

Murature massive e comfort sostenibile in clima mediterraneo

Giuseppe Margani (*)

(*) Dipartimento di Architettura ed Urbanistica, Università degli Studi di Catania

Una recente ricerca dell'Università di Catania, partendo dalle problematiche legate alla riduzione del consumo energetico per la climatizzazione degli edifici, ha accertato come le soluzioni massive, nel contesto tipicamente mediterraneo, siano le più performanti dal punto di vista sia del comfort ambientale che del risparmio energetico.

Il consumo energetico degli edifici

Oggi, i paesi industrializzati coprono l'80-85% del proprio fabbisogno energetico mediante l'impiego di combustibili fossili (petrolio, gas, carbone; fig. 1).

Tuttavia, la disponibilità di tali combustibili tende ad esaurirsi, a dispetto di una domanda di energia sempre crescente, soprattutto da parte degli stati asiatici [fig. 2].

Ciò comporterà inevitabilmente un incremento insostenibile dei prezzi, in particolare del petrolio e dei suoi derivati.

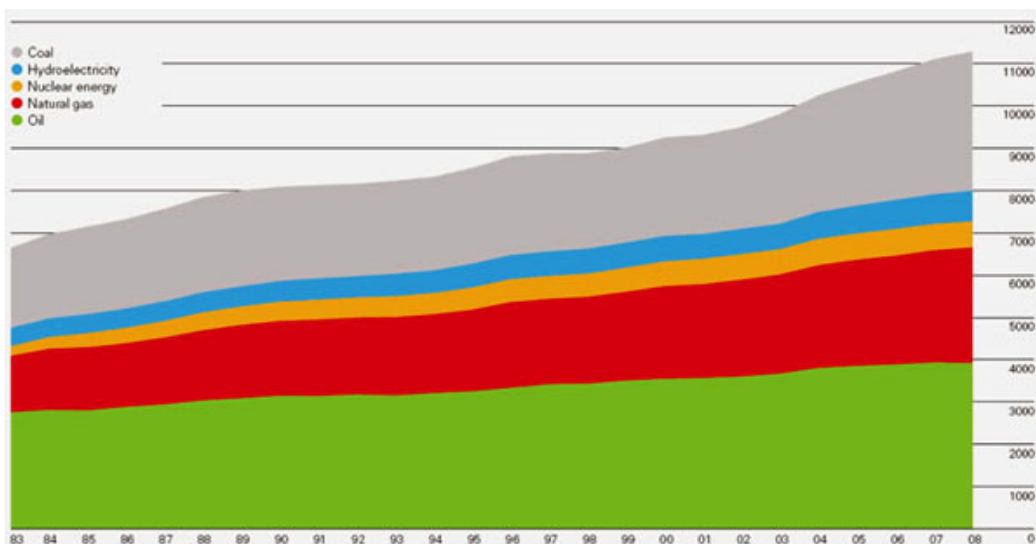


Fig. 1 – Evoluzione dei consumi mondiali di energia primaria 1983-2008 in Mtep, con distinzione del tipo di risorsa (BP Statistical review of world energy, 2009).

A fronte di un aumento incontrollato del prezzo del greggio, le uniche alternative possibili saranno:

1. utilizzare fonti energetiche rinnovabili;
2. migliorare l'efficienza energetica.

In caso contrario, sarà necessario che i Paesi più ricchi, e quindi più energivori, limitino drasticamente la capacità produttiva o i livelli di comfort.

Alle problematiche di tipo economico e sociale, si aggiungono quelle di carattere ambientale: l'uso indiscriminato dei combustibili fossili sta producendo sul pianeta alterazioni ecologico-ambientali preoccupanti, dovute all'intensificarsi dell'effetto serra; quest'ultimo provoca, a sua volta, un incremento della temperatura media terrestre¹, il cosiddetto "riscaldamento globale". Tale fenomeno, alterando le attuali condizioni climatiche del pianeta e modificando il volume dei ghiacciai e degli oceani, può avere conseguenze disastrose per l'ecosistema mondiale.

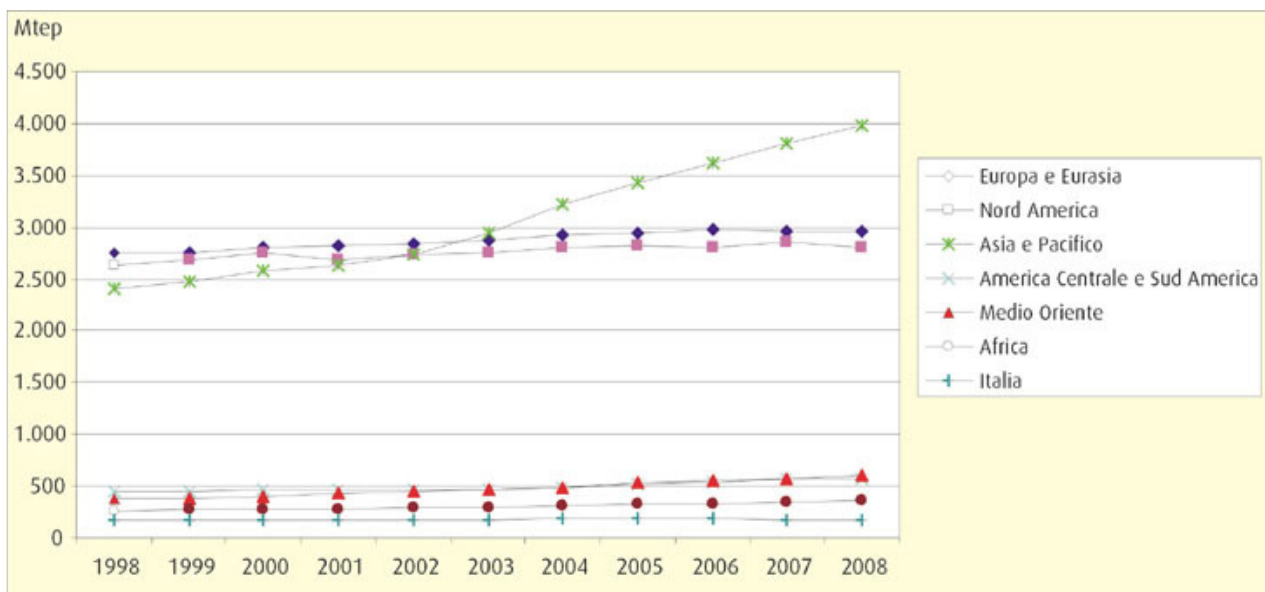


Fig. 2 – Consumi mondiali di energia primaria 1998-2008 in Mtep² (elaboraz. su dati BP Statistical review of world energy, 2009).

L'adozione di fonti di energia alternative e sostenibili comporta quindi un duplice vantaggio:

- far fronte alla crisi energetica dovuta al progressivo esaurimento delle riserve di combustibili fossili;
- evitare rischi di catastrofi ambientali.

