermedio : 2.036
 - solaio esterno : 0.5
- La composizione dei muri è la seguente::
 - muri interni spessi 12 cm costituiti da due strati di 2 cm di intonaco intervallati da uno strato di 8 cm di mattoni forati
 - muri esterni spessi 43,5 cm costituiti da due strati di intonaco di 1,5 cm e 7 cm intervallati da uno strato d'aria , 30 cm di mattoni forati e 5 cm di isolante
 - pavimento base spesso 32 cm costituito da uno strato di 30 cm di massetto ricoperto da 2 cm di mattonelle
 - pavimento intermedio spesso 25 cm costituito da uno strato di 20 cm di solaio laterizio, 3 cm di massetto e 2 cm di mattonelle
 - solaio esterno spesso 30 cm costituito da uno strato di 20 cm di solaio laterizio, 3 cm di massetto, 5 cm di isolante poliuretano e 2 cm di mattonelle

Grazie all'utilizzo di due termometri superficiali sarà possibile monitorare durante il periodo estivo il soffitto.



Dal 19 giugno al 12 luglio il tetto della casa è di un colore marrone comunemente utilizzato nell'edilizia di cui sono note le caratteristiche spettrofotometriche grazie al laboratorio sperimentale del vetro di Murano .

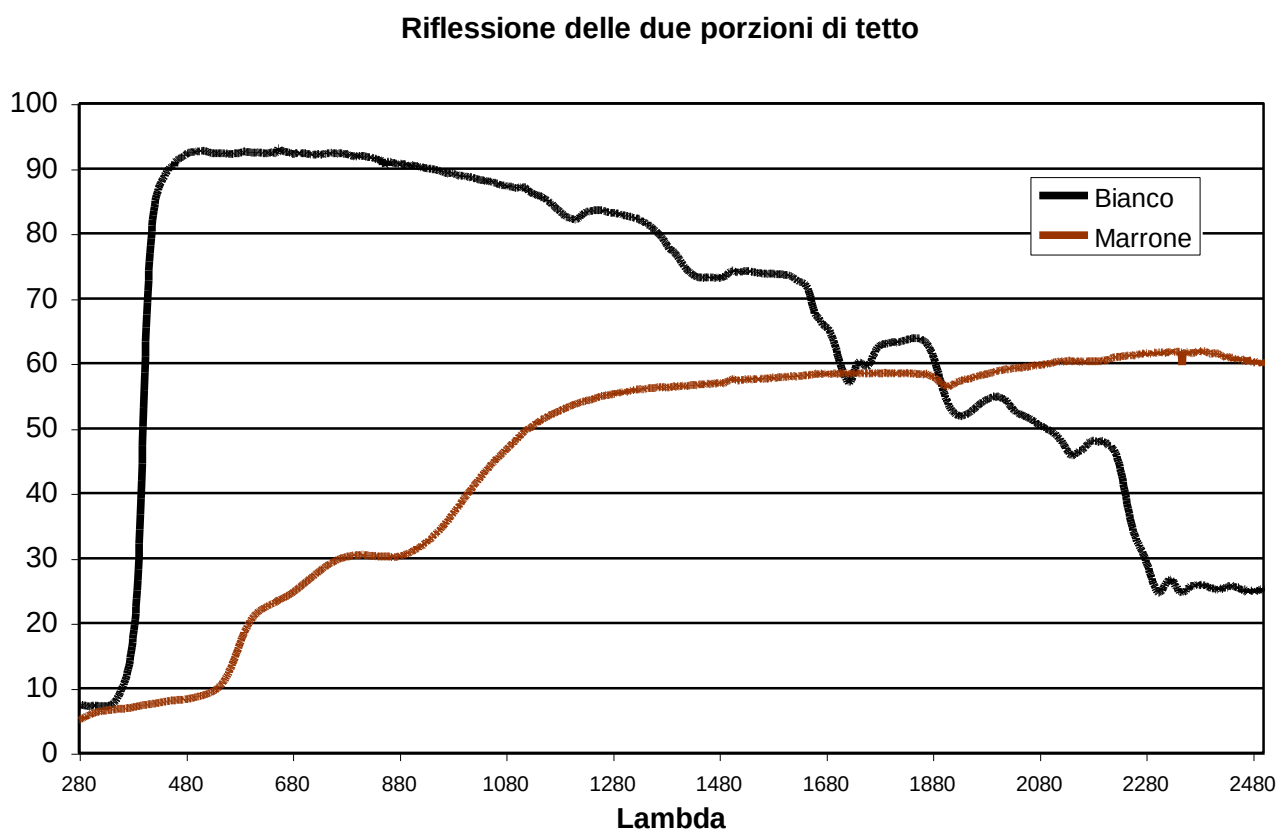
Grazie ai sensori sono state registrate in tali giorni sia le temperature del salone del primo e del secondo piano, sia le temperature dei corridoi adiacenti.

Il giorno 19 luglio 2006 è stata rivestita con una vernice bianca, particolarmente riflettente, la porzione del tetto soprastante la stanza presa in esame.



Si tratta del campione 1 misurato nel capitolo precedente, una vernice bianca a base di latte e aceto con coefficiente di riflessione pari a 0.85.

I coefficienti di riflessione delle due porzioni del tetto, colorate di marrone e di bianco, sono rappresentate nel grafico.



Sarà possibile visualizzare la differenza di temperatura tra i saloni dei due piani dal 19 / 06 al 12/07 quando il tetto ha un coefficiente di riflessione medio (colore marrone riflessione 0.4) e tra il 19 / 07 e il 06 / 09 quando il coefficiente di riflessione del tetto è molto alto (vernice bianca riflessione 0.85).

Sarà inoltre mostrato la differenza di temperatura tra il corridoio e il salone nelle due configurazioni diverse.

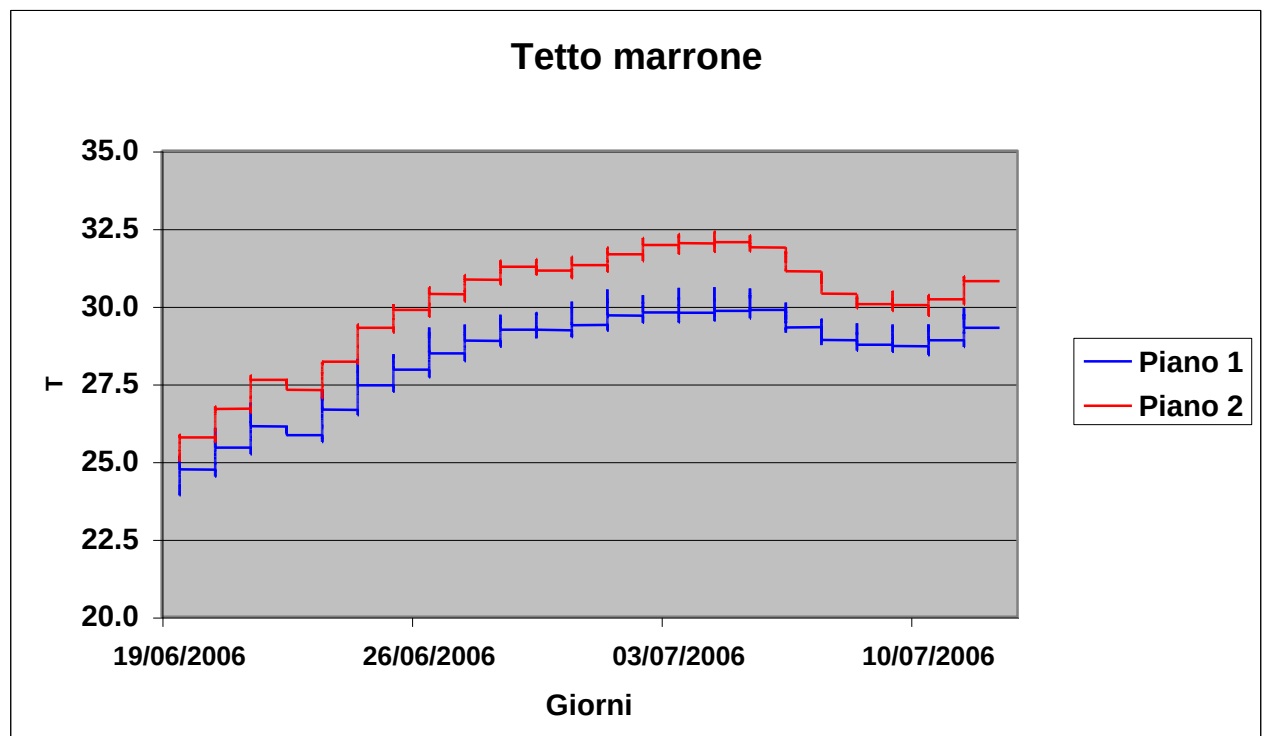
Per completare l'analisi sono stati verniciate con le due diverse vernici due porzioni di superficie ai piedi della casa e sono stati posizionati termometri

superficiali su di essi e sul mattonato adiacente per ottenere maggiori informazioni sugli effetti delle due diverse vernici . Verranno quindi messe a confronto le temperature superficiali, dal 20 luglio 2006 al 8 agosto 2006, dei diversi materiali quali: graniglia, bitume, gresolato, marmo, gresolato marrone e gresolato bianco.



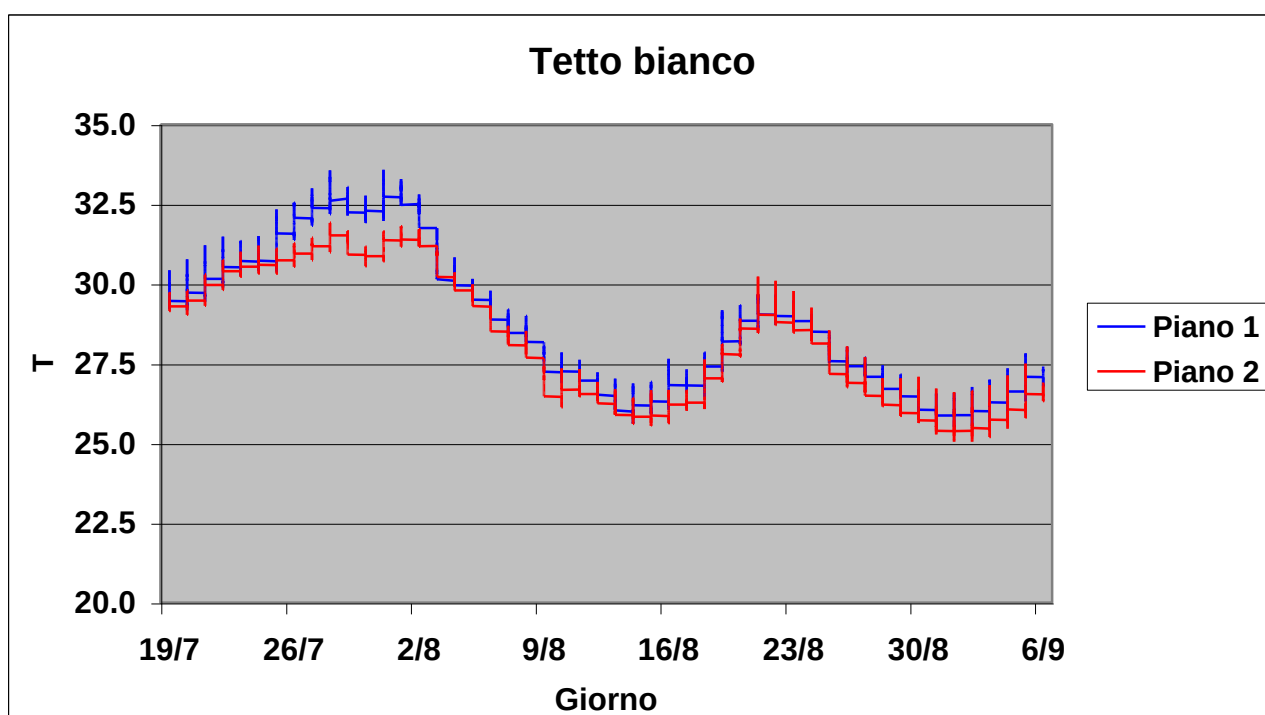
Risultati

Dal 19/06 al 12/07 nei due saloni al primo e al secondo piano sono state riscontrate le seguenti temperature .(tetto verniciato di marrone con coefficiente di riflessione 0,15)



