

Un metodo per la valutazione del comportamento termico in regime dinamico degli edifici

Parte prima:
Formulazione

Dall'interesse internazionale che ormai da anni si dedica al problema energetico nel settore edilizio sia in ambito tecnico-professionale che scientifico e normativo [1], anche alla luce delle indicazioni del Quarto Rapporto dell'IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change [2]) sul potenziale del settore edilizio in termini di mitigazione delle emissioni di gas serra, emerge la necessità di considerare la progettazione globale ed integrata come l'unica possibile, finalizzata all'ottimizzazione dell'efficienza energetica del complesso-edificio [3]. Si sviluppa quindi la necessità di acquisire competenze che riguardino il comportamento dell'edificio integrando i vari differenti aspetti che interagiscono con la problematica, quali ad esempio: la configurazione architettonica, le soluzioni tecniche di involucro opaco e trasparente, i materiali adottati, le strategie tecnologico-impiantistiche, tutti elementi da valutare tanto in regime invernale quanto in quello estivo, prendendo in considerazione forzanti climatiche ragionevolmente assimilabili alla situazione reale di progetto [4].

Per tutti i suddetti motivi questo studio si concentra sull'elaborazione di un metodo che sia esaustivo nell'esprimere la performance termica globale dell'edificio. Il prodotto finale derivante dall'applicazione della metodologia proposta consiste quindi nella definizione dei livelli di prestazione termo-energetica degli edifici mediante parametri adimensionali, in grado di rappresentare quindi anche utili valori di riferimento per definire criteri guida utili sia per la progettazione ex novo dei fabbricati, sia per la diagnosi energetica sull'esistente, cercando di colmare l'ormai inutile, oltre che dannoso, divario creatosi fra il lavoro progettuale e quello scientifico nel settore energetico dell'edilizia [5]. In questa prima parte del lavoro viene quindi descritta nel dettaglio la procedura di calcolo che ha guidato le analisi termo-energetiche su base stagionale ed annua, per poi discutere i risultati ottenuti dall'applicazione su tre edifici residenziali unifamiliari (Parte II), confrontati appunto sulla base della metodologia proposta. Viene infine confrontato (Parte II) l'indice di performance sintetico con altri criteri di analisi delle prestazioni degli edifici correntemente utilizzati in ambito scientifico e professionale.

L'analisi termoenergetica in regime dinamico degli edifici e l'ottimizzazione delle prestazioni su base annuale assume ormai un ruolo consolidato e fondamentale. In questo lavoro, composto di due parti, viene proposto un metodo sintetico ed al contempo esaustivo per l'analisi del comportamento termico in regime dinamico degli edifici, basato sulla definizione dei livelli di performance attraverso opportuni indici normalizzati caratteristici dell'edificio in relazione al contesto climatico. Esempi di applicazione verranno discussi nella seconda parte della memoria.

Descrizione del metodo

Il metodo proposto trae origine dall'analisi in regime dinamico dell'edificio sottoposto a condizioni climatiche reali. Le fasi di cui tale metodologia si compone possono essere così sintetizzate:

- analisi preliminare del problema e taratura dell'iter metodologico sulla base degli obiettivi da perseguire;
- modellazione degli edifici in ambiente di simulazione dinamica;
- valutazione dei primi risultati qualitativi e quantitativi riguardanti alcuni elementi di analisi preliminare, quali: i bilanci termici di involucro, gli andamenti giornalieri della temperatura interna, dai quali in fase iniziale già si evincono importanti indicazioni sul comportamento termico dei fabbricati al variare della configurazione architettonica [6], sull'efficacia di eventuali interventi migliorativi ecc.;
- sintesi delle prestazioni degli edifici reali e delle possibili soluzioni di intervento mediante Indici di Deviazione Termica caratteristici degli edifici o delle zone termiche ($IDT_{edificio}$);
- valutazione del comportamento del sistema edificio-contesto climatico attraverso la definizione di Indici di

Prof. Franco Cotana,
ing. Anna Laura Pisello,
CRB-Biomass Research Centre,
Università di Perugia.

ENGLISH

abstract

A Method to Evaluate the Building Thermal Dynamic Behavior Part I: Formulation. The thermal and energy dynamic analysis of buildings and performance optimization strategies both in summer and winter periods became well-established and also fundamental