Tra le potenziali fonti energetiche alternative, è problematico puntare sul nucleare, il quale, pur presentando una buona efficienza e assicurando emissioni di CO₂ potenzialmente trascurabili, produce tuttavia scorie radioattive che costituiscono un'eredità estremamente pesante per le generazioni future; un'eredità che, con le attuali procedure di smaltimento, si estinguerrebbe in oltre 100.000 anni.

L'obiettivo deve essere quindi quello di affidarsi a fonti non solo rinnovabili, ma anche "pulite", sostenibili, che non determinino rilevanti squilibri ambientali, come l'energia solare, eolica, geotermica, idroelettrica, marina³, da biomasse e da rifiuti.

Questo obiettivo è stato peraltro accolto dall'UE, che nel marzo 2007 ha varato un pacchetto integrato di azioni, sintetizzato con la sigla "20-20-20", il quale mira, entro il 2020, al raggiungimento di un triplice traguardo da parte degli Stati membri:

1. produzione energetica da fonti rinnovabili pari al 20% del consumo interno lordo di energia;
2. risparmio del 20% rispetto ai consumi previsti al 2020;
3. riduzione del 20% delle emissioni dei gas serra rispetto ai livelli del 1990.

L'Italia sta lentamente cercando di emanciparsi dall'impiego di combustibili fossili e dalla forte dipendenza energetica dall'estero (attestata negli ultimi 4 anni intorno all'85%, contro il 50% della media europea)⁴.

Nonostante gli sforzi compiuti, i dati non sono ancora confortanti. Ciò è evidenziato da una inattesa diminuzione (dal 1997 al 2007, in parte compensata nel 2008) della produzione elettrica da fonti rinnovabili rispetto al totale della produzione nazionale [fig. 3]⁵.

Tale diminuzione è imputabile sia all'aumento dei consumi, sia alla riduzione negli anni della fornitura idroelettrica (che ancora offre di gran lunga il maggior contributo alla produzione rinnovabile nazionale); riduzione dovuta soprattutto alle disposizioni legislative giustamente emanate per garantire il "minimo deflusso vitale" negli alvei.

Rapporto percentuale P. rinnovabile / P. totale

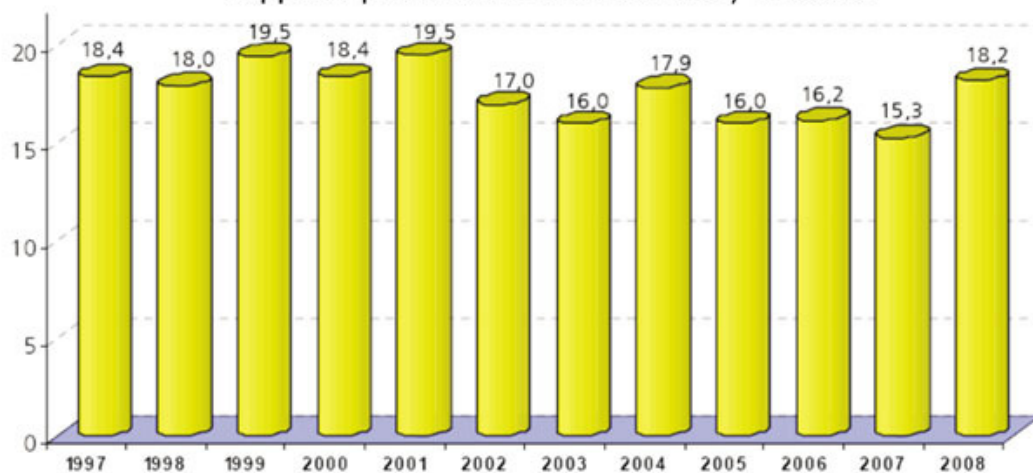


Fig. 3 - Incidenza percentuale della produzione lorda rinnovabile rispetto alla produzione lorda totale di energia elettrica in Italia dal 1997 al 2008 (GSE, Statistiche sulle fonti rinnovabili in Italia, 2008).

Il nostro Paese pertanto, pur avendo superato nel 2008 la media europea, resta lontano dall'obiettivo del 22% al 2010, indicato per l'Italia dalla direttiva comunitaria 2001/77/CE⁶, e soprattutto si trova notevolmente indietro rispetto alle nazioni più "virtuose", come l'Austria, i Paesi scandinavi e il Portogallo [fig. 4].

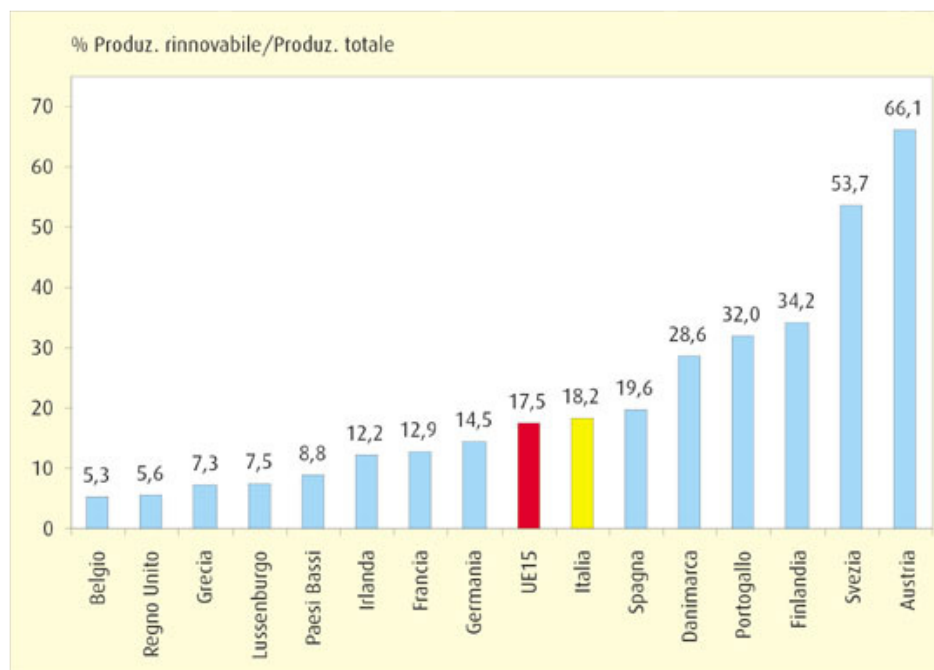


Fig. 4 - Incidenza percentuale della produzione lorda rinnovabile rispetto alla produzione lorda totale di energia elettrica nell'UE15 nel 2008 (elaboraz. su dati GSE, Statistiche sulle fonti rinnovabili in Italia, 2008).

Sulla base dei dati desunti dal bilancio energetico nazionale del 2008, l'incidenza delle fonti rinnovabili sulla disponibilità totale in Italia scende poi addirittura all'8,9%, come esplicitato alla fig. 5.