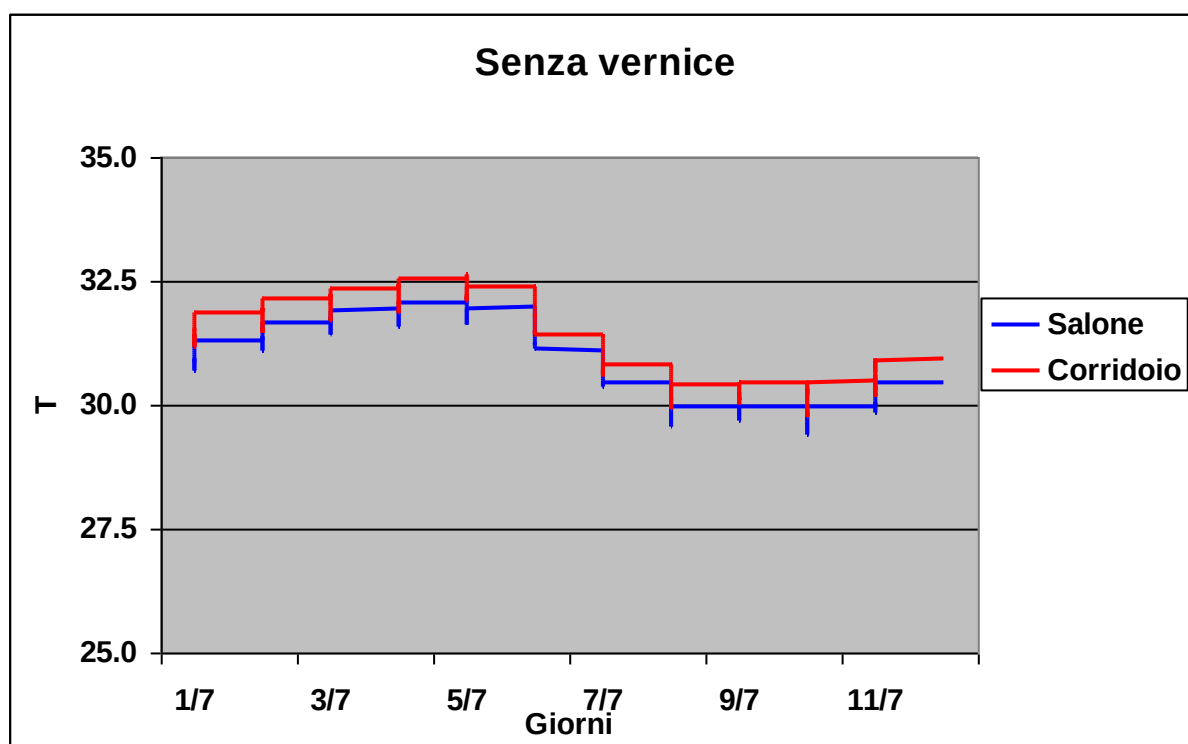
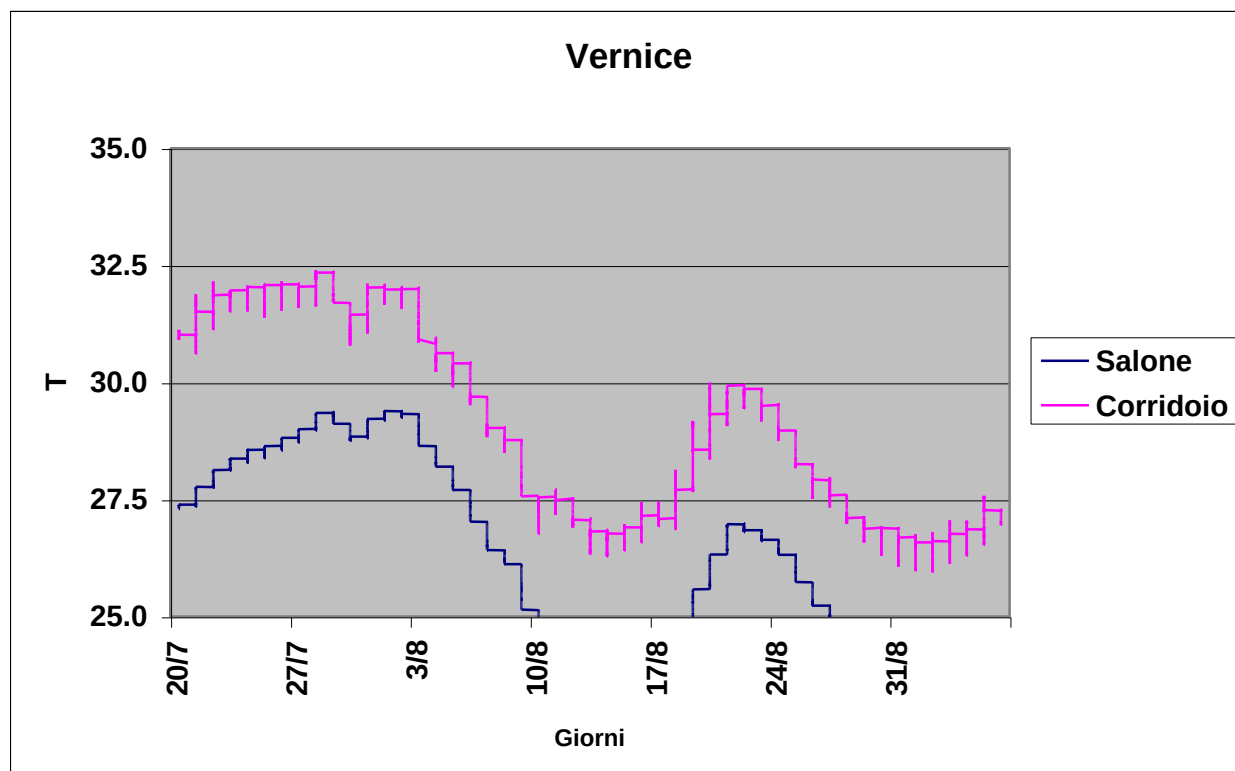
E' stata rilevata una differenza di temperatura media tra i due piani di 1,6 °C con un massimo di 2,3 °C il 03/07 alle 23:20 con una temperatura di 29,8 °C nel primo piano e di 32°C nel secondo .

Dal 19/07 al 06/09 nei due saloni al primo e al secondo piano sono state riscontrate le seguenti temperature .(tetto verniciato di bianco con coefficiente di riflessione 0,85)

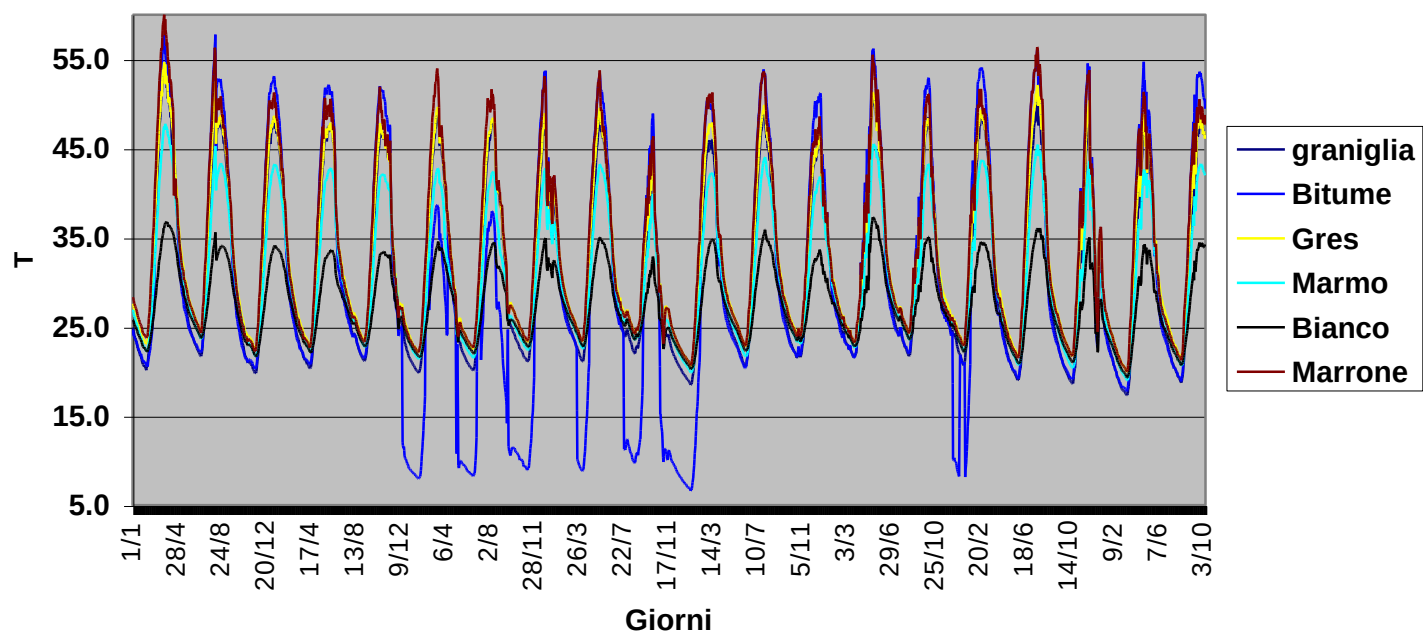


In questo caso sono stati rilevati risultati diversi.

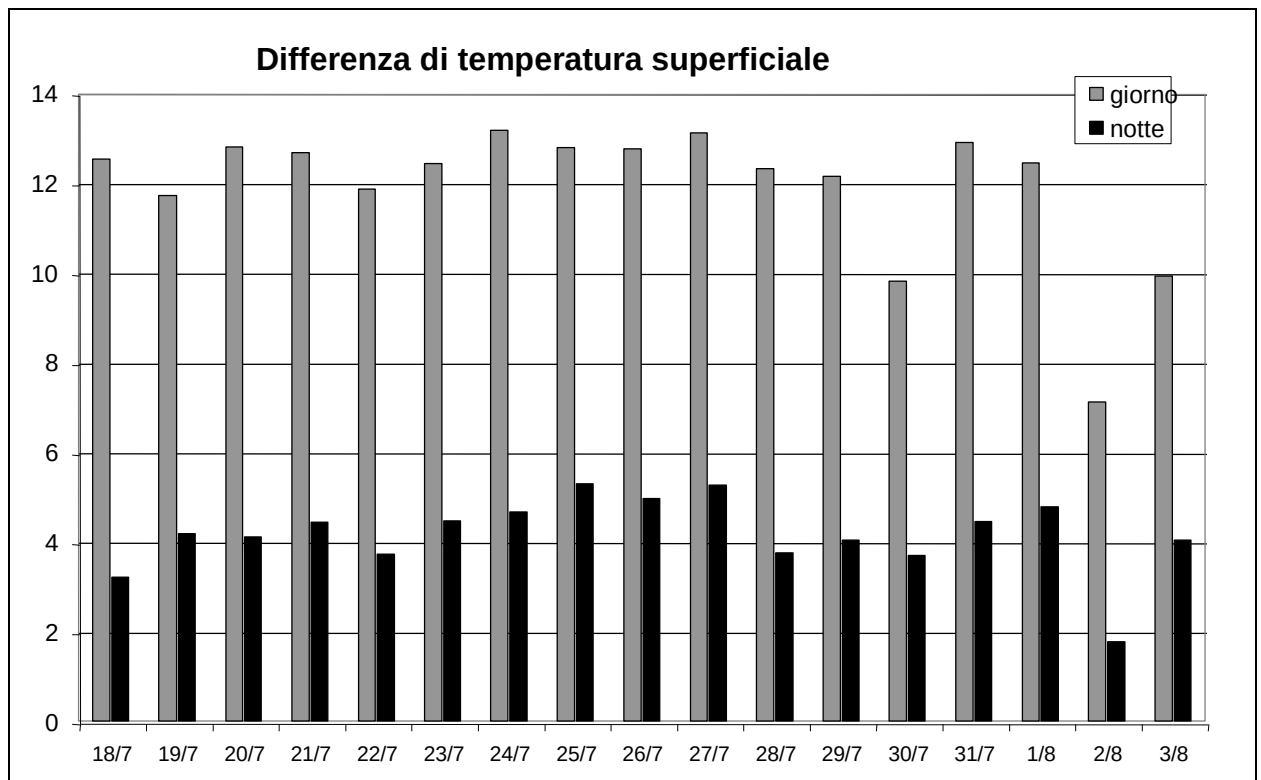
La differenza di temperatura media tra i due piani (piano 2 meno piano 1) è di $-0,5$ °C con un picco di $-2,1$ °C il 31/07 alle 18:20 con una temperatura di $33,6$ °C nel primo piano e di $31,4$ °C nel secondo .



