

## **Analisi dei contenuti energetici di pareti esterne in muratura**

(Analysis of Energy Contents and Requirements for External Brick Walls)

GIOVANNI CANAVESIO Arch.

Istituto di Tecnologia dell'Ambiente Costruito, Politecnico di Torino, Italia.

FRANCESCO OSSOLA Ing.

Istituto di Architettura Tecnica, Politecnico di Torino, Italia.

NORBERTO TUBI, Ing.

Ditta RDB SpA, Piacenza, Italia.

**Sommario** - La relazione assume come riferimento due ricerche svolte nell'ambito del Progetto Finalizzato Energetica del C.N.R. relative allo studio di interventi normativi atti a favorire il risparmio energetico nel settore della edilizia abitativa ed all'analisi delle prestazioni edilizio-energetiche dei componenti dell'involucro degli edifici per trarre indicazioni sul contenuto energetico rapportato alle prestazioni offerte dalle murature esterne di laterizio.

**Summary** - This work has been carried out with reference to two research-programme of the "Progetto Finalizzato Energetica" of the C.N.R., concerning:

- the study of normative building solutions, to help energy-saving in house building and dwelling-construction,
- the analysis of energetic performances in dwelling-construction of the components of external walls, to get useful information on the energy audit and requirement of external brick-walls, related to the performances given by them.

### **1. PREMESSA**

Il presente contributo intende informare sinteticamente dei risultati di due ricerche condotte nell'ambito del Progetto Finalizzato Energetica del C.N.R., Sottoprogetto "Ricerche nel campo della Normativa", ponendo in particolare evidenza le indicazioni emergenti nei confronti delle murature di laterizio. La prima di tali ricerche è stata svolta dalla Unità Operativa RDB di Piacenza sul tema "Ricerca esplorativa sui possibili interventi normativi nel medio e nel lungo termine atti a favorire il risparmio energetico nel settore dell'edilizia abitativa". La seconda è stata sviluppata, in coordinazione con quattro Unità di Ricerca (AIRE, ICIE, RDB e UNI), sul tema "Analisi dei parametri atti a definire le prestazioni edilizio-energetiche ed i contenuti energetici dei componenti edilizi dell'involucro degli edifici".

Tali studi avevano l'obiettivo di fornire orientamenti metodologici e strumenti operativi, finalizzati al conseguimento del risparmio energetico nelle varie fasi del processo edilizio, agli enti istituzionalmente preposti alla promulgazione di norme nel settore

dell'edilizia, nonché ai differenti operatori (committenti, progettisti, imprenditori, produttori) al fine di porli in grado di effettuare scelte relativamente ottimali dal punto di vista energetico nelle sfere di loro competenza.

Per questo il lavoro è stato impostato in base ad un quadro preciso di riferimento del processo edilizio contenente la sequenza delle fasi operative susseguenti dal momento della formulazione delle esigenze a quello del loro soddisfacimento in termini di produzione edilizia. In tale quadro si è fatto interagire il problema energetico tramite l'assunzione di tre parametri in grado di rilevare e controllare gli aspetti energetico-edilizi:

- a) il "contenuto energetico" (CE) dei prodotti espresso in funzione delle energie dirette ed indirette coinvolte,
  - b) l'"affinità edilizio-tecnologica" (A) del prodotto che rappresenta la qualità funzionale media in rapporto alle parti costituenti,
  - c) il "peso energetico equivalente" (PEE) che correla il contenuto energetico del prodotto alle sue prestazioni edilizie anche in funzione dell'affinità edilizio-tecnologica del prodotto stesso.
- Le indicazioni per una corretta scelta finalizzata al conseguimento del risparmio energetico sono state concretizzate (come si esporrà più avanti) sia in relazione al ventaglio delle tipologie edilizie comunemente adottate negli interventi residenziali sia in relazione ad alcune tecnologie tipiche per i materiali o per i componenti impiegati nella realizzazione dell'organismo edilizio.

Per superare alcuni limiti del lavoro, rapportabili alla attuale situazione notevolmente carente per quanto concerne la conoscenza specifica dei comportamenti prestazionali degli oggetti edilizi, il campo d'indagine è stato, infine, indirizzato verso l'allestimento di "profili di qualità" di un repertorio di componenti, basato su di un'analisi puntuale delle prestazioni offerte e su di una correlazione tra livelli prestazionali e dispendi energetici da effettuare per l'ottenimento di tali livelli.

A conclusione della premessa, si vuole rimandare, per eventuali chiarimenti ed approfondimenti sulle elaborazioni svolte nella ricerca, omesse per brevità dalla presente relazione, ai rapporti finali ed intermedi attualmente in fase di pubblicazione dal C.N.R., nonché all'importante contributo dato dal Sottoprogetto "Risparmio di energia nel riscaldamento degli edifici" diretto dal Prof. C. Boffa ed alle relative indicazioni progettuali e normative in esso individuate.