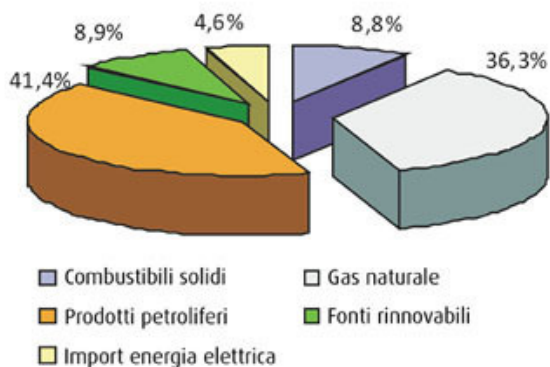


Fig. 5 - Disponibilità di energia per fonte in Italia nel 2008 (elaboraz. su dati del Bilancio Energetico Nazionale 2008).

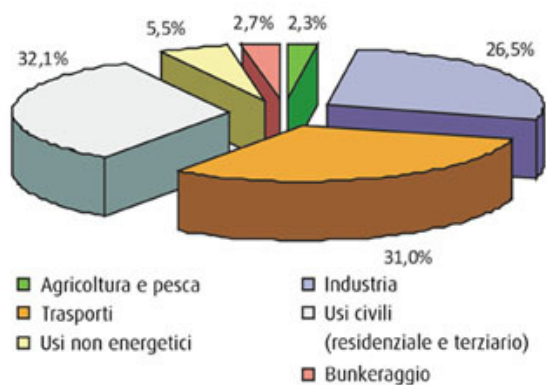


Fig. 6 - Consumi di energia per settori di uso finale in Italia nel 2008 (elaboraz. su dati del Bilancio Energetico Nazionale 2008).

Sempre secondo gli stessi dati, gli usi civili risultano altamente energivori: il consumo nel settore del residenziale e del terziario è infatti pari al 32,1% del bilancio energetico complessivo [fig. 6], e di tale aliquota, circa i due terzi ($\approx 22\%$ del totale) sono dovuti alla climatizzazione [fig. 7].

A ciò si aggiunga il fatto che in tali settori il 65,9% del fabbisogno ($\approx 21\%$ del consumo globale) è coperto dagli idrocarburi, cioè da fonti inquinanti [fig. 8].

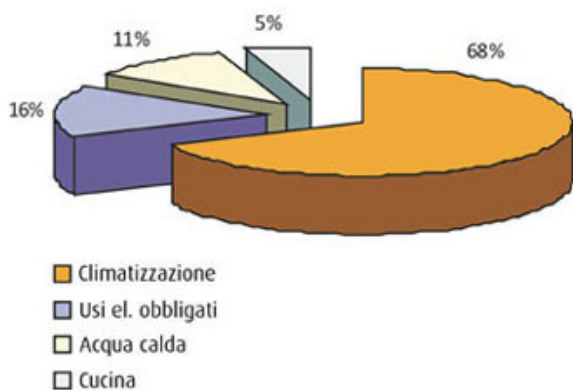


Fig. 7 - Consumi di energia per usi finali nel settore civile in Italia (Risparmio ed efficienza energetica della casa, SICENEA 2007).

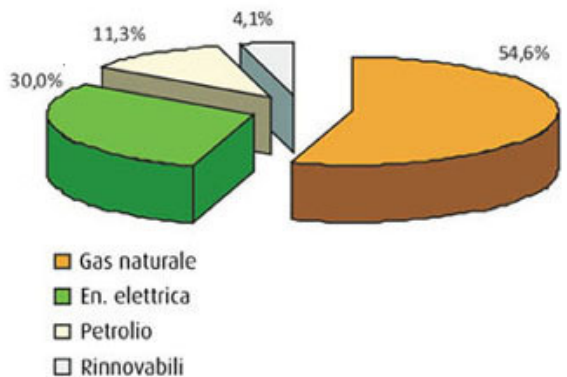


Fig. 8 - Consumi di energia per fonte nel settore civile in Italia (elaboraz. su dati del Bilancio Energetico Nazionale 2008).

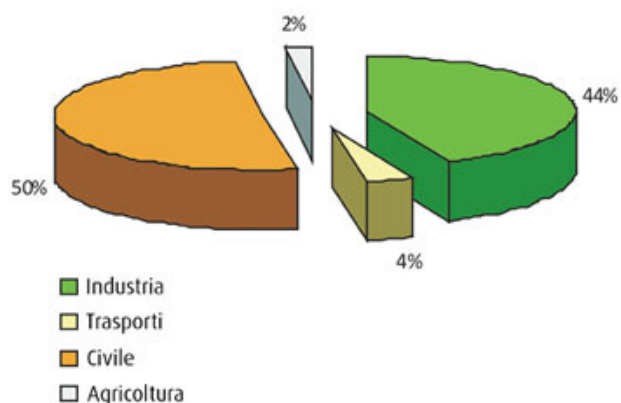


Fig. 9 - Consumi di energia elettrica per settori di uso finale in Italia nel 2008 (elaboraz. su dati del Bilancio Energetico Nazionale 2008).

Va inoltre osservato che, secondo stime ENEA del 2004, a fronte di un costo di costruzione che in termini energetici si aggira intorno a 5,5 Tep, in Italia un'abitazione da 90÷100 m² richiede, per il solo riscaldamento, mediamente 1 Tep all'anno.

Se a quelli del riscaldamento si aggiungono anche gli altri consumi di gestione (raffrescamento, usi elettrici obbligati, manutenzione, ristrutturazione, ecc.), si può concludere che in appena 3 anni un'abitazione brucia la stessa energia necessaria a realizzarla⁹.

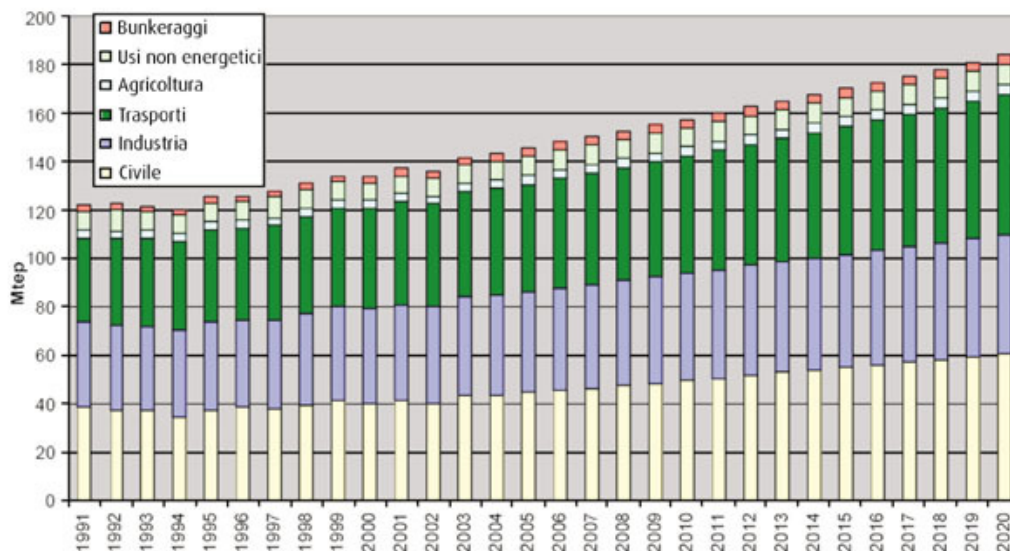


Fig. 10 – Consumi energetici per settore in Italia: dati storici e previsione (Scenario tendenziale dei consumi e del fabbisogno al 2020, Ministero Attività Produttive, 2005).