Temperature superficiali



Differenze di Temperature porzioni di superfici esterne



Temperature ambiente interno

Variazione della differenza di temperatura tra le due stanze nel caso in cui si ha il tetto verniciato di bianco e lasciato rosso

Capitolo 5

SIMULAZIONI NUMERICHE

L'ultima parte della tesi svilupperà lo studio dei carichi termici annuali di un edificio per uffici attraverso il programma di simulazione TRNSYS. Si è voluto infatti estendere il discorso del precedente capitolo ad un caso più generale analizzando gli effettivi guadagni ottenuti a seconda del coefficiente di riflessione del tetto modificando il numero dei piani, la capacità termica della struttura , il livello di isolamento dell'edificio e la posizione geografica, prendendo quattro città campione: Roma, Napoli, Olbia e Palermo. Come risultato si avrà il risparmio energetico ottenuto grazie alle vernici riflettenti nell'arco di un anno .

Il Codice Trnsys

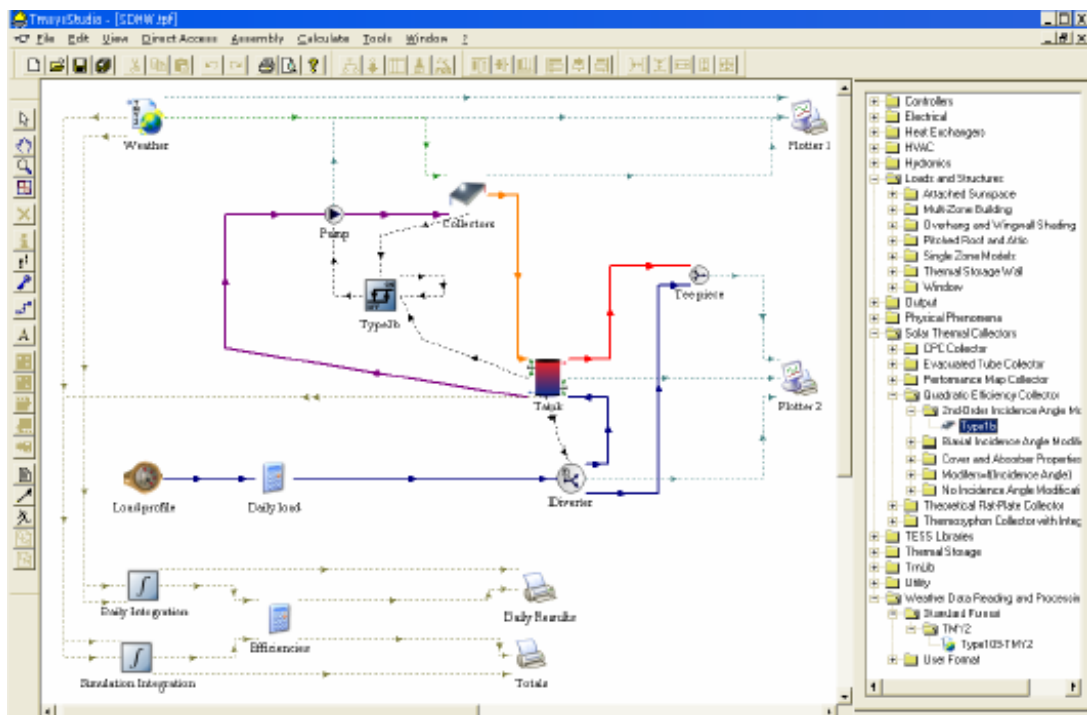
Lo strumento utilizzato per le simulazioni è il Trnsys 16 (Transient Energy System, University of Wisconsin and University of Colorado).

Trnsys è un programma completo ed estensibile di simulazioni dinamiche di sistemi energetici inclusi gli edifici. Viene utilizzato dagli ingegneri di tutto il mondo per testare nuovi concetti di energia, dai semplici impianti domestici per riscaldare l'acqua alle simulazioni dei sistemi di riscaldamento e raffreddamento più complessi degli edifici comprendendo gli occupanti, il controllo dei gains e dei sistemi di energia alternativa (wind, solar, photovoltaic, hydrogen systems), etc.

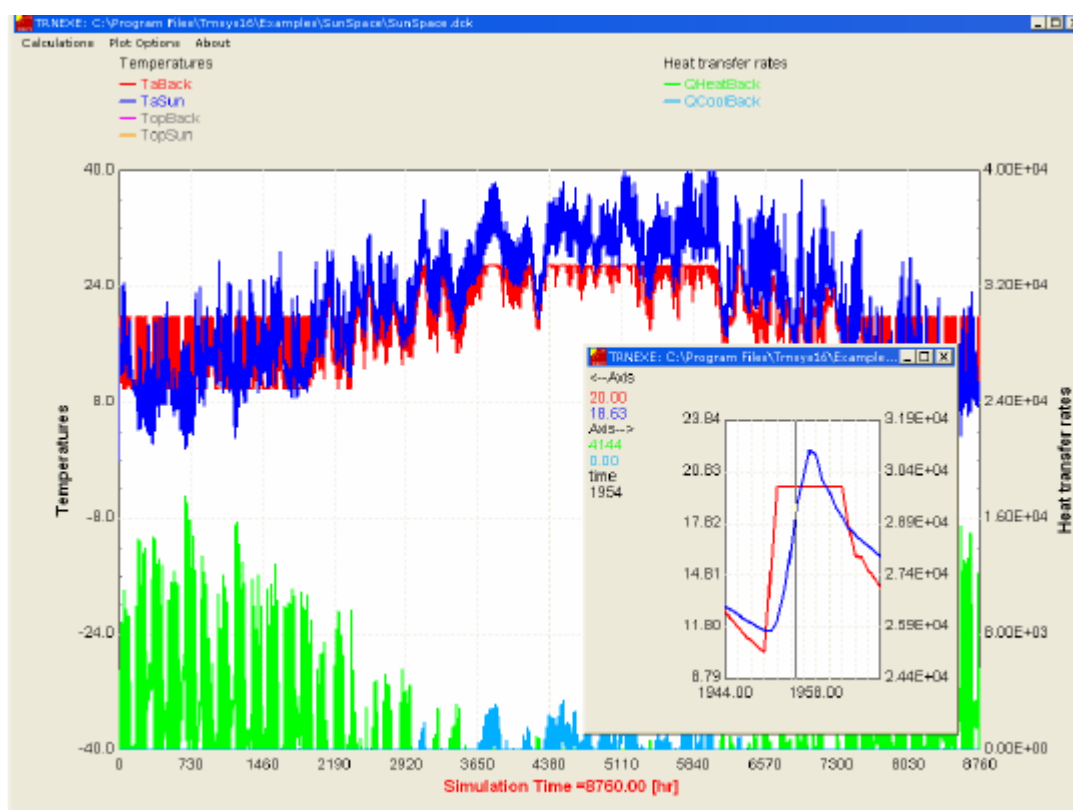
TRNSYS è composto da più programmi: TRNSYS simulation Studio, l'interfaccia con il quale partono i due motori per le simulazioni, (TRNDll.dll) e (TRNExe.exe).

(TRNBuild.exe), utilizzato per impianti che riguardano edifici e strutture e Editor utilizzato per creare stand-alone redistributable programmi noti per le applicazioni in TRNSYS.

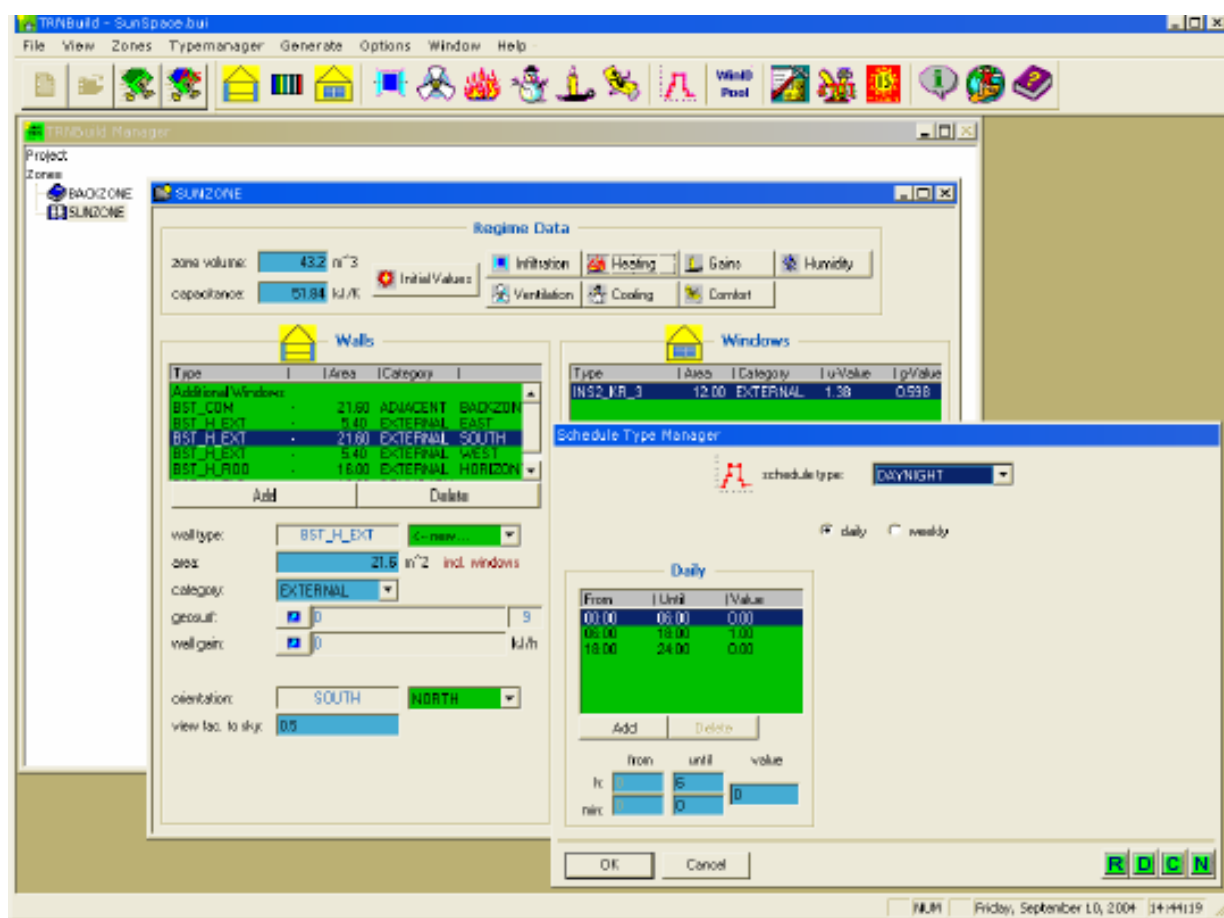
L'interfaccia visuale per tutti gli impianti come abbiamo detto in precedenza è TRNSYS Simulation Studio (conosciuto nella precedente versione come IISiBat). Da esso si possono creare simulazioni di progetti con diversi componenti per impianti idraulici per workspace, connessi tra loro a proprio piacimento.