## 2. ANALISI DEI CONTENUTI ENERGETICI DEI PRODOTTI EDILIZI INTERMEDI E FINALI.

Operazione fondamentale per l'individuazione di scelte edilizie energeticamente corrette è stata ovviamente quella di correlare le "fasi decisionali" del processo edilizio (che portano dalla formulazione delle esigenze dell'utenza al loro soddisfacimento in termini di produzione edilizia) con le "fasi esecutive e gestionali" (che conducono alla realizzazione dell'organismo edilizio e lo ge-

stiscono durante tutto il periodo di vita utile). Ciascuno dei consumi di energia propri dei momenti operativi del processo esecutivo-gestionale dipende infatti da risoluzioni prese a monte nel processo decisionale quando vengono fissati gli obiettivi ed i vincoli contestuali di politica territoriale, di contesto fisico, di mercato edilizio, di normativa procedurale e/o tecnica, ecc.

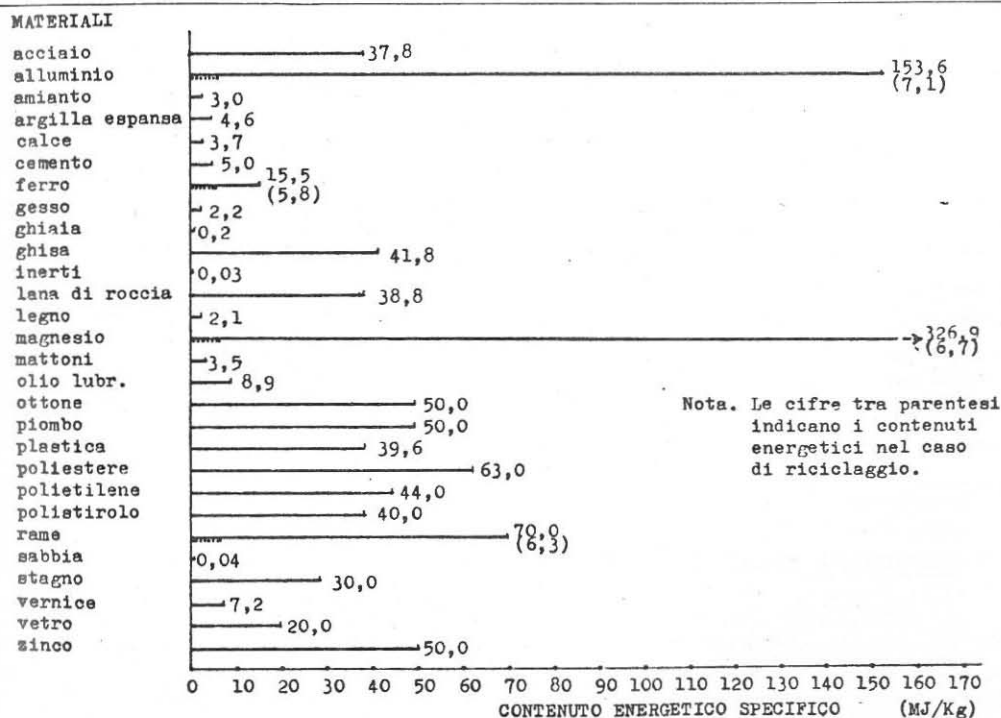
La ricerca ha individuato come parametri di correlazione più significativi il contenuto energetico (CE) ed il peso energetico equivalente (PEE) dell'elemento edilizio (o di un insieme di elementi edilizi costituenti l'edificio) ed ha proceduto alla loro analisi tramite indagini campione in grado di quantificare gli ordini di grandezza delle energie in gioco nelle varie fasi processuali.

Occorre, tuttavia, precisare che i dispendi considerati riguardano sia le "energie dirette" di produzione (riportate sugli elaborati grafici della presente relazione) che le "energie indirette" rapportabili all'ammortamento degli impianti produttivi, all'incidenza del settore terziario a supporto della produzione, alla mano d'opera ed al trasporto (di cui si dirà nell'ultimo capitolo).

## 2.1 CONTENUTI ENERGETICI DEI MATERIALI PER L'EDILIZIA.

I valori del contenuto energetico dei materiali da costruzione, maggiormente impiegati nell'edilizia abitativa con caratteristiche di finitura medie, sono stati espressi in Tabella 1 sia in relazione al caso di materiali ricavati dal ciclo produttivo completo che al caso di materiali di riciclaggio.

Tabella 1. Contenuti energetici dei materiali per l'edilizia.



## 2.2 CONTENUTI ENERGETICI DEI MANUFATTI E DEI COMPONENTI EDILIZI.

I contenuti energetici dei manufatti e dei componenti edilizi sono stati analizzati facendo riferimento ad una scomposizione dell'edificio in parti costruttivamente caratterizzate in relazione a quattro tecnologie maggiormente significative (Tabella 2):

- Tecnologia 1 - corrispondente ad un procedimento costruttivo tradizionale o tradizionale evoluto (struttura in c.a. puntiforme, travi e pilastri, solai latero-cementizi, muratura esterna laterizia a cassa vuota, muratura interna laterizia, ecc.);
- Tecnologia 2 - analoga alla precedente, ma con setti esterni e/o interni portanti a matrice latero-cementizia;
- Tecnologia 3 - con struttura e partizioni interne in c.a. realizzate secondo il procedimento a "coffrage tunnel", chiusure esterne in tecnologia leggera (pannelli sandwich in alluminio e glassal, cartongesso);
- Tecnologia 4 - con struttura in acciaio, chiusure esterne metalliche, partizioni interne in cartongesso o similari.