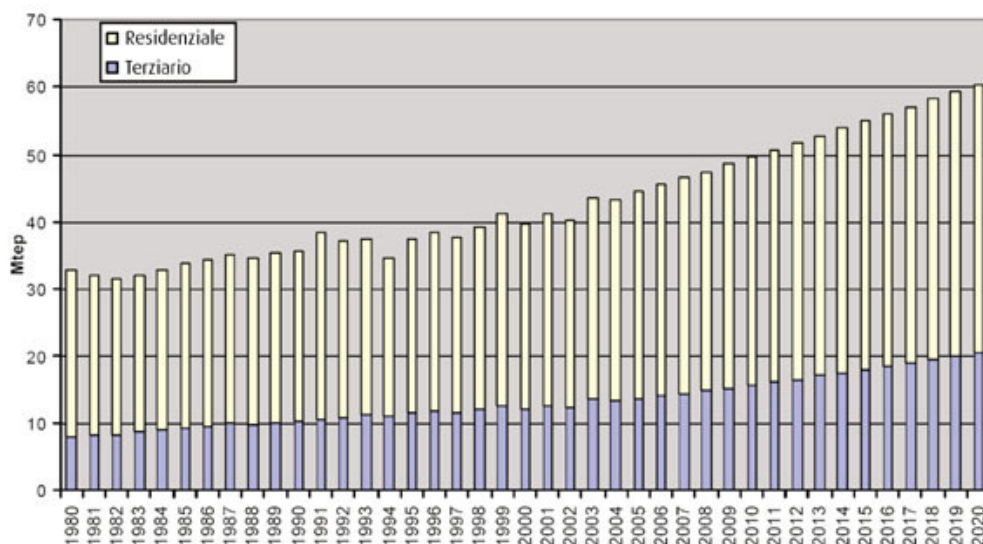


Fig. 11 – Consumi energetici per usi civili in Italia: dati storici e previsione (Scenario tendenziale dei consumi e del fabbisogno al 2020, Ministero Attività Produttive, 2005).

Intervenire sui consumi civili in termini di sostenibilità e di efficienza è quindi numericamente significativo, soprattutto in uno scenario di crescita continua del fabbisogno energetico [figg. 10-11].

A tal proposito infatti le stime al 2020, redatte dalla Commissione Europea sul risparmio potenziale dei consumi di energia, ammontano al 27% per gli edifici residenziali ed al 30% per gli edifici commerciali [tab. 1].

Occorre a questo punto sottolineare che, mentre nel settore commerciale le maggiori opportunità di risparmio sono offerte dal miglioramento dei sistemi di gestione dell'energia, per quello residenziale il problema cruciale è dato dalla scelta di una corretta soluzione dell'involucro edilizio.

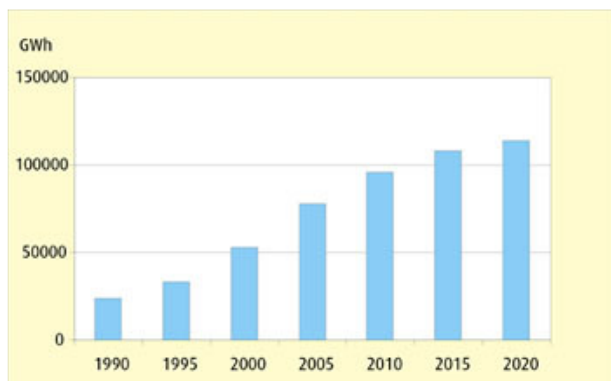
Tab. 1 – Risparmi potenziali nei settori di uso finale per i paesi UE (Piano d'azione per l'efficienza energetica (2006).

Settore	Consumo di energia (Mtep) nel 2005	Consumo di energia (Mtep) nel 2020 (in caso di situazione invariata)	Risparmio potenziale di energia nel 2020 (Mtep)	Potenzialità globali di risparmio energetico nel 2020
Edilizia abitativa	280	338	91	27%
Edifici commerciali (terziario)	157	211	63	30%
Trasporti	332	405	105	26%
Industria manifatturiera	297	382	95	25%

Proprio in quest'ottica, nel seguito vengono presi in esame i benefici, in termini di risparmio energetico e di comfort termico, che derivano dall'impiego di chiusure verticali massive in laterizio, le quali, come si vedrà, risultano particolarmente vantaggiose nel clima mediterraneo¹⁰.

Murature massive e comfort sostenibile

Come si è visto, il consumo di energia per usi civili è in costante aumento. Questo aumento è dovuto in larga parte alla crescente domanda di raffrescamento estivo che, secondo gli studi EECCAC¹¹, si quadruplicherà tra il 1990 e il 2020 [fig. 12].



Ciò vale a maggior ragione per un Paese dal clima mite come l'Italia, nel quale già nel 2004 la domanda di picco estivo di energia elettrica ha eguagliato quella invernale [fig. 13] ed ha poi continuato a crescere, causando problemi di carico massimo (fino al *black-out*), nonché aumenti dei costi e squilibri del bilancio energetico.

Fig. 12 - Previsione della domanda di energia da condizionamento estivo nell'UE15 (elaboraz. su dati EECCAC, 2003).

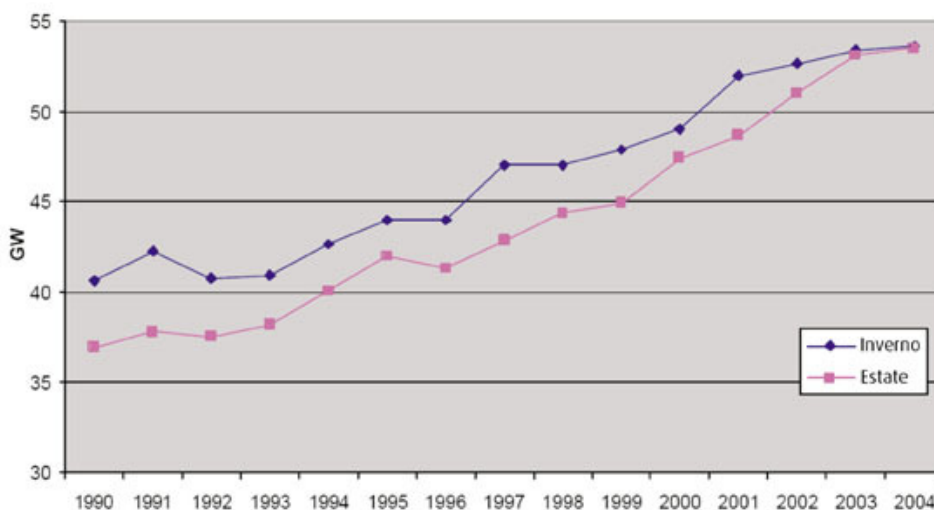


Fig. 13 - Evoluzione storica (1990-2004) della domanda di picco invernale ed estiva di energia elettrica in Italia (Scenario tendenziale dei consumi e del fabbisogno al 2020, Ministero Attività Produttive, 2005).