Simulation Studio include inoltre la possibilità di controllare diverse variabili . I risultati delle simulazioni possono essere integrati, stampati e graficati.



TRNBuild (noto nella precedente versione come prebuilt) è lo strumento utilizzato per immettere all'interno del progetto tutti i dati per simulazioni che riguardano in particolare edifici e strutture. Infatti esso consente di specificare tutti i dettagli delle strutture necessari per un'analisi più approfondita come per esempio le proprietà ottiche delle finestre, le caratteristiche dei materiali utilizzati per i muri, il tipo di impianto di riscaldamento e raffreddamento.



Ogni edificio viene suddiviso a seconda della sua complessità in più zone in cui si ipotizzano condizioni climatiche costanti nello spazio. Si pensi ad una stanza in cui con una buona approssimazione rispetto ad un palazzo si ipotizzino le condizioni climatiche uniformi in ogni punto della stessa. Grazie a questo strumento sarà possibile ottenere per un modello costruito per il nostro studio informazioni come la temperatura dell'aria interna ed esterna, il calore sensibile e latente, l'umidità ed altre ancora in ogni zona per ogni ora.

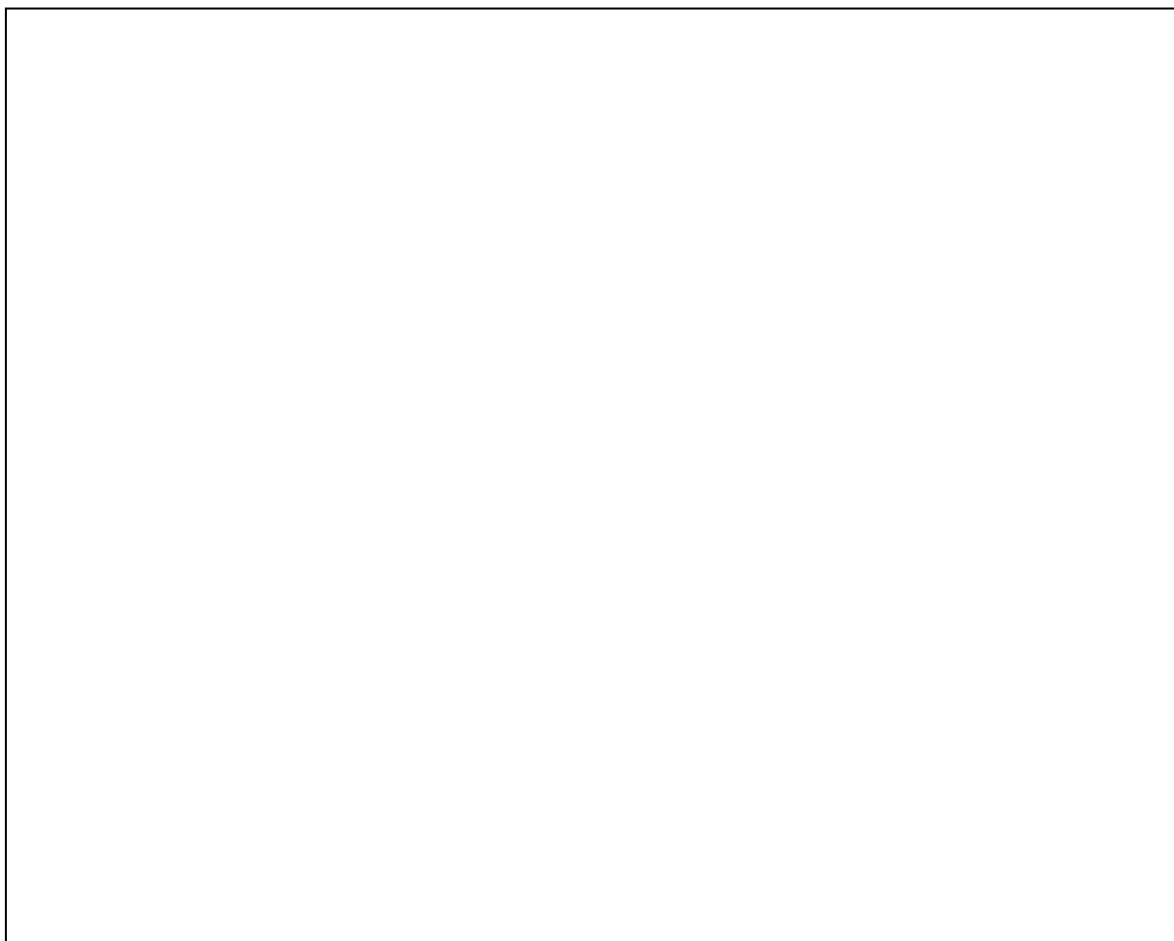
In questo caso verrà utilizzato come modello per le simulazioni lo stabile F83 del centro ENEA-Casaccia. Verrà fatta un'analisi dei carichi energetici necessari a mantenere gli ambienti in condizioni di comfort al variare delle caratteristiche riflettenti del tetto. Le stesse prove verranno condotte a Milano, Roma, Napoli, Olbia e Palermo per osservare i risultati al variare della posizione. Infine ogni simulazione è stata fatta modificando il numero dei piani, da uno a tre, e con tre configurazioni diverse di livello di isolamento dell'edificio ottenendo risultati interessanti.

Lo studio sarà fatto utilizzando come coefficiente di riflessione del tetto i valori 0.2, 0.4 e 0.6 (valori comunemente riscontrati nei materiali per l'edilizia), e 0.85 valore ottenuto con i campioni di vernici bianche al latte e aceto misurati a Murano.

Il modello campione

Come modello per le simulazioni si è preso l'edificio F 83, stabile utilizzato come ufficio nel centro di ricerche ENEA-Casaccia in via Anguillarese 301 . Qui di seguito sono riportati i dati generali dell'edificio, le caratteristiche dei materiali e le superfici.

foto



Edificio F 83

**Denominazione: F83
ROMA-**

Comune di appartenenza: S. Maria Galeria –

Destinazione: Edificio ad uso uffici del C.R. ENEA “Casaccia”

Indirizzo: Via Anguillarese 301, CAP 00060

DATI GENERALI DELL'EDIFICIO

Anno di Costruzione	1989
Altezza media edificio (m)	10
Tipologia edilizia	TERZIARIO PUBBLICO
Gradi giorno (°C d)	1440
Zona climatica	D
Temperatura esterna di progetto (°C)	20
Temperatura interna di progetto (°C)	20
Salto termico	20
Numero ricambi aria (m³/h)	1.5
Volume lordo riscaldato (m³)	8273
Superficie esterna disperdente (m²)	3722
Fattore di forma (S/V)	0.45
Superficie totale calpestabile (m²)	2482
Assorbimento chiusure opache	0.35
Assorbimento copertura	0.40

CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

MATERIALE	PESO UNITA' DI VOLUME (kg/m ³)	CONDUTTANZA (W/mK)
Calcestruzzo armato	2000	1.745
Isolante poliuretano	60	0.034
Blocchi di argilla espansa	1500	0.465
Intonaco esterno (gesso)	1200	0.520
Intonaco interno	1400	0.700
Soletta di laterizio	1200	0.700

SUPERFICI (m²)

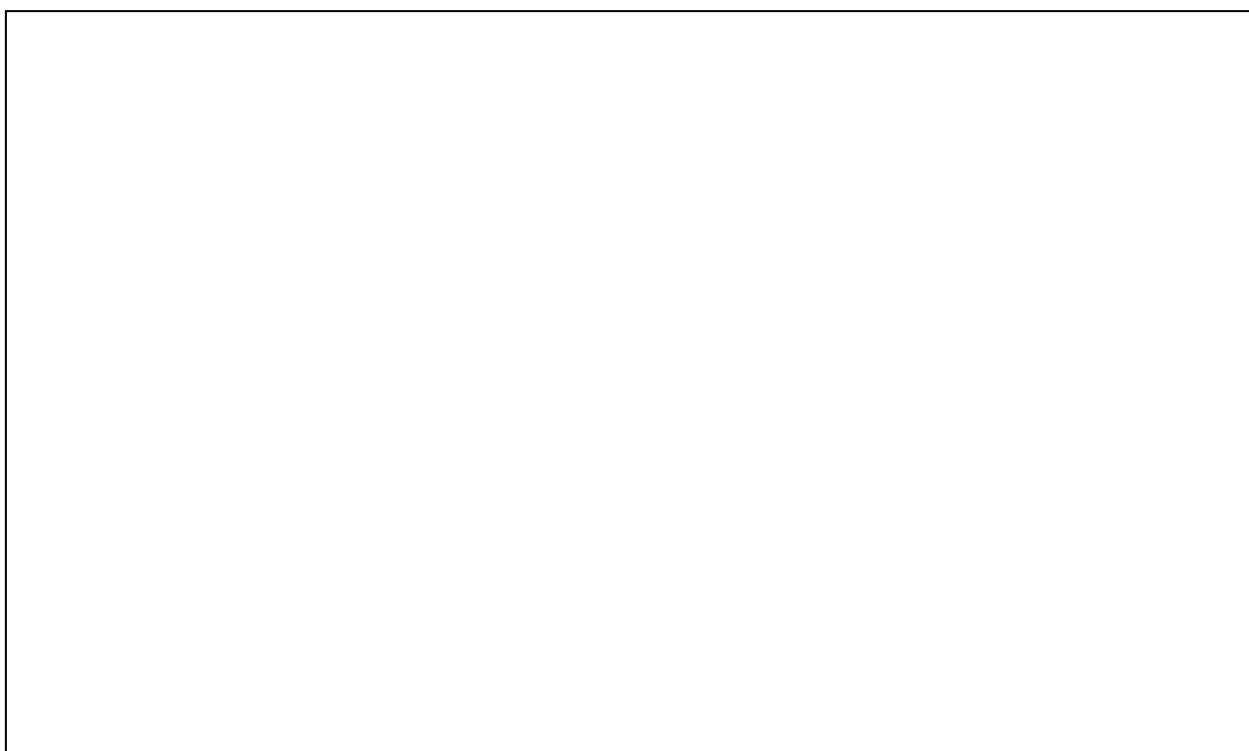
Seminterrato	191
Piano terra	669
Primo piano	810
Secondo piano	812
Totale	2482