Tabella 2. Abaco dei componenti dell'edificio e dei relativi contenuti energetici.

COMPONENTI	TECNOLOGIA 1	TECNOLOGIA 2	TECNOLOGIA 3	TECNOLOGIA 4	UNITA' DI MISURA DEL C.E.
plinti	106	106		77	MJ/m <sup>2</sup> solaio support.
fondazioni			423 182		MJ/m <sup>2</sup> parete support. MJ/m fondazione
fondazione ascens.	423 182	423 182	423 182	423 182	MJ/m <sup>2</sup> parete support. MJ/m fondazione
travi porta-muro	1.021	1.314		1.021	MJ/m muro
travi	1.021	1.314		2.081	MJ/m trave
pilastri	1.009	1.030		1.486	MJ/m pilastro
controventatura				21	MJ/m <sup>3</sup> volume
bulloneria, piastr.				10	MJ/m <sup>3</sup> volume
solai	639	634	750	634	MJ/m <sup>2</sup> solaio
pareti esterne	1.167	978	723 1.000	1.000	MJ/m <sup>2</sup> parete esterna
pareti interne	342	440	608 751	751	MJ/m <sup>2</sup> parete interna
pavimenti	896	896	896	896	MJ/m <sup>2</sup> pavimento
intonaci	30	30			MJ/m <sup>2</sup> intonaco
rivestimenti cer.	835	843	843	843	MJ/m <sup>2</sup> rivestimento
controsoffitti				474	MJ/m <sup>2</sup> controsoffitto
tetto	429	429	429	429	MJ/m <sup>2</sup> tetto
serramenti est.	430	2.764	1.718	1.718	MJ/m <sup>2</sup> serramento est.
porte interne	136	136	136	136	MJ/m <sup>2</sup> porta interna
pareti ascensore	608	608	608	608	MJ/m <sup>2</sup> parete ascens.

## 2.3 CONTENUTI ENERGETICI DEL PRODOTTO EDILIZIO FINALE

Il contenuto energetico del prodotto finale, cioè dell'organismo edilizio risultante, è stato infine quantificato in fig. 1 in relazione ad un repertorio di tipologie ambientali degli edifici per abitazione, rappresentativo degli interventi preponderanti nell'at-

tuale contesto, ipotizzando l'applicazione delle tecnologie indicate al punto precedente. Tale repertorio, sintetizzato nella Tabella 3, presenta edifici con caratteristiche geometrico-distributive specifiche:

- larghezza regolare dei corpi di fabbrica con facciate rettilinee (nel caso degli edifici a schiera contraddistinti con A 1, A 1.1, A 1.2);
- larghezza accentuata dei corpi di fabbrica con facciate rettilinee (nel caso degli edifici a schiera contraddistinti con A 0, A 0.1, A 0.2);
- presenza di riseghe nella pianta (nel caso degli edifici contraddistinti con A 2, A 2.1, A 2.2, B 2, B 3, C 2, C 3, D 2, D 3, E 2, E 3);
- presenza di riseghe e sfalsamenti nella pianta (nel caso degli edifici a schiera contraddistinti con A 3, A 3.1, A 3.2);
- piante di forma quadrata con facciate rettilinee (nel caso degli edifici contraddistinti con B 0, E 1).

A conclusione delle elaborazioni di questa fase è stata, infine, disegnata una serie di diagrammi (di cui, per brevità, si riporta solo quello di fig. 2) con lo scopo di facilitare l'interpretazione del quadro delle interazioni emergenti tra il contenuto energetico del prodotto finale (l'organismo edilizio) e le altre variabili rappresentative del processo esecutivo concretizzate nelle tipologie ambientali e tecnologiche.

### 3. PRINCIPALI INDICAZIONI EMERGENTI DAI RISULTATI DELLA RICERCA.

Tra le principali indicazioni, emergenti anche dalla lettura della fig. 1, in cui vengono quantificati i contenuti energetici di costruzione dell'organismo edilizio, espressi in MJ per m<sup>3</sup> edificato, in funzione delle quattro tecnologie costruttive assunte, delle tipologie ambientali e del numero di piani degli edifici, si possono sottolineare:

- a) l'ordine di grandezza del contenuto energetico per le tipologie con 6 o 10 piani di altezza oscilla in una fascia compresa tra i 1.500 ed i 1.800 MJ/m<sup>3</sup> per le tecnologie 1, 2 e 3, mentre per la tecnologia 4 è superiore del 15-20%: per questo tale tecnologia sembra non essere congeniale per il repertorio di edifici residenziali ipotizzato;
  - b) il contenuto energetico per tutte le tecnologie sale rispetto alla fascia base (1.500-1.800 MJ/m<sup>3</sup>) del 10% nel caso di edifici a tre piani, del 25% nel caso di edifici a due piani e del 40-50% nel caso di edifici ad un solo piano fuori terra;
  - c) il contenuto energetico diminuisce mediamente con l'aumentare del numero di piani dell'edificio, presentando una diminuzione via via meno significativa allorché ci si avvicina ai 10 piani;
  - d) il diagramma di fig. 1 permette di ipotizzare abbinamenti preferenziali tra soluzioni tecnologiche e scelte tipologiche degli edifici da attuare, ad esempio, a parità di contenuto energetico o a parità di numero di piani o di tipologia edilizia;
- Altre indicazioni, ricavabili da altri grafici non riportati,

si possono condensare in:

- e) l'incidenza delle parti funzionali dell'edificio sul contenuto energetico dell'organismo edilizio complessivo è mediamente del:
- 40% per gli elementi strutturali,
  - 45-50% per le opere edilizie di completamento, quali pareti esterne, pareti interne, porte interne, serramenti esterni, pavimenti, intonaci, rivestimenti;
  - 10% per gli impianti tecnici;
  - 0-5% per l'isolamento termico dell'edificio.
- f) le caratteristiche geometrico-distributive degli edifici (riseghe e/o articolazioni delle piante) influenzano il contenuto energetico totale determinando incrementi pari al 10% in presenza di più marcate irregolarità delle piante.

Il diagramma riportato nella fig. 2 correla ancora gli stessi dati contenuti nella fig. 1 in funzione dell'utilizzo richiesto dai diversi operatori del processo edilizio:

- il progettista può trarre, infatti, indicazioni sulla tecnologia dotata di minimo contenuto energetico di costruzione e sulla tipologia corrispondente. Oppure, può individuare altre tipologie aventi, con soluzioni tecnologiche diverse, uno stesso contenuto energetico, stabilendo in tal modo delle equivalenze a livello energetico;
- il normatore può, invece, fissare un limite massimo di consumo energetico collegandolo con una fascia di tipologie compatibili e con i relativi volumi edificabili;
- il produttore può accertare la presenza di tipologie più congeniali alla sua tecnologia e programmare variazioni ed ottimizzazioni per adeguarla ad eventuali limiti di contenuto energetico imposti.

Per quanto concerne l'argomento specifico dei laterizi è, infine, appena il caso di far notare (riprendendo poi il discorso al prossimo capitolo) che nella totalità delle tipologie ambientali la tecnologia che presenta il minor contenuto energetico di costruzione dell'organismo edilizio è quella tradizionale (Tecnologia 1) basata su di un più largo impiego del laterizio rispetto alle altre tecnologie esaminate.

Tabella 3.  
Quadro sinottico  
delle tipologie  
ambientali.

	SCALE N°	ABITAZIONI PER PIANO	N° PIANI FUORI TERRA					
			1	2	3	6	10	
EDIFICI A SCHIERA	A 0	2	4					
	A 0.1	4	8					
	A 0.2	6	12					
	A 1	2	4					
	A 1.1	4	8					
	A 1.2	6	12					
	A 2	2	6					
	A 2.1	4	12					
	A 2.2	6	18					
	A 3	2	6					
	A 3.1	4	12					
	A 3.2	6	18					
EDIFICI A TORRE	B 0	1	4					
	B 1	1	6					
	B 2	1	4					
	B 3	1	4					
	C 0	1	2					
	C 1	1	2					
	C 2	1	3					
	C 3	1	2					
EDIFICI AD ABITAZIONI ABBINATE	D 0	1	2					
	D 1	1	2					
	D 2	1	2					
	D 3	1	2					
EDIFICI AD UNA SOLA ABITAZIONE PER PIANO	E 0	1	1					
	E 1	1	1					
	E 2	1	1					
	E 3	1	1					