Questo trend è stato generato soprattutto dall'impennata negli acquisti di condizionatori estivi da parte degli utenti del settore residenziale e terziario, i quali normalmente non conoscono alternative sostenibili ed efficaci ai dispositivi di raffrescamento attivo e vengono fortemente attratti dai loro bassi costi d'impianto¹².

Di conseguenza nelle città più calde, come ad esempio Palermo e Catania, in alcuni casi non rari, cioè per edifici molto svetrati, i consumi estivi oggi possono risultare anche 6 volte maggiori rispetto a quelli invernali¹³.

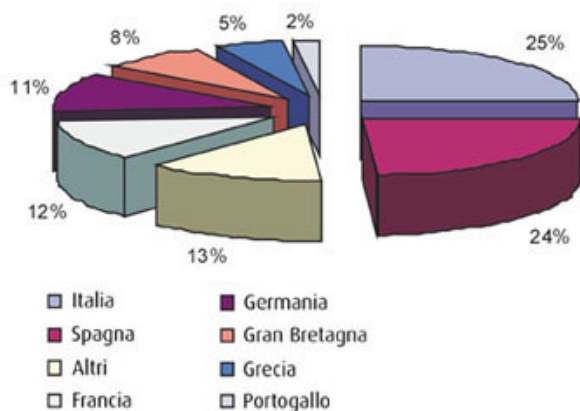


Fig. 14 - Distribuzione del mercato dei condizionatori estivi nei paesi UE nel 1998: Italia e Spagna coprono oggi circa il 50% della domanda (elaboraz. su dati EECAC, 2003).

Per far fronte a questa situazione, peraltro comune a numerosi Paesi del bacino del Mediterraneo, la Comunità europea ha avviato nel 2005 il progetto "Keep Cool", con l'obiettivo di illustrare le caratteristiche e i vantaggi dei sistemi di raffrescamento sostenibili, di promuovere adeguamenti normativi, di incoraggiare incentivi economici per edifici che si dotino di impianti di condizionamento passivo, nonché di studiare nuove soluzioni per il raggiungimento del cosiddetto "sustainable summer comfort"¹⁴.

Secondo tale progetto, l'utilizzo di involucri edilizi massivi, o meglio "capacitivi", cioè costituiti da materiali ad elevata capacità termica¹⁵, consente nei climi mediterranei, specie se caratterizzati da un'ampia escursione termica giornaliera (circa 15°C) e quindi da una ventilazione notturna efficace, di ridurre il carico termico da raffrescamento estivo del 10-40% rispetto al caso di involucri leggeri, a parità di prestazioni isolanti¹⁶.

Non a caso l'architettura vernacolare dell'area mediterranea ha da sempre privilegiato edifici con murature di grosso spessore, le quali, unitamente a opportuni sistemi di schermatura solare e di ventilazione naturale, nonché ad un oculato contenimento delle aperture, consentono di ottenere buoni livelli di comfort ambientale estivo, ovvero offrono una sensazione di freschezza naturale, qualitativamente migliore di quella prodotta da un impianto meccanico¹⁷.

In realtà, i benefici che queste soluzioni vernacolari forniscono sono molteplici, sia in estate che, anche se in misura più ridotta, in inverno.

Innanzitutto una parete capacitiva riesce a smorzare e sfasare il flusso della forzante esterna nelle ore più calde. Ciò significa che la quantità di calore che attraversa il muro, anzitutto viene ridotta d'intensità (smorzamento o attenuazione), e inoltre arriva nell'ambiente con un ritardo temporale di alcune ore (sfasamento o ritardo di fase, fig. 15).

Uno sfasamento ottimale si aggira intorno alle 12-16 ore: così infatti il flusso termico di picco (ad esempio alle ore 14:00) giunge all'interno nelle ore più fresche (ore 2:00-6:00) e meno frequentate (specie per gli edifici del terziario)¹⁸. In tale maniera si riduce l'escursione termica interna e si mantiene la temperatura di benessere.

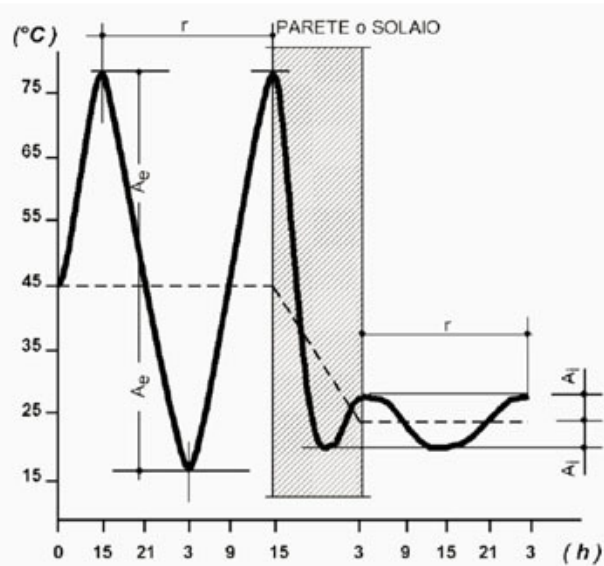


Fig. 15 - Andamento delle temperature in funzione del tempo in regime dinamico: il rapporto "A_e/A_i" rappresenta lo smorzamento e "r" lo sfasamento.

Peraltro gli involucri massivi migliorano il comfort ambientale non solo sotto l'effetto dei carichi esterni, ma anche di quelli interni. Infatti, nei momenti di maggiore affollamento ovvero qualora vengano aperte le schermature delle finestre o quando si metta in funzione una cucina, essi contengono i livelli termici delle superfici interne dell'abitazione, grazie alla capacità di assorbire calore¹⁹.

Un ulteriore vantaggio scaturisce soprattutto laddove gli impianti funzionano ad intermittenza. Ciò avviene comunemente nei climi mediterranei (che, come si è detto, sono caratterizzati da notevoli escursioni termiche giornaliere) e può produrre degli sbalzi termici eccessivi tra i periodi di accensione e di spegnimento dei sistemi di climatizzazione estiva o invernale. Ma, anche in questo caso, la capacità di accumulo delle pareti consente di stabilizzare il valore della temperatura interna, svolgendo un'utile azione termoregolatrice o di "volano" termico²⁰.

Tale azione termoregolatrice interviene anche nei periodi di picco; infatti questi tipi di muro riescono a mantenere sul lato interno una temperatura superficiale (e quindi una temperatura piana radiante) più bassa in estate e più alta in inverno, rispetto a quella media del vano, ancora una volta a tutto vantaggio del comfort²¹.

È opportuno precisare che il semplice ricorso ai muri massivi non è sufficiente a garantire il benessere ambientale nei climi caldi. Come già accennato, è necessario assicurare anche le seguenti condizioni:

- una limitazione delle aperture (che devono peraltro essere opportunamente schermate dall'esterno)²²;
- una adeguata ventilazione notturna (naturale e, ove necessario, forzata)²³.