Superficie complessiva opaca 1429 m²

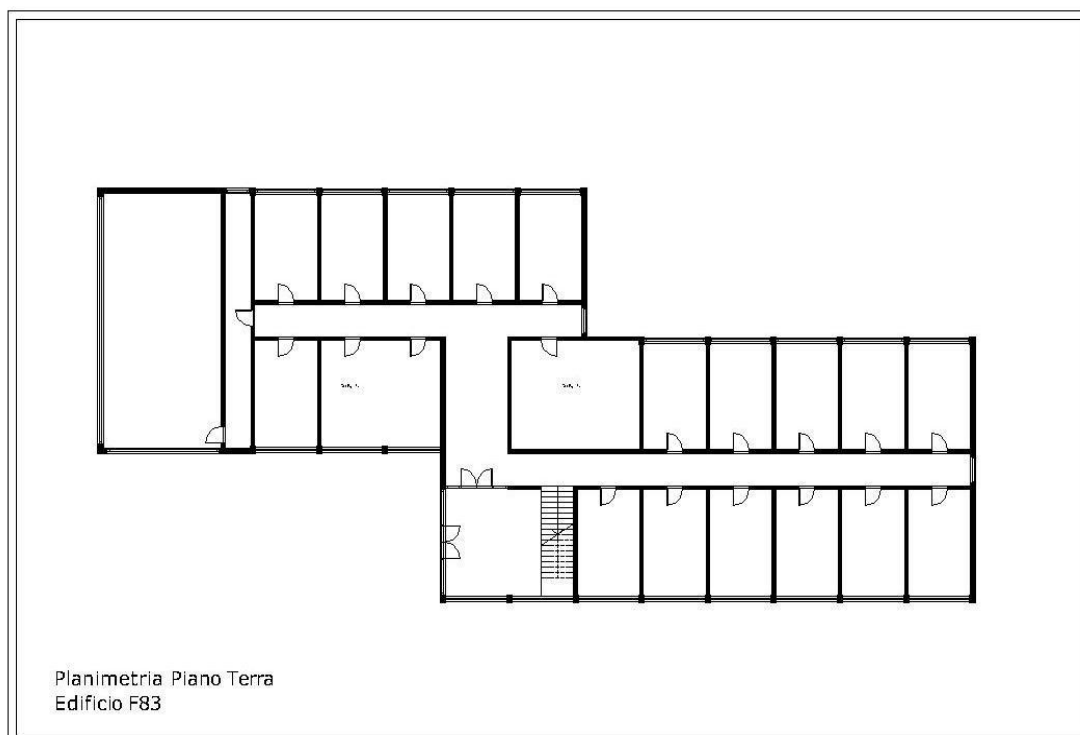
Superficie trasparenti (serramenti) 608 m²

Rapporto tra la superficie complessiva opaca e la superficie trasparente
(serramenti) 2.35

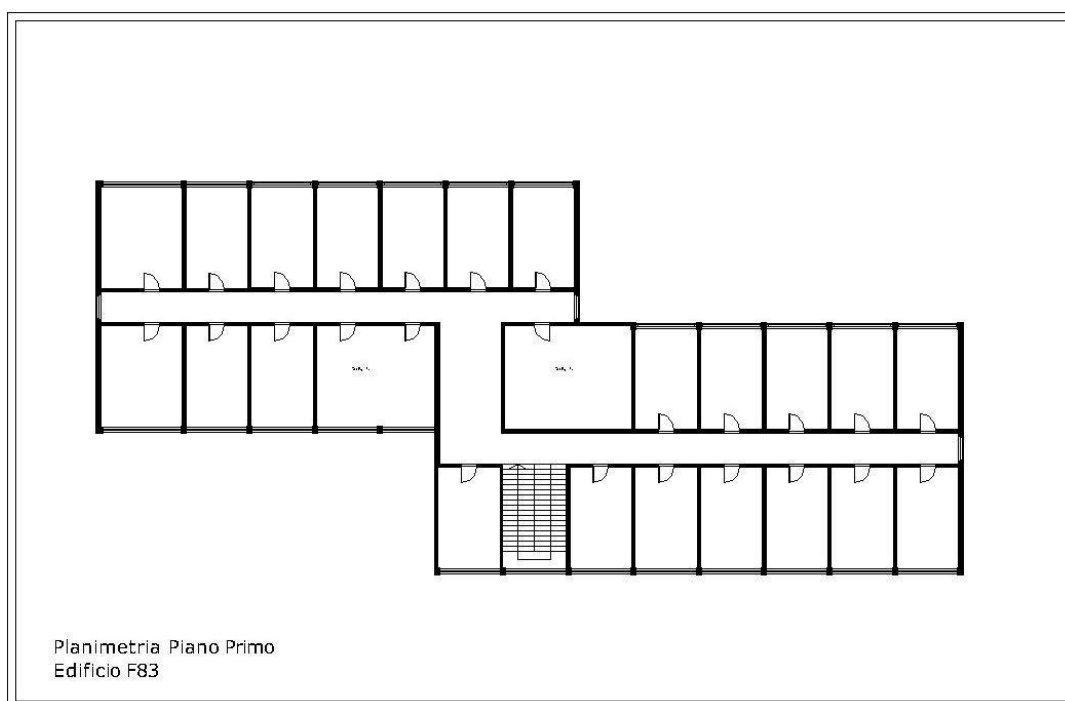
Prospetto



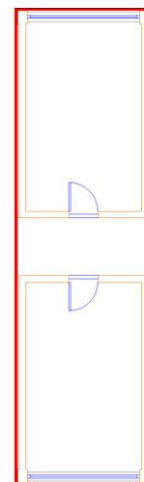
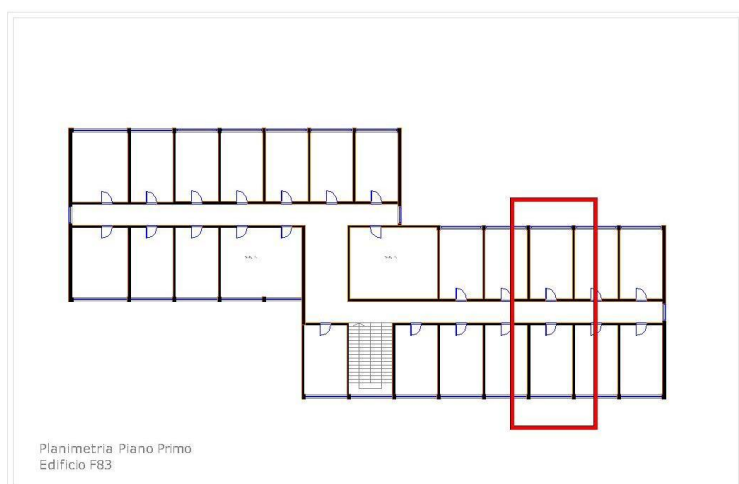
Piano Terra

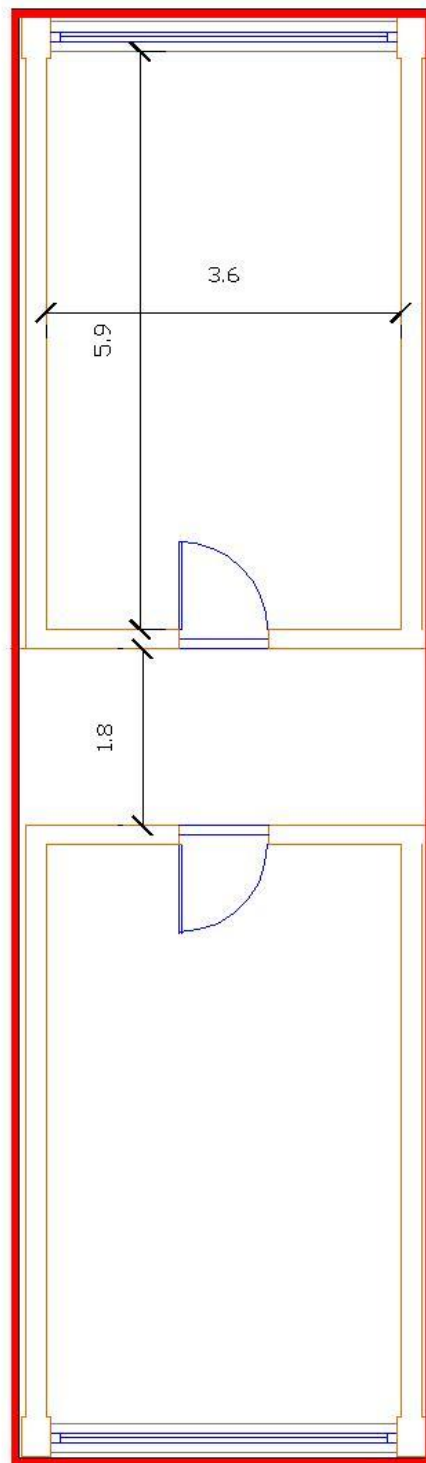


Secondo piano



Per le simulazioni è stato preso in considerazione un settore dello stabile che comprende due stanze e una parte del corridoio.

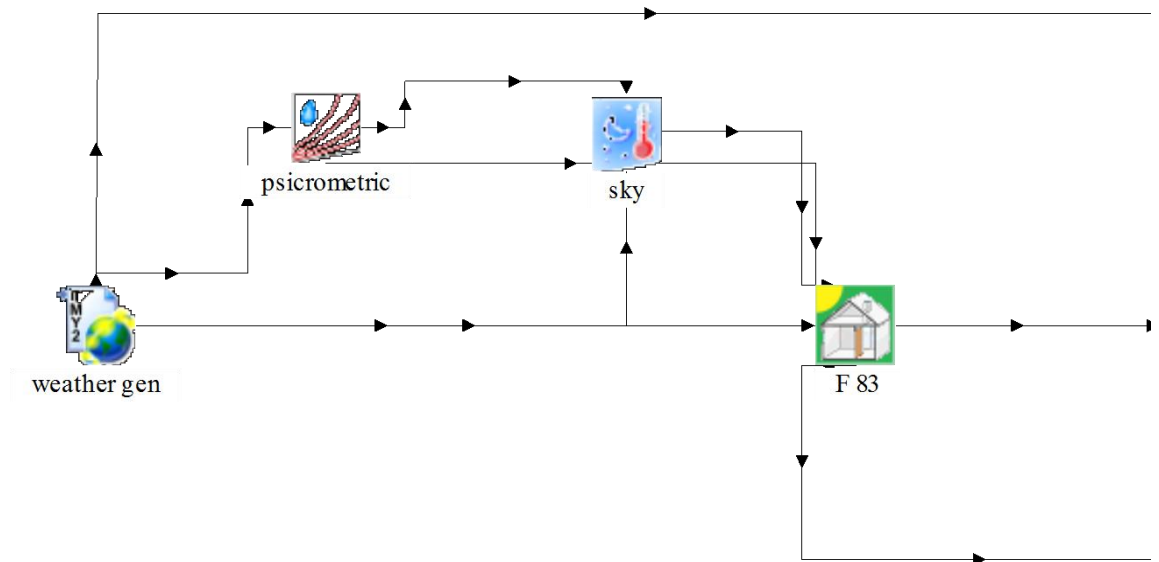




Il settore preso in considerazione è stato suddiviso in tre zone termiche .

L'ufficio a nord Zona 5, il corridoio Zona 2 e infine la Zona 7 sarà l'ufficio orientato a sud.

Lo schema utilizzato nelle simulazioni è così composto :



Il “ weather generator” è il motore della simulazione, esso infatti impartisce, grazie ai parametri che sono stati impostati al suo interno, i valori della radiazione solare diretta e diffusa e i dati meteorologici relativi alla posizione geografica stabilita. Prima di giungere all’edificio F 83 i dati forniti verranno arricchiti dalle type psicrometriche che forniranno i valori di pressione, umidità e temperatura di rugiata.

All’interno della type F 83 sono stati inseriti tutti i dati relativi all’edificio preso in esame. In uscita, grazie al “plotter” e al “print” avremo i risultati graficati e stampati.