CONTENUTO  
ENERGETICO  
DELL'EDIFICIO

MJ/m<sup>3</sup>

3.000

2.500

2.000

1.500

1.000

500

0

TECNOLOGIA 1. □

TECNOLOGIA 2. +

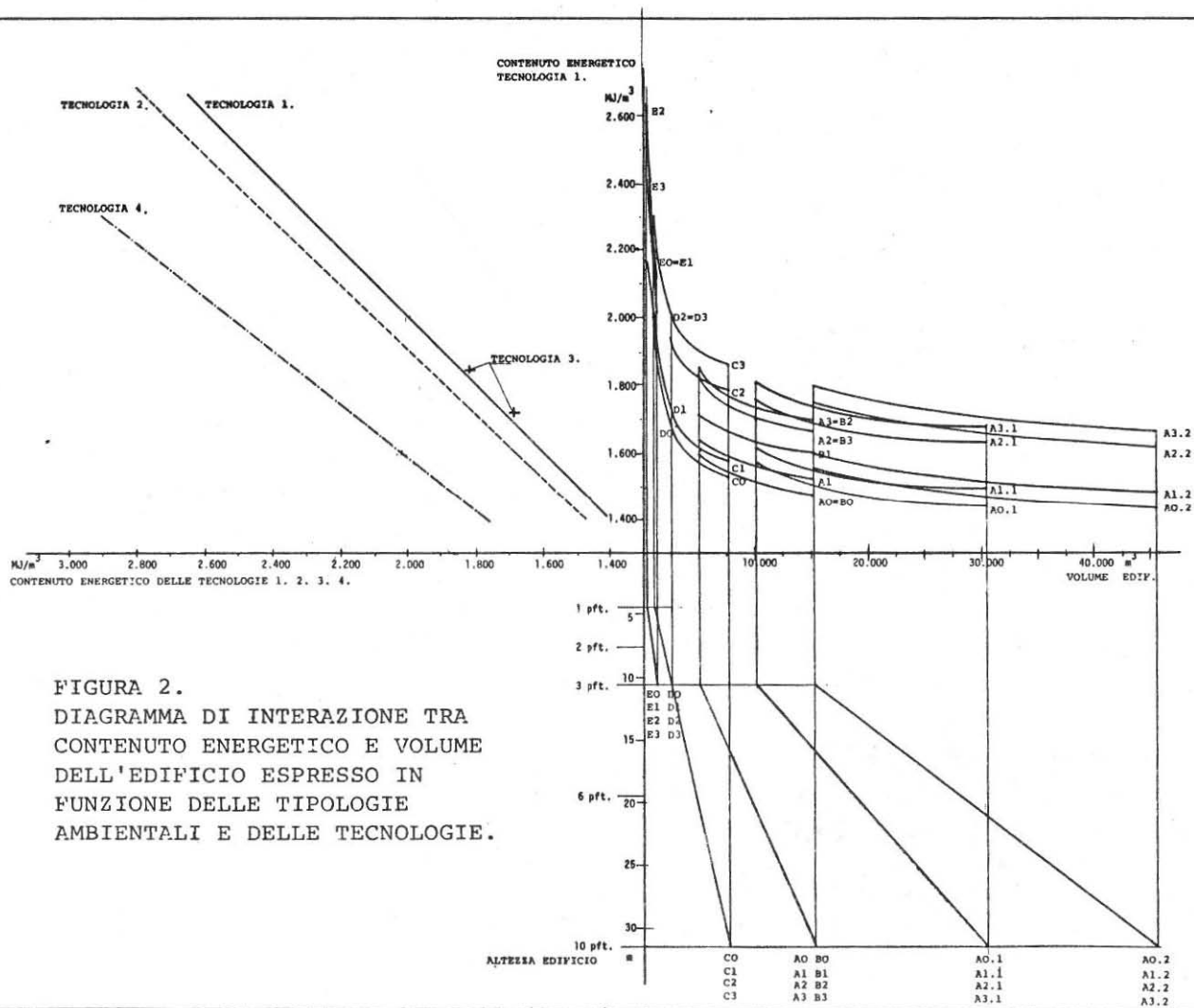
TECNOLOGIA 3. ○

TECNOLOGIA 4. ▢

1 2 3 6 10

FIGURA 1. CONFRONTO TRA I CONTENUTI ENERGETICI DELLE TECNOLOGIE  
ESPRESSE IN FUNZIONE DELLE TIPOLOGIE AMBIENTALI E DEL  
NUMERO DI PIANI DEGLI EDIFICI.

TIPOLOGIE  
N. PIANI





### 3. ALLESTIMENTO DI PROFILI DI QUALITÀ PER LA CORRELAZIONE TRA CONTENUTI ENERGETICI E LIVELLI PRESTAZIONALI DEI COMPONENTI.

Come preannunciato in premessa, si vogliono ora illustrare i risultati di ulteriori ricerche incentrate su un approfondimento della nozione di peso energetico equivalente.

Tale parametro che, come si è detto, correla il contenuto energetico alle prestazioni dell'oggetto edilizio, può essere concettualmente esteso ed approfondito ricercando l'equivalenza tra "sistemi di prestazioni" determinanti la qualità del prodotto finale, anziché l'equivalenza tra le singole prestazioni. Due prodotti edilizi avrebbero quindi peso energetico equivalente quando, a fronte di livelli di prestazione appartenenti alla medesima fascia di accettabilità (in quanto strutturati in relazione agli obiettivi del contesto d'intervento), presentano gli stessi ordini di grandezza del contenuto energetico.

In questo ambito le elaborazioni sono state orientate sull'analisi dei dispendi energetici di un repertorio di soluzioni tecnologiche di chiusure esterne verticali (vedere fig. 3) caratterizzate per materiali e per procedimenti costruttivi adottati, individuando nel contempo un insieme di prestazioni in grado di valutare il "profilo di qualità" di ognuno degli elementi:

- a) tenuta all'aria,
- b) regolabilità del passaggio dell'aria,
- c) regolabilità del passaggio della luce e dell'energia solare,
- d) tenuta delle acque meteoriche,
- e) isolamento termico in regime stazionario,
- f) isolamento termico in regime variabile,
- g) limitazione delle condensazioni,
- h) limitazione della propagazione d'incendio,
- i) infiammabilità,
- l) limitazione della nocività delle emissioni in caso d'incendio,
- m) isolamento acustico.