La prima condizione riesce, infatti, a ridurre notevolmente il guadagno solare diretto durante il giorno. La seconda consente invece di smaltire il calore che gli involucri massivi hanno accumulato nel corso della giornata e che durante la notte tendono a trasmettere agli ambienti interni; in tal modo si ottiene il duplice beneficio di rinfrescare questi ambienti e di "scaricare" le pareti, che sono così pronte ad assorbire l'eventuale carico termico del giorno successivo²⁴.

Va tuttavia sottolineato che in inverno, nei climi mediterranei, gli involucri pesanti, per raggiungere una data temperatura, richiedono un maggiore apporto termico rispetto ai sistemi leggeri superisolati. Tuttavia, come dimostrato da alcuni studi²⁵, nell'arco di un intero anno, le pareti ad elevata capacità termica risultano di solito più vantaggiose rispetto alle soluzioni leggere di pari trasmittanza stazionaria U^{26} , anche in termini di fabbisogno energetico complessivo.

In Italia, la normativa vigente (D.Lgs. 192/2005 e 311/2006) tiene conto dell'esigenza di un involucro pesante e, oltre a specificare precisi limiti per la trasmittanza termica stazionaria U , ha imposto che le pareti esterne delle regioni più soleggiate abbiano una massa superficiale M_s di almeno 230 kg/m^2 .²⁷ Non solo, diversi regolamenti comunali e regionali, a seguito dell'entrata in vigore della suddetta normativa, prevedono di scomputare per le chiusure verticali ed orizzontali gli "extraspessori" legati al risparmio energetico, i quali non rientrano pertanto nel calcolo delle cubature, incoraggiando così l'adozione di sistemi ad elevata capacità termica²⁸.

Tuttavia i limiti previsti per U e M_s non sempre risultano sufficienti a garantire un adeguato comfort, soprattutto nelle estati calde. Tali limiti prescindono infatti dalle modalità di stratificazione delle chiusure verticali, che oggi sono generalmente costituite dalla giustapposizione di più materiali: coibente termico, laterizi forati, laterizi pieni, materiali lapidei, finiture, ecc.; occorre, pertanto, considerare che, non solo la natura, ma anche la successione degli strati risulta rilevante ai fini del benessere ambientale²⁹.

Infatti, ad esempio, un vano delimitato da pareti multistrato con isolante posto all'interno e massa all'esterno, pur rispettando le prescrizioni di legge, non appena si aumentino gli apporti di calore (apertura degli infissi in ore molto calde, affollamento, ecc.), in estate rischia di surriscaldarsi come un *thermos*, facendo registrare sensibili incrementi anche della temperatura piana radiante delle superfici interne.

Più efficace sarà invece il comportamento della stessa parete, se la massa sarà disposta all'interno e lo strato coibente a metà o all'esterno. In tal caso, infatti, l'involucro tenderà ad avere un comportamento analogo a quello di una muratura massiva³⁰.

Non a caso il recente D.P.R. 59/2009 introduce, in alternativa al limite di 230 kg/m^2 fissato per la M_s , un limite per la trasmittanza termica periodica Y_{IE} , che, per le chiusure verticali opache, deve essere inferiore a $0,12 \text{ W/m}^2\text{K}^{31}$; dove per trasmittanza termica periodica si intende il parametro che valuta la capacità di una parete opaca di sfasare ed attenuare il flusso termico che l'attraversa nell'arco delle 24 ore³², cioè quella prestazione che, come si è visto, costituisce una prerogativa soprattutto delle murature massive.

Tuttavia il correttivo proposto in alternativa in tale decreto, pur migliorando generalmente le prestazioni termiche in regime dinamico, cioè per fluttuazioni sensibili della temperatura, non è esente da osservazioni. Infatti è possibile ottenere valori di $Y_{IE} < 0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$ non solo con pareti di elevata massa ad adeguata U , ma anche con involucri leggeri superisolati, i quali, come si è detto, se da un lato consentono di ridurre notevolmente i carichi esterni (con conseguente risparmio energetico), dall'altro, in presenza di carichi interni o nei casi di un uso intermittente degli impianti, possono risultare meno vantaggiosi in termini di comfort abitativo, poiché viene meno l'effetto termoregolatore della massa³³.

Da queste considerazioni emerge che, in clima mediterraneo, le soluzioni d'involucro più performanti sono quelle mostrate in laterizio. Peraltro esse, in seguito alle possibilità di scomputo degli "extraspessori" ed alla larga diffusione di blocchi con spiccate proprietà isolanti (laterizi alveolati o porizzati), tendono ormai a sostituire quelle multistrato con pannelli coibenti, fino a poco tempo fa indispensabili per contenere lo spessore dell'involucro (e quindi la cubatura dell'edificio) e garantire, nel contempo, un'adeguata trasmittanza termica stazionaria.

Infine, va sottolineato che, a prescindere dalle considerazioni energetiche e di comfort termico, gli involucri massivi mostrati in laterizio presentano, rispetto a quelli leggeri e/o multistrato, migliori prestazioni anche in termini di durabilità e risultano quindi particolarmente adatti alla realizzazione di edifici con una vita media attesa di almeno 100 anni.

Note

1. La temperatura media del pianeta è aumentata di $0,74^\circ\text{C}$ nel corso dell'ultimo secolo. Tale aumento è andato via via intensificandosi: si è passati dai $0,06^\circ\text{C}$ per decennio fino al 1950 ai $0,25^\circ\text{C}$ per decennio dei nostri giorni (cfr. V. Ferrara, "Cambiamenti climatici e strategie di adattamento", in *Energia, Ambiente e Innovazione*, n. 4, ENEA, Roma 2007, pp. 5-6).
2. Mtep = milioni di tonnellate di petrolio equivalente.
3. L'energia marina, detta anche oceanica o pelagica, comprende: l'energia talassotermica, mareomotrice o delle maree, del moto ondoso, delle correnti, del gradiente salino o osmotica.
4. Cfr. C. MANNA ET AL., *Rapporto energia e ambiente 2007. Analisi e scenari*, ENEA, Roma 2008, pp. 17, 27.
5. Cfr. *Statistiche sulle fonti rinnovabili in Italia – Anno 2007*, GSE – Gestore dei Servizi Elettrici, luglio 2008. Il dato non tiene conto dell'energia prodotta dai sistemi fotovoltaici.
6. Questa direttiva è stata recentemente superata dalla 2009/28/CE, che per l'Italia fissa al 2020 un obiettivo per la quota di energia da fonti rinnovabili rapportate al consumo complessivo di energia (e quindi non all'uso di sola energia elettrica, come per la 2001/77/CE) pari al 17%.
7. Si noti che i consumi civili, se considerati in termini di energia primaria e non di usi finali, salgono dal 30,3% ad oltre il 40% (cfr. AA.VV., *Libro bianco...*, cit., p. IX). Questo perché negli usi finali i consumi elettrici vengono sommati alla pari con quelli termici, senza tenere conto che, ad esempio, il rendimento nella combustione del metano si attesta intorno al 90%, mentre quello nella produzione dell'energia elettrica non supera il 30%; pertanto 1 kWh elettrico richiede un impegno di fonti primarie (in Italia prevalentemente idrocarburi) quasi 3,5 volte superiore, mentre 1 kWh termico richiede un consumo di combustibili fossili solo 1,1 volte superiore. A ciò si aggiunga il fatto che proprio il settore civile è caratterizzato da un'elevata domanda di energia elettrica, pari al 50% della produzione nazionale [figg. 8- 9]. Infine si noti che in tali statistiche non sono compresi i contributi legati alla costruzione, nonché alla manutenzione e ristrutturazione degli edifici; contributi che concorrono ulteriormente a marcare il carattere fortemente

energivoro del residenziale e del terziario (cfr. *ibidem*, pp. 81-82, 521-523, 530; *Statistiche sulle fonti rinnovabili...*, cit. p. 12).