I dati relativi all'edificio F 83 per le simulazioni sono :

- Inizio simulazione 1 gennaio, fine simulazione 31 Dicembre, step 1 ora
- Impianti di riscaldamento regolati ad una temperatura di 20 °C aperti dal lunedì al venerdì per tutto l'anno dalle 8.00 alle 18.00
- Impianti di raffreddamento regolati ad una temperatura di 25 °C e umidità al 50% aperti dal lunedì al venerdì per tutto l'anno dalle 8.00 alle 18.00
- Infiltrazioni esterne e ventilazione regolati per 1 ricambio d'aria all'ora
- Impianti di illuminazione corrispondenti ad una dispersione di calore pari a 5 watt/ m² regolati in questo modo :
 - corridoio funzionamento al 100% tutto l'anno dalle 8.00 alle 18.00
 - stanze funzionamento all 80% nel periodo 1 /01 - 1 /05 e 1 /10 - 31/12 e funzionamento al 20% nel periodo 12 /05 - 30 /09 dalle 8.00 alle 18.00
- Ogni stanza è soggetta a sorgenti interne di calore rappresentate da attività lavorativa medio bassa di una persona che contribuisce con un apporto di 120 watt distribuiti tra calore sensibile e calore latente e da un computer con monitor a colore e stampante apportando 250 watt
- Le due stanze sono fornite sulla parete esterna di una finestra con doppi vetri 4/6/4 ciascuna di 3.77 m² con trasmittanza pari a 2.94 watt/ m²k con un fattore di ombreggiamento esterno del 40%

- Nelle simulazioni si considerano le trasmittanze dei muri esterni e del soffitto secondo le norme, pertanto Roma fascia C, Olbia e Napoli fascia D e Palermo fascia B. I valori saranno (espressi in watt/ m²k) :

	Tamponatura esterna	Solaio esterno
Fascia B	0,64	0,6
Fascia C	0,56	0,55
Fascia D	0,5	0,46

- Verranno eseguite simulazioni, oltre che per edifici a norma, anche per edifici particolarmente isolati e poco isolati termicamente; le trasmittanze , espresse in watt/ m²k delle suddette configurazioni sono:

	Tamponatura esterna	Solaio esterno
poco isolato	1,00	0,90
ben isolato	0,35	0,30

- In output avremo per ogni zona :
 - Il calore sensibile e latente, espresso in kJ, fornito o rimosso in ogni ora dagli impianti di riscaldamento e raffreddamento nell'arco di un anno
 - La temperatura esterna ed interna di ogni ora nell'arco di un anno espressa in °C

Per quanto riguarda i valori di energia primaria:

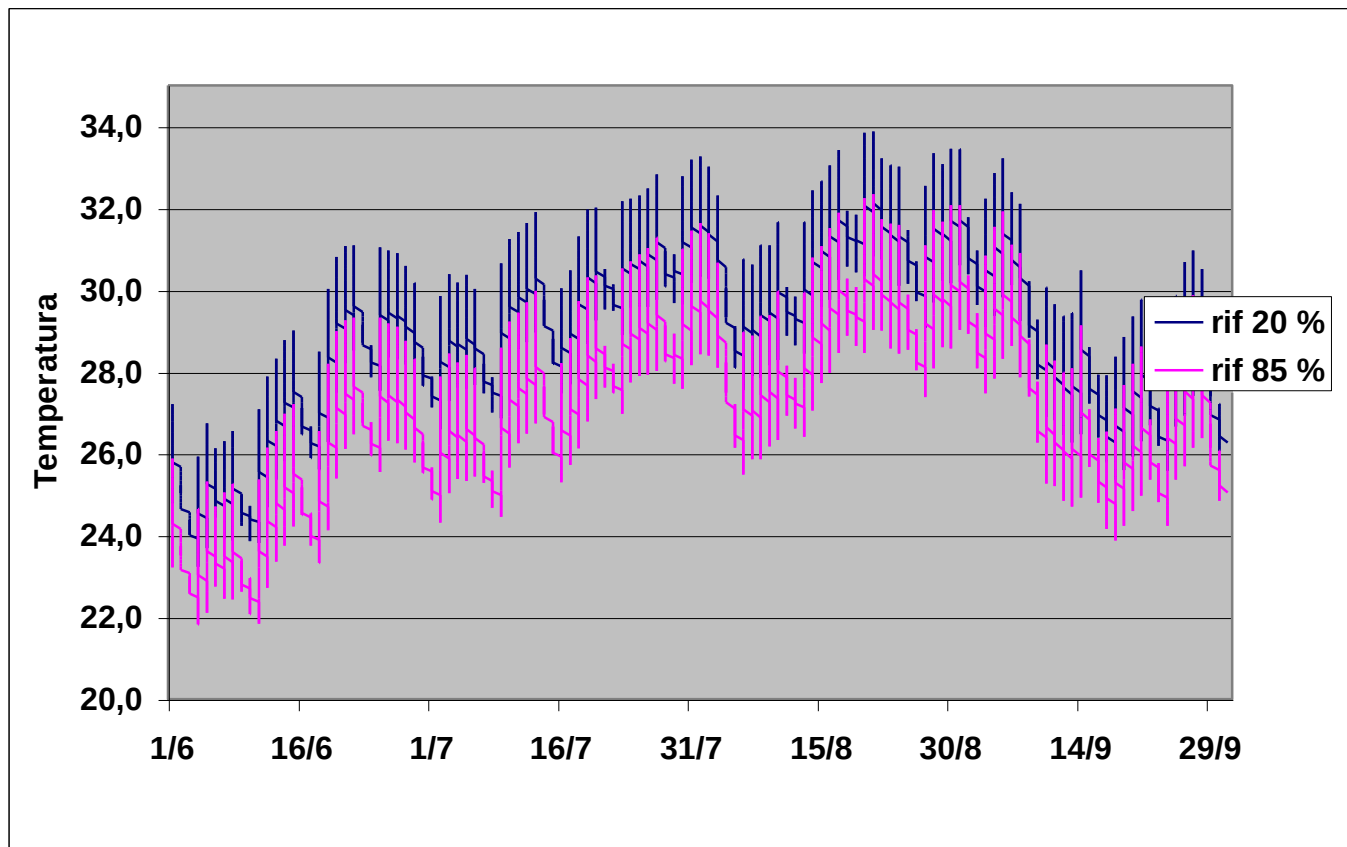
- Quella spesa per raffreddamento viene calcolata considerando l'utilizzo di una macchina frigorifera con un effetto utile assunto pari a 2.5 e un fattore di conversione da energia elettrica ad energia primaria di 0.33
- Quella spesa per riscaldamento viene calcolata considerando l'utilizzo di un impianto con termosifoni con rendimento globale assunto pari a 0.85

I risultati delle suddette simulazioni sono elencati nell'appendice A della tesi

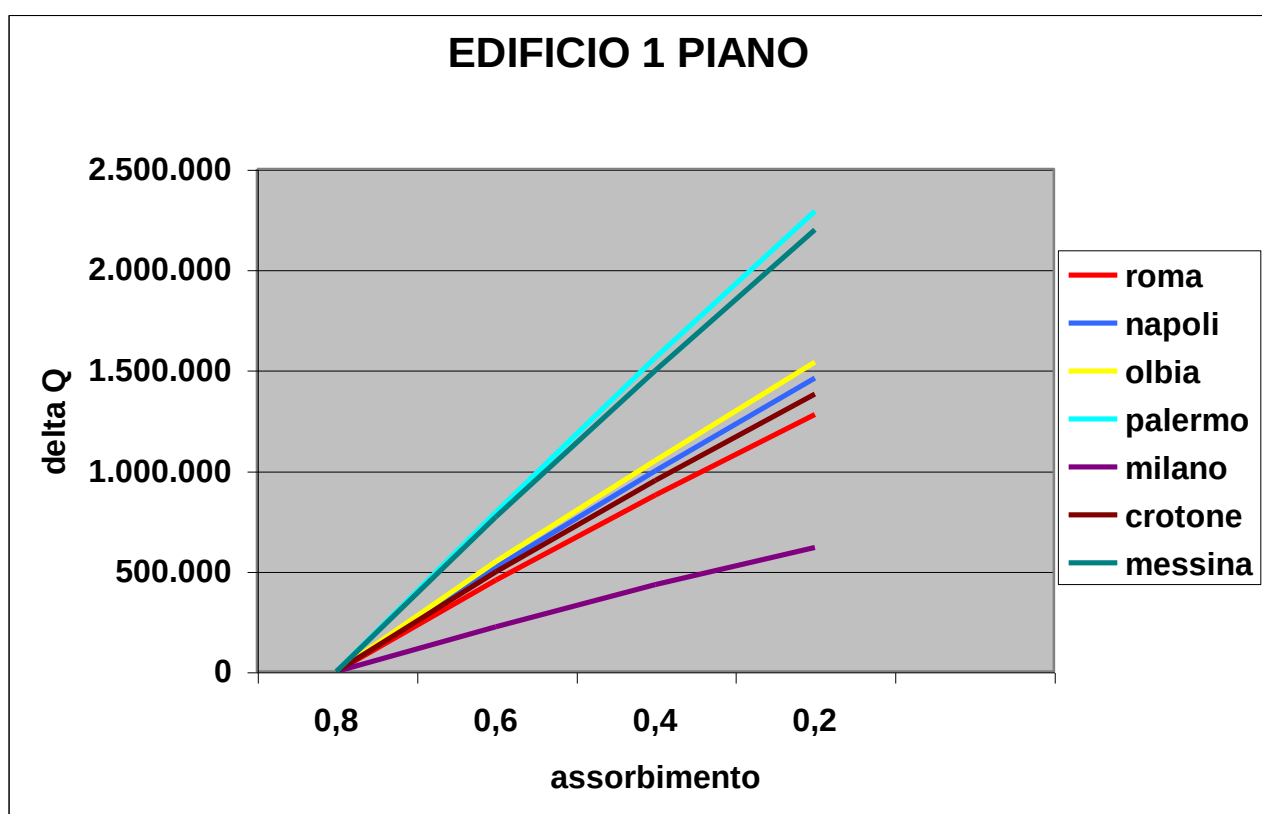
CONCLUSIONI

Utilizzando il programma Trnsys sono stati ricavati risultati da cui è possibile trarre alcune conclusioni.

Il primo dato importante è la differenza di temperatura degli ambienti interni in un modello privo di impianti di condizionamento riscontrata nelle diverse configurazioni; ovvero variando il coefficiente di riflessione del tetto esterno. Qui di seguito viene riportata la temperatura interna di due configurazioni diverse per lo stesso edificio a Roma dal 01/06 al 31/09, la prima utilizzando un tetto con coefficiente di riflessione pari a 0,2 e la seconda con 0,85.