Una prima serie di risultati può essere sintetizzata in fig. 3 in cui compare una graduatoria delle soluzioni di chiusura esterna del repertorio esaminato organizzata secondo contenuti energetici crescenti e rapportata ad una quantificazione puntuale delle prestazioni di natura igrotermica, vale a dire, "isolamento termico in regime stazionario", "isolamento termico in regime variabile" e "limitazione delle condensazioni", alle quali sono stati rispettivamente attribuiti i seguenti parametri di misura:

- resistenza termica (R) (in  $\text{m}^2\text{°C/W}$ ),
- costante di tempo termica (TTC) (in ore),
- possibilità di formazione di condensazione nella massa relativamente al caso di situazioni limite di progetto.

Dalla lettura di fig. 3, pur considerando l'incompletezza del quadro prestazionale, si possono tuttavia trarre notevoli indicazioni:

- a) i contenuti energetici del repertorio di pareti esterne variano da un minimo di  $255 \text{ MJ/m}^2$  ad un massimo di  $1.382 \text{ MJ/m}^2$ , con la presenza di una fascia intermedia di valori abbastanza livella-

FIGURA 3.

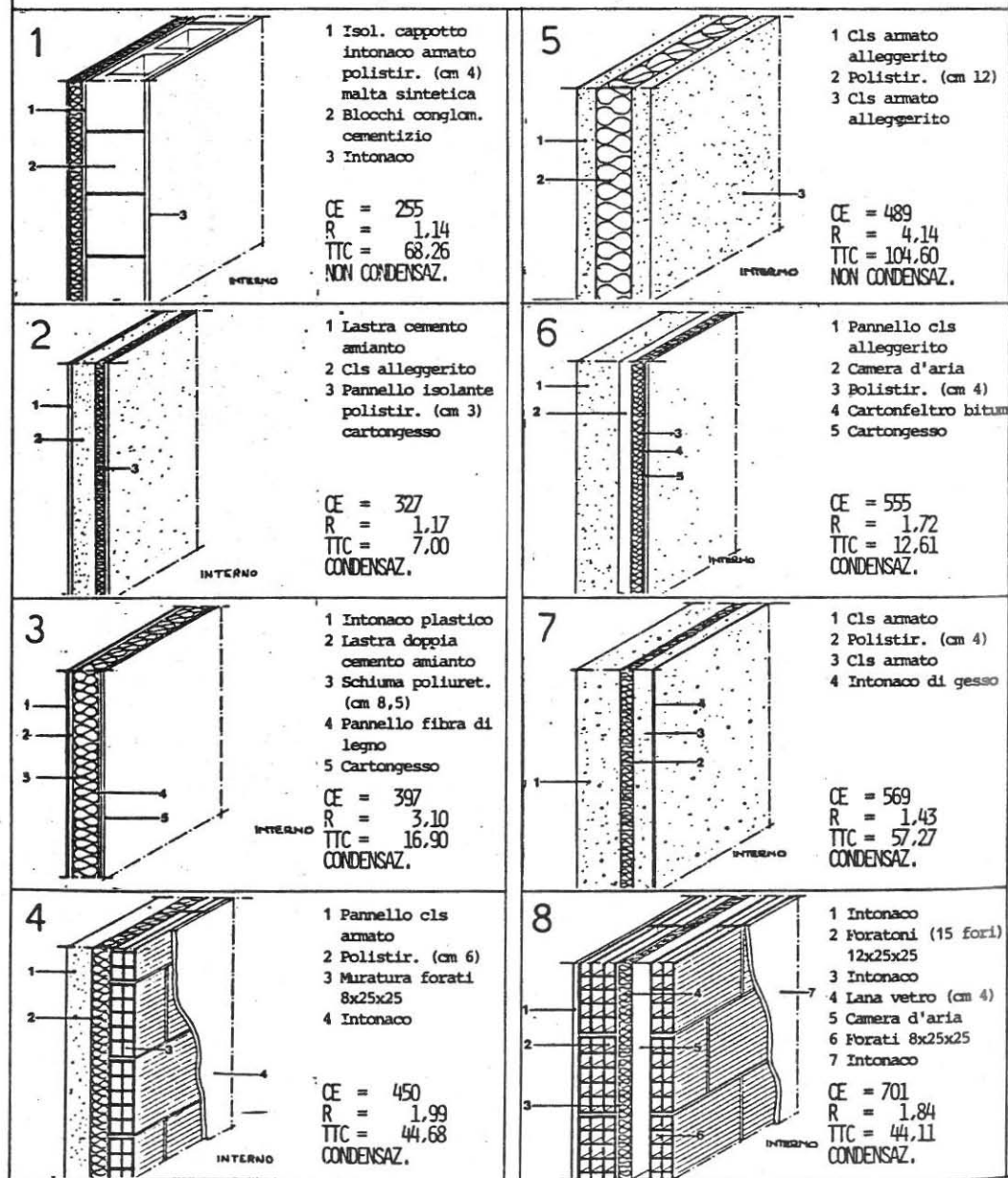
REPERTORIO DI SOLUZIONI TECNOLOGICHE DI CHIUSURE ESTERNE VERTICALI:  
CORRELAZIONE TRA CONTENUTI ENERGETICI E PRESTAZIONI IGROTHERMICHE OFFERTE.

CE = Contenuto energetico ( $\text{MJ}/\text{m}^2$  di chiusura esterna verticale).

R = Resistenza termica ( $\text{m}^2\text{C}/\text{W}$ ).

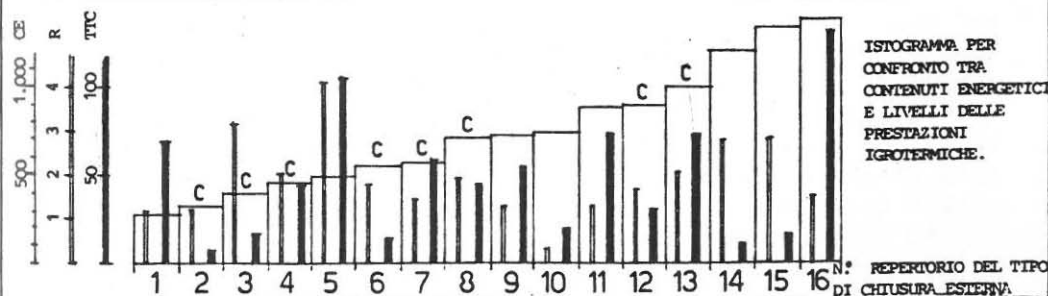
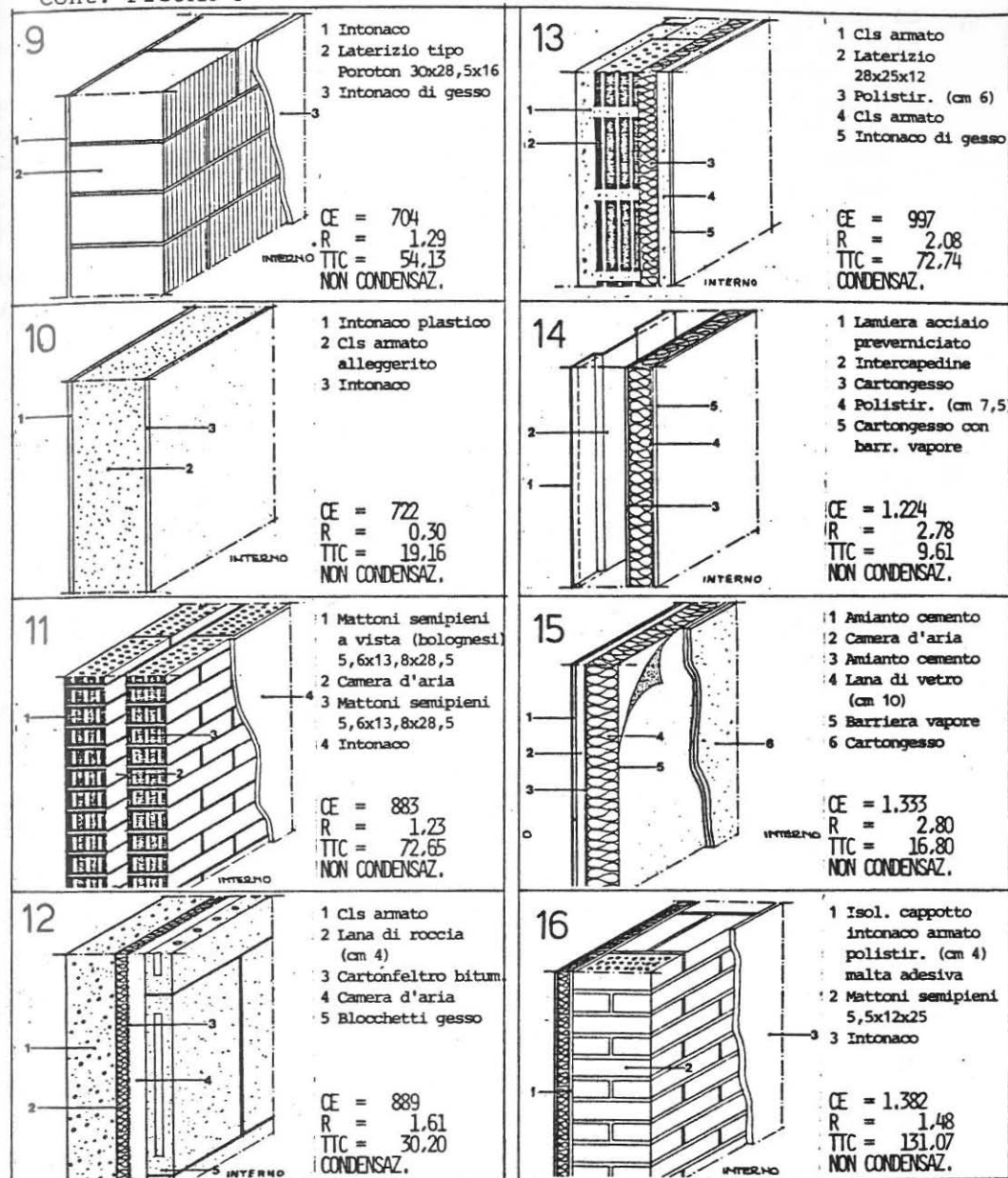
TTC = Costante di tempo termica (ore).