8. Si noti che, nel settore civile, il 30% dei consumi sono dovuti all'impiego di energia elettrica [fig. 8], la cui produzione prevalentemente è legata di nuovo agli idrocarburi. Pertanto la suddetta aliquota del 65,9% va di fatto incrementata.
9. Cfr. AA.VV., *Libro bianco...*, cit., pp. 81, 530.
10. Inteso secondo la classificazione climatica di Köppen.
11. Cfr. ADNOT J. ET AL., *Energy Efficiency and Certification of Central Air Conditioners – Final report*, 2003, p. 16.
12. L'Italia, già nel 1998, copriva il 25% del mercato di condizionatori estivi in Europa [Fig. 14] (Cfr. ADNOT J. ET AL., *op. cit.*, p. 10).
13. Cfr. F. STAZI ET AL., "La casa del comfort sostenibile", in *Costruire in Laterizio*, n. 121, gennaio/febbraio 2008, p. 50. Secondo il progetto della Comunità Europea denominato *Passive-On*, in una casa "passiva" a Palermo il rapporto tra consumi estivi e invernali scende ad 1:4 (cfr. B. FORD ET AL., *The passivhaus standard in European warm climates. Design guidelines for comfortable low energy homes – Part 1. A review of comfortable low energy homes*, Passive-On, University of Nottingham 2007, p. 27).
14. Ciò per il raggiungimento di buone condizioni di comfort estivo, prevedendo un consumo nullo o limitato di risorse energetiche convenzionali (di origine fossile o nucleare) e un impiego di materiali ecocompatibili (cfr. M. VARGA ET AL., *Service Buildings Keep Cool: Promotion of sustainable cooling in the service building sector – Final report*, Austrian Energy Agency, Vienna 2007, p. 7).
15. La capacità termica C di un corpo è data dal rapporto fra il calore fornitogli (cioè accumulato) e l'aumento di temperatura che ne deriva. È pari al prodotto tra il calore specifico c e la massa m : $C = c \cdot m$.
16. Cfr. M. VARGA ET AL., *op. cit.*, p. 19.
17. L'architettura vernacolare in realtà impiega diversi altri accorgimenti utili al miglioramento del comfort ambientale estivo, come quelli relativi alla scelta del sito, all'orientamento, al sistema di copertura, alla compattezza volumetrica, alla colorazione delle pareti, alla presenza di vegetazione e di piccoli specchi d'acqua (fontane, piscine, stagni), ecc.
18. Cfr. C. MONTICELLI, "Il comportamento energetico di pareti in laterizio a vista", in *Costruire in Laterizio*, n. 127, gennaio/febbraio 2009, pp. 58-59; D.M. 26 giugno 2009, allegato A, par. 6.2. In realtà lo sfasamento ottimale dipende sia dall'orientamento (dal quale dipende l'ora del flusso termico di picco), che dalla destinazione d'uso (abitazione, ufficio, scuola, ecc.). Peraltro, grazie allo sfasamento, il flusso termico può giungere all'interno ulteriormente attenuato (a prescindere dal citato effetto di smorzamento), poiché nel frattempo, durante le ore notturne, la trasmissione termica ha cambiato verso; ciò vale in particolare per le regioni a forte escursione giornaliera, nelle quali di notte la temperatura esterna diventa più bassa rispetto a quella degli ambienti interni.
19. Cfr. M. MEDOLA, "Prestazioni termiche dell'involucro edilizio", in *Costruire in Laterizio*, n. 118, luglio/agosto 2007, pp. 63, 66; P. MAZZEI ET AL., "Le metodologie di calcolo degli indici di prestazione energetica degli edifici", in AA.VV., *Certificazione energetica: normative e modelli di calcolo per il sistema edificio-impianto posti a confronto*, Atti Convegno AICARR, Arti Grafiche Torri, Cologno Monzese 2008, p. 117.
20. In merito all'ottimizzazione del periodo di accensione degli impianti nei climi mediterranei, cfr. F. STAZI ET AL., "La casa...", cit., pp. 53-54. Si noti che l'accensione continua degli impianti è limitata a casi speciali (come celle frigorifere o ambienti che ospitano macchinari che devono operare a temperatura controllata) ovvero ai climi estremi (come quelli molto freddi, senza grosse variazioni di temperatura nell'arco della giornata), per i quali la soluzione migliore in termini di consumi è quella di un involucro leggero superisolato, che evita lo spreco di energia altrimenti necessaria a riscaldare o raffreddare la massa.
21. Il comfort ambientale viene percepito per effetto sia della temperatura interna (che interagisce con la superficie corporea per contatto diretto), sia della temperatura piana radiante o superficiale (che interagisce mediante scambi radiativi).
22. Nei climi mediterranei, il guadagno solare invernale che si ottiene con l'adozione di ampie finestrate, è largamente superato dal disagio estivo dovuto al surriscaldamento prodotto dall'effetto serra. Se non si vuole rinunciare al guadagno solare in inverno, è quindi necessario che in estate le aperture vengano adeguatamente schermate.
23. La ventilazione naturale notturna risulta meno efficace nei centri urbani, sia perché gli occupanti tendono a chiudere le finestre per evitare l'ingresso del rumore, sia perché l'escursione termica giornaliera viene sensibilmente ridotta dall'effetto "isola di calore" (cfr. B. FORD ET AL., *op. cit.*, Part. 1, p. 7).
24. Cfr. P. MAZZEI ET AL., "Le metodologie...", cit., pp. 116-118; C. GARGARI, "Soluzioni in laterizio in area mediterranea", in *Costruire in Laterizio*, n. 125, settembre/ottobre 2008, pp. 56, 59; C. DI PERNA ET AL., "Massa e comfort: necessità di una adeguata capacità termica areica interna periodica", in *Costruire in Laterizio*, n. 126, novembre/dicembre 2008, p. 57. Va osservato che qualora, con sistemi di condizionamento, si mantenesse costante la temperatura interna, non si verificherebbero variazioni significative del fabbisogno energetico globale estivo tra una parete massiva e una parete leggera e isolata, caratterizzate da valori approssimabili di trasmittanza termica stazionaria. Infatti la parete massiva, se è vero che mantiene la temperatura interna più bassa nelle ore più calde, tuttavia, per sfasamenti intorno alle 12 ore, la mantiene più alta di notte (cfr. P. MAZZEI ET AL., "Le metodologie...", cit., p. 118). Il vantaggio della parete massiva si misura quindi, come detto, in termini di comfort, per effetto dell'attenuazione dell'escursione termica giornaliera (riducendo i valori di picco), ovvero anche in termini di risparmio energetico estivo, allorché si ricorra alla ventilazione notturna. Se non si vuole adottare costosi sistemi automatizzati, l'efficacia della ventilazione dipende ovviamente dalla disponibilità e dalla prontezza degli occupanti nel mettere in azione i dispositivi di attivazione delle correnti d'aria (apertura finestre, apertura bocchette di aerazione, ecc.).
25. Cfr. M. MEDOLA, "Prestazioni termiche...", cit., pp. 62-67; A. CAMPIOLI ET AL., "Il comportamento energetico-ambientale di involucri in laterizio", in *Costruire in Laterizio*, n. 120, novembre/dicembre 2007, p. 62.