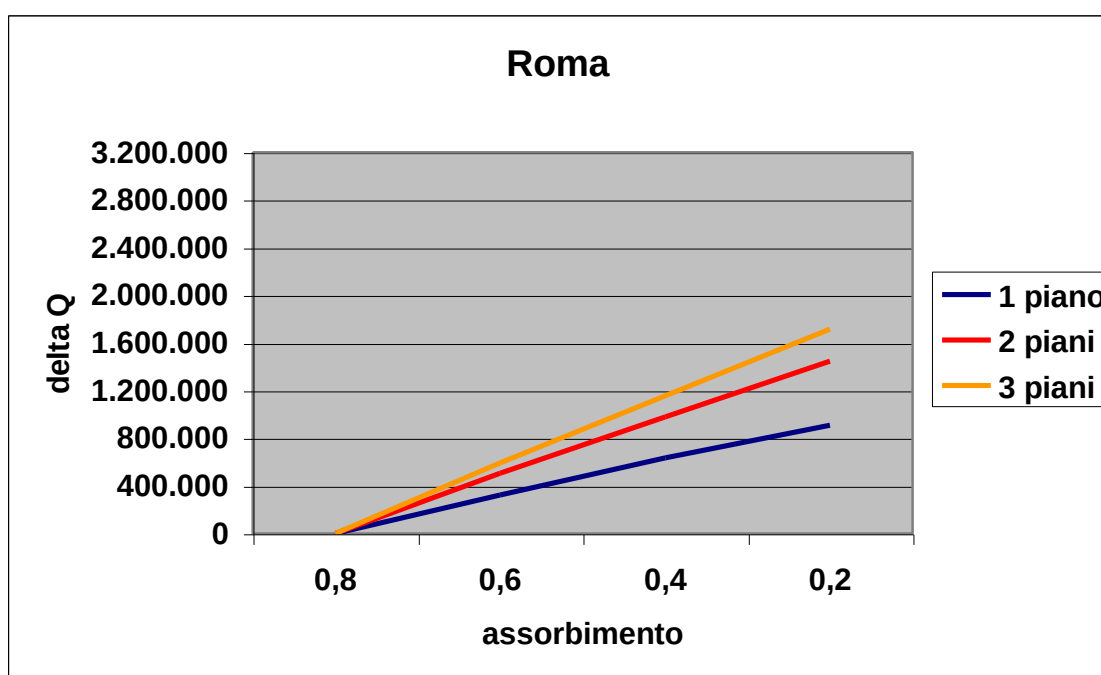
E' evidente come dalle prove fatte su modelli a norma colpiscono di più i guadagni ottenuti da città calde come Olbia e Palermo dove si raggiungono percentuali di 18-20 % del consumo totale. Nel grafico di seguito viene mostrato il risparmio energetico in kj per un edificio ad un piano al variare del coefficiente di assorbimento della vernice del tetto in alcune città . Ricordiamo che nell'esperimento gli impianti di raffreddamento e riscaldamento sono accesi dalle 8.00 – 18.00 nei giorni feriali. Il condizionamento è regolato ad una temperatura di 26°C e il riscaldamento a 20°C .

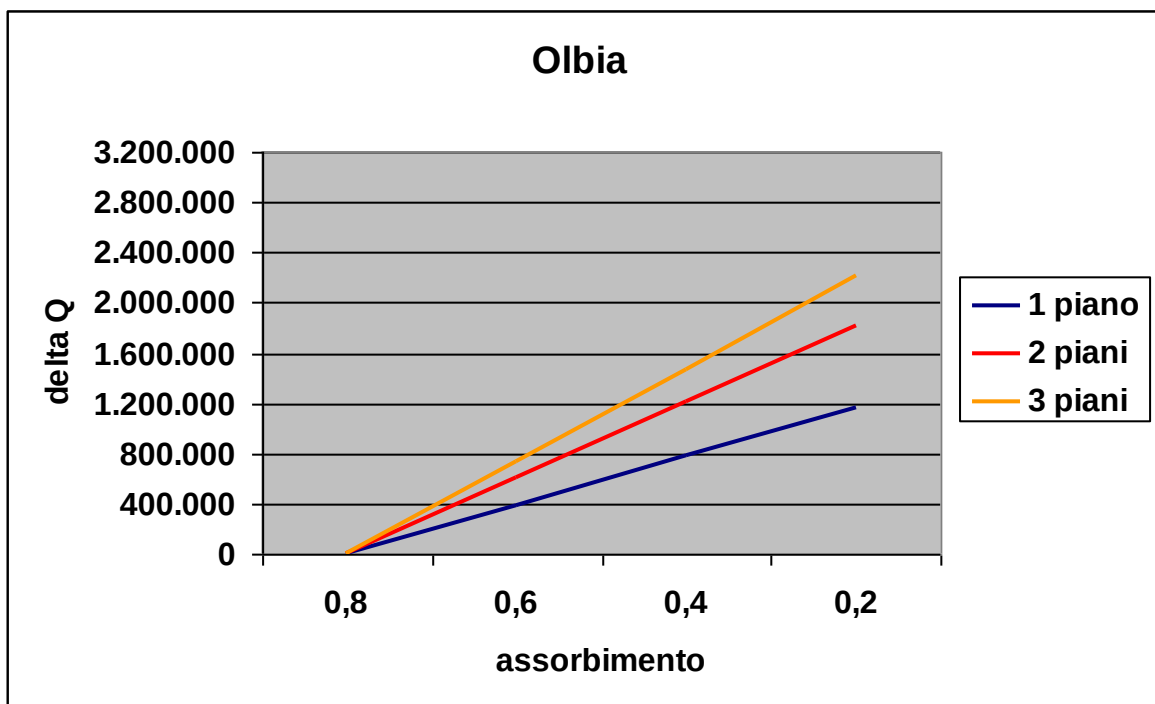
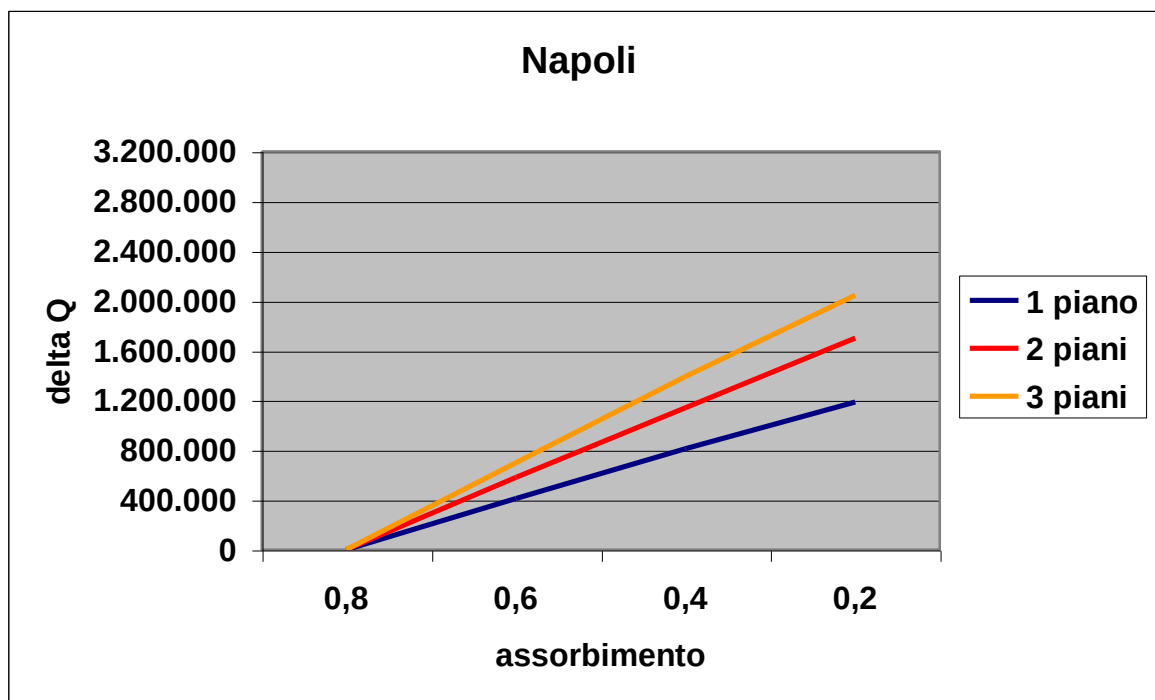


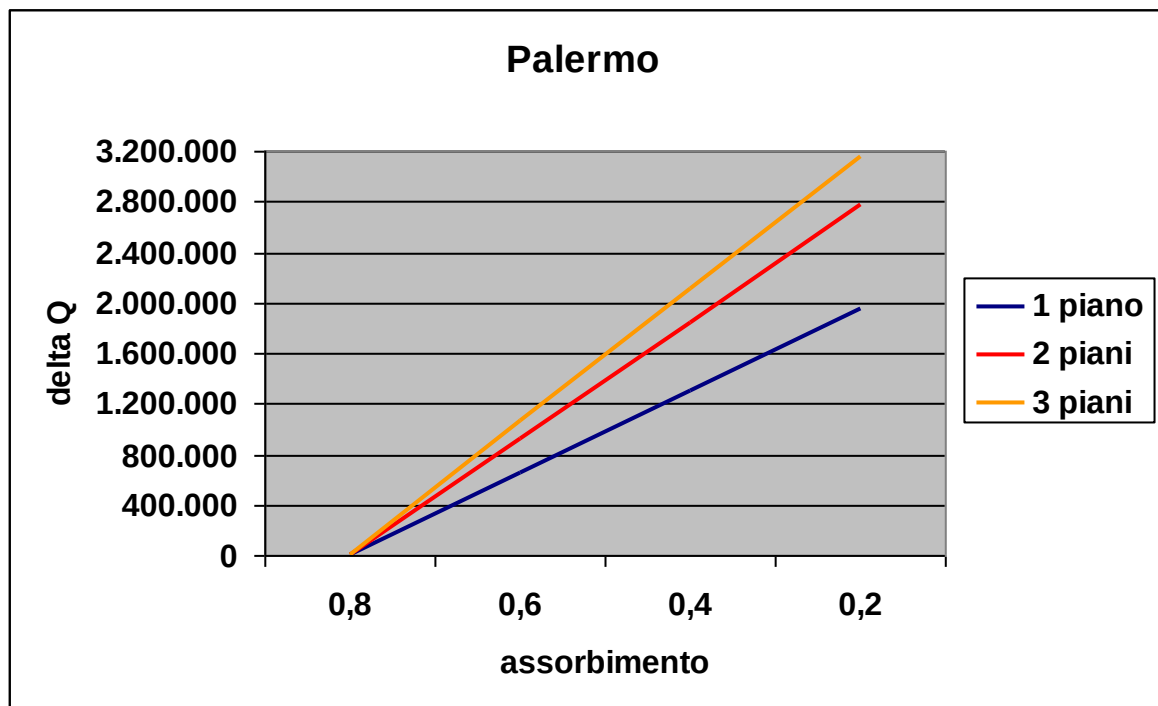
Interessanti dati vengono forniti dalle prove fatte su edifici a più piani.

Di seguito vengono confrontati i rispettivi guadagni su modelli a 1,2 e 3 piani situati a Roma, Napoli, Olbia e Palermo. Si ricorda che i dati sono riportati in kj

.