CONDENSAZ. = Possibilità di formazione di condensa nella massa  
relativa a condizioni limite di progetto (C).



Cont.

Cont. FIGURA 3



ti (da 701 a 889 MJ/m<sup>2</sup>) alla quale appartengono tre soluzioni tipiche di murature di laterizio largamente impiegate nell'edilizia abitativa :

- muratura a cassa vuota costituita da parete esterna di foratoni (15 fori) e da una parete interna di forati con interposizione di uno strato di materiale coibente nella camera d'aria (soluzione n. 8 del repertorio con CE = 701 MJ/m<sup>2</sup>),
- muratura di blocchi in laterizio tipo POROTON (soluzione N. 9 del repertorio con CE = 704 MJ/m<sup>2</sup>),
- muratura a cassa vuota con paramento esterno di mattoni semipieni a faccia vista e paramento interno in mattoni semipieni normali (soluzione n. 11 del repertorio con CE = 883 MJ/m<sup>2</sup>);

b) non esiste alcuna proporzionalità o alcun rapporto lineare tra i contenuti energetici ed i livelli prestazionali igrotermici offerti dalle soluzioni del repertorio esaminato (come si può agevolmente osservare dall'istogramma della fig. 3);

c) l'allestimento dei profili di qualità, sintetizzato nell'istogramma citato, permette inoltre di fornire un notevole supporto operativo alle fasi del processo decisionale.

Il progettista può, infatti, scegliere, in relazione ad un contenuto energetico massimo imposto, le soluzioni di parete esterna dotate di miglior livello prestazionale oppure, in relazione ad una fascia di accettabilità del livello prestazionale, le soluzioni caratterizzate da un minor dispendio energetico.

Il produttore può, invece, evidenziare eventuali possibilità di sub-ottimizzazione dei suoi prodotti rispetto ad istanze di risparmio energetico (come, ad esempio, avviene per i laterizi in cui ad un aumento della percentuale di foratura dei formati corrisponde, in genere, una leggera diminuzione del contenuto energetico ed un incremento dell'isolamento termico).

d) il contenuto energetico degli edifici realizzati tramite i procedimenti costruttivi tradizionali a matrice eminentemente laterizia, Tecnologia 1, (procedimenti per i quali, al capitolo precedente, si è rilevato un minor dispendio energetico) potrebbe subire una ulteriore riduzione nel caso si ipotizzi l'applicazione di una delle soluzioni di muratura esterna a cassa vuota indicate con il numero 8 (CE = 701 MJ/m<sup>2</sup>) e con il numero 11 (CE = 883 MJ/m<sup>2</sup>) nel repertorio di fig. 3, anziché la soluzione ipotizzata in precedenza nella Tecnologia 1 (CE = 1.167 MJ/m<sup>2</sup>).

A conclusione della relazione si vuole accennare che la ricerca si sta attualmente occupando dell'analisi delle "energie indirette" concernenti, come si è detto, l'ammortamento degli impianti, la mano d'opera, l'incidenza del settore terziario ed il trasporto, nonché dell'individuazione delle energie disperse nella manutenzione. Su questo tema si ritiene possibile creare delle curve di correlazione in grado di definire "coefficienti di previsione" dell'ordine di grandezza delle energie indirette dissipate in funzione di quelle dirette e del grado di complessità dell'oggetto edilizio.

La definizione puntuale di questa procedura, attualmente in corso di elaborazione, verrà presentata durante il Congresso.

---

Le ricerche richiamate e condotte nell'ambito del Progetto Finalizzato Energetica del CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE (CNR) Sottoprogetto "Ricerche nel campo della Normativa" sono state svolte dalle seguenti Unità di Ricerca:

R.D.B. S.p.a. - Piacenza, Italia

AIRE - Associazione Italiana per la promozione degli studi e delle ricerche per l'edilizia Milano, Italia

ICIE - Istituto Cooperativo per l'Industrializzazione Edilizia, Bologna, Italia

UNI - ENTE NAZIONALE di UNIFICAZIONE Milano, Italia

Responsabile del Sottoprogetto: dott. G. Pilato

Coordinatore delle ricerche: prof. Ing. P. N. Maggi.