26. In condizioni di regime stazionario (in cui cioè il flusso di calore e le temperature non variano nel tempo), la trasmittanza (o coefficiente di trasmissione termica globale) si definisce come l'energia termica che nell'unità di tempo attraversa una superficie unitaria sottoposta a differenza di temperatura pari ad 1°K .
27. In particolare la normativa prescrive di verificare che «in tutte le zone climatiche ad esclusione della F, per le località nelle quali il valore medio mensile dell'irradiazione sul piano orizzontale, nel mese di massima insolazione estiva, $I_{m,s}$, sia maggiore o uguale a 290 W/m^2 , che il valore della massa superficiale M_s delle pareti opache verticali, orizzontali o inclinate sia superiore a 230 kg/m^2 » (D.Lgs. 311/2006, Allegato I, comma 9, lettera b). La stessa norma prevede, in alternativa, di ottenere gli stessi effetti positivi derivanti dal rispetto del suddetto valore di M_s , mediante «l'utilizzo di tecniche e materiali, anche innovativi, che permettano di contenere le oscillazioni della temperatura degli ambienti in funzione dell'andamento dell'irraggiamento solare. In tal caso deve essere prodotta una adeguata documentazione e certificazione delle tecnologie e dei materiali che ne attestino l'equivalenza con le predette disposizioni» (*Ibidem*, Allegato I, comma 9, lettera c). Tuttavia, paradossalmente, non viene indicato alcun limite per le superfici vetrate ovvero per il rapporto tra chiusure trasparenti ed opache; di conseguenza sono ammessi edifici totalmente vetrati che, soprattutto nei paesi caldi, dal punto di vista energetico risultano bioclimaticamente inammissibili.
28. In Sicilia, ad esempio, la Legge n. 4/2005 prevede che «non vengono computati ai fini del calcolo del volume edificato e della superficie coperta complessiva: a) i maggiori spessori delle pareti perimetrali esterne, nella parte eccedente i 30 centimetri nel caso di nuove costruzioni ed i 50 centimetri nel caso di recupero di edifici esistenti, fino ad un massimo di ulteriori 20 centimetri; b) i maggiori spessori dei solai orizzontali e delle coperture, anche inclinate, nella parte eccedente la misura media di 25 centimetri e fino ad un massimo di ulteriori 10 centimetri; c) le maggiori altezze interne nette dei vani di unità residenziali, nella parte eccedente le misure minime di metri 2,70 e di metri 2,40 previste dai regolamenti edilizi comunali, fino ad un massimo di ulteriori 30 centimetri» (cfr. Legge Regione Sicilia, 22.04.2005 n. 4, art. 1). Per un elenco dei regolamenti edilizi e delle leggi regionali che prevedono lo scomputo degli extraspessori, cfr. A. DI FUSCO, "Risparmio energetico e scomputo degli extraspessori", in *Costruire in Laterizio*, n. 119, settembre/ottobre 2007, pp. 60-63.
29. Una parete costituita da un numero, uno spessore e un tipo prefissato di strati, al variare della successione degli strati stessi mantiene costanti i valori di U ed M e quindi, in regime stazionario, offre le stesse prestazioni termiche. Ciò non è altrettanto vero in regime dinamico, dove la successione degli strati, sempre a parità di U ed M_s , determina invece sensibili differenze in termini di comfort e di consumo energetico (cfr. C. GARGARI, "Laterizio: energia e qualità dell'ambiente", in *Costruire in Laterizio*, n. 112, luglio/agosto 2006, p. 61; A.F.L. BARATTA, L. VENTURI, "Prestazioni termiche di pareti perimetrali in regime dinamico", in *Costruire in Laterizio*, n. 122, marzo/aprile 2008, pp. 63-64; V. AUGENTI, P. STEFANIZZI, "Considerazioni su soluzioni di involucro opaco in regime termico dinamico", in *Costruire in Laterizio*, n. 125, settembre/ottobre 2008, pp. 50-53; S. FERRARI, "Procedure di calcolo semplificate e valutazioni dinamiche", in *Costruire in Laterizio*, n. 131, settembre/ottobre 2009, pp. 60-63).
30. Cfr. C. DI PERNA ET AL., "Massa e comfort...", cit., p. 55.
31. In dettaglio il testo della lettera b), del comma 9, dell'allegato I, del D.Lgs. 311/2006 (cfr. nota 27), nel D.P.R. viene sostituito dal seguente: «relativamente a tutte le pareti verticali opache con l'eccezione di quelle comprese nel quadrante nord-ovest/nord/nord-est, almeno una delle seguenti verifiche: che il valore della massa superficiale M_s , di cui al comma 22 dell'allegato A, sia superiore a 230 kg/m^2 ; che il valore del modulo della trasmittanza termica periodica (Y_{IE}), di cui al comma 4, dell'articolo 2, sia inferiore a $0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$ » (D.P.R. 2 aprile 2009 n. 59, art. 4, comma 18, lettera b, punto 1.2). Lo stesso D.P.R. fissa, per le chiusure orizzontali opache, un tetto per la Y_{IE} , di $0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$ e specifica che gli effetti ottenibili dal rispetto dei valori limite di M_s o Y_{IE} possono essere raggiunti, in alternativa, anche con coperture a verde.
32. La UNI EN ISO 13786:2001 definisce la Y_{IE} come "l'ampiezza complessa della densità di flusso termico attraverso la superficie del componente adiacente alla zona m, diviso per l'ampiezza complessa della temperatura nella zona n".
33. Cfr. C. DI PERNA ET AL., "Massa e comfort...", cit., pp. 54-55. Occorre inoltre mettere in conto l'elevato consumo energetico necessario per la produzione della maggior parte dei materiali coibenti comunemente in commercio (cfr. E. DI GIUSEPPE, A. ORCIARI, "Iperisolare conviene?", in *Costruire in Laterizio*, n. 131, settembre/ottobre 2009, pp. 64-67).