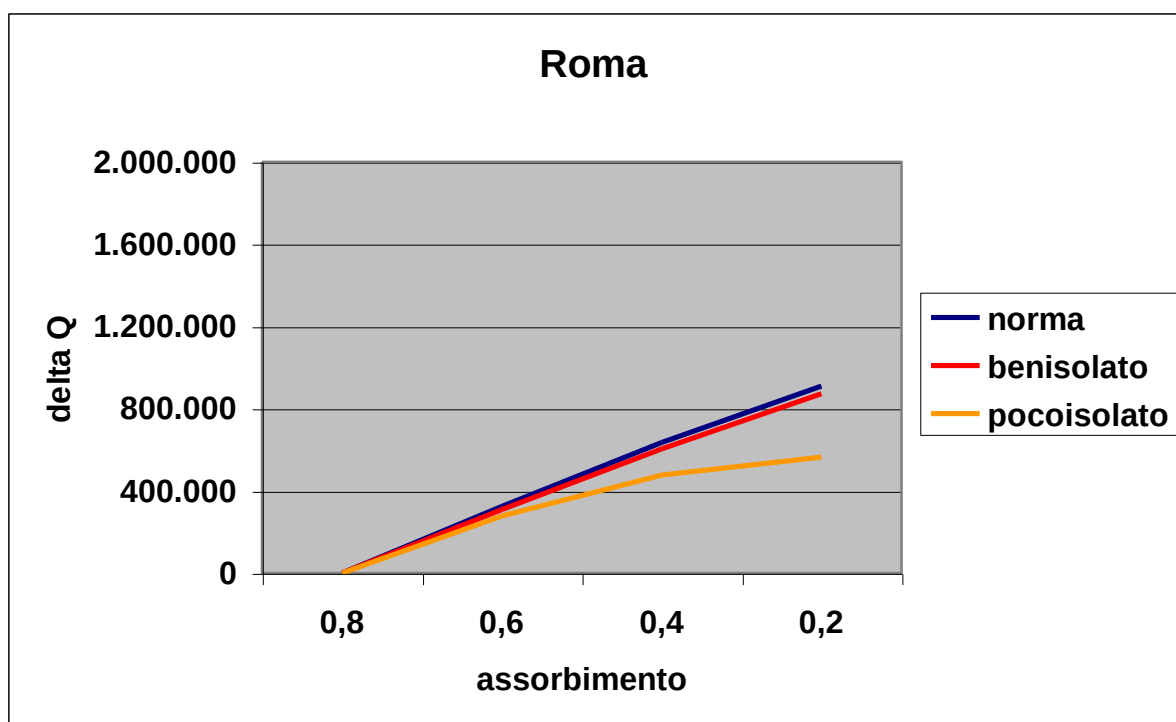


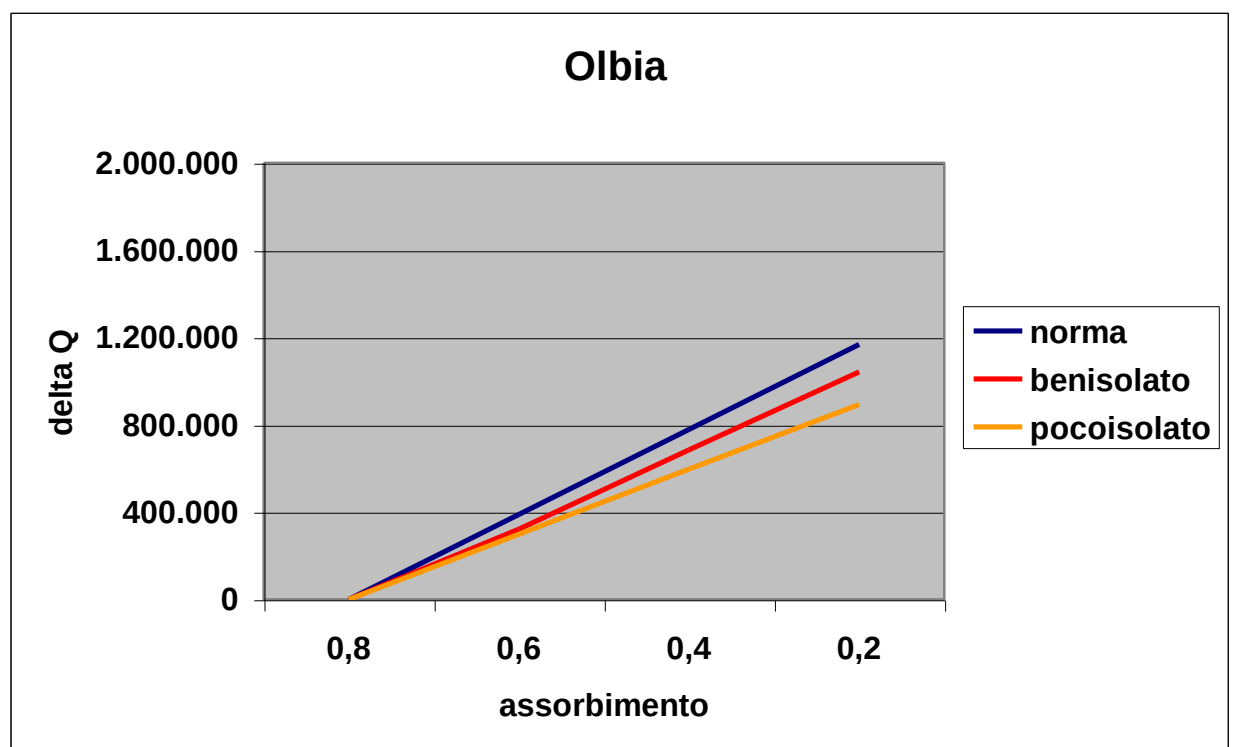
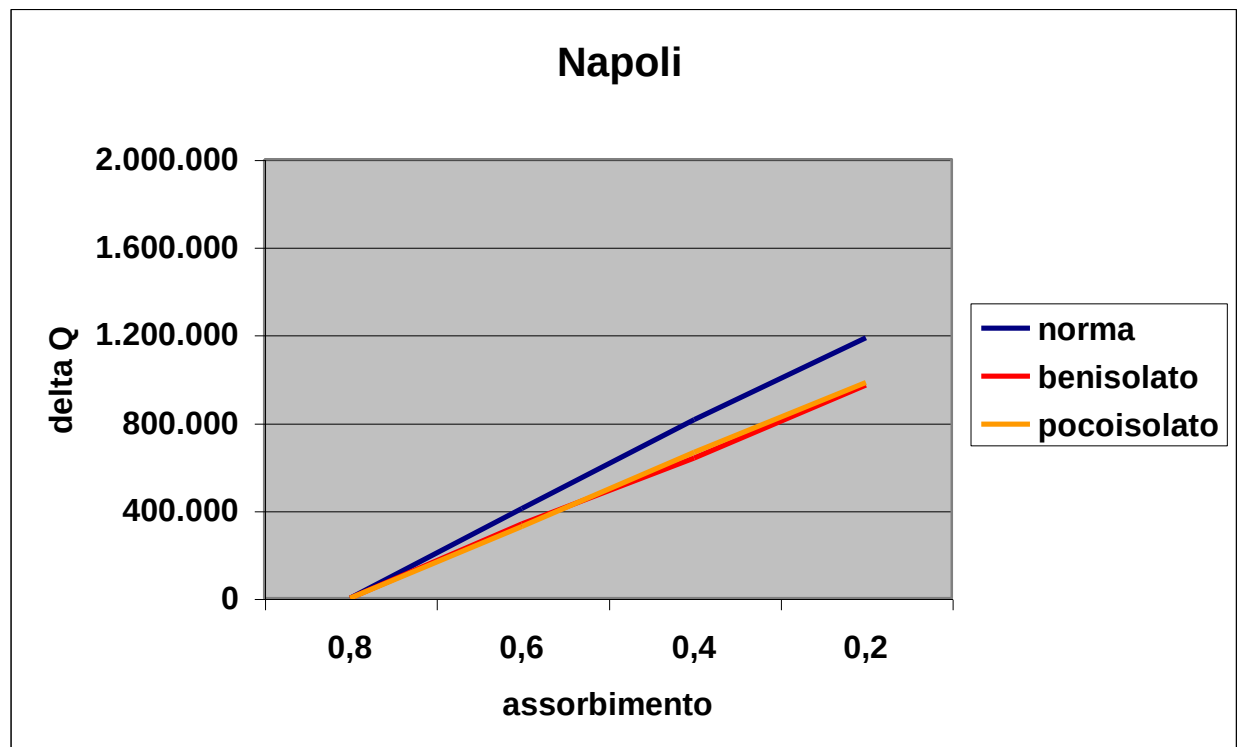


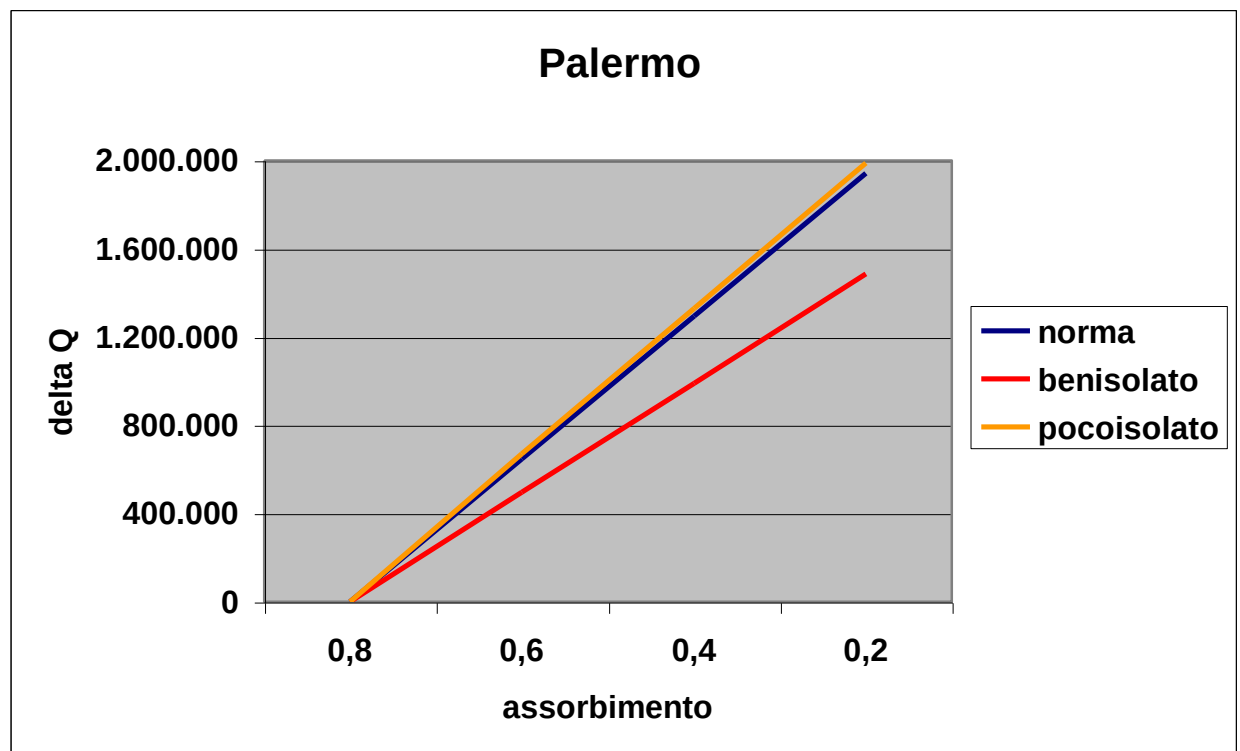


Infine ulteriori informazioni si possono ricavare dalle simulazioni con modelli diversi da quelli a norma secondo le fasce climatiche .

Il primo esperimento riguarda un modello particolarmente isolato con trasmittanza termica bassa rispetto alla norma ; rispettivamente per i muri esterni e per il soffitto esterno sono stati utilizzati valori pari a $0.35 \text{ watt/ m}^2\text{k}$ e $0.3 \text{ watt/ m}^2\text{k}$. Nel secondo invece viene utilizzato un modello poco isolato termicamente con trasmittanza alta rispetto alla norma. In questo caso rispettivamente per i muri esterni e per il soffitto esterno sono stati utilizzati valori pari a $1.0 \text{ watt/ m}^2\text{k}$ e $0.9 \text{ watt/ m}^2\text{k}$. Di seguito vengono riportati i confronti tra le diverse configurazioni nelle città di Roma, Napoli, Olbia e Palermo. In tutti i casi si tratta di modelli ad un piano con impianti di riscaldamento e raffreddamento aperti dalle 8.00 alle 18.00 nei giorni feriali. Il condizionamento è regolato ad una temperatura di 26°C e il riscaldamento a 20°C . I risultati sono espressi in kj .







Tra tutte le combinazioni provate il caso in cui si è riscontrato il maggiore guadagno assoluto è la struttura a tre piani poco isolata termicamente nella città di Palermo .

Come risultato si è ottenuto un risparmio di 3.768.694 kj, pari a circa il 12 % del totale fabbisogno energetico per il riscaldamento e il condizionamento annuo.

Infine è stato studiato il caso dell'edificio F 83 completo e sono stati riscontrati i seguenti dati . E' stato riscontrato un consumo totale di energia primaria per il riscaldamento e raffreddamento pari a $4 \cdot 10^5$ Mj all'anno.

Utilizzando un tetto con coefficiente di riflessione 0.85 si ottiene un risparmio di circa 10^4 Mj , pari a circa il 3% del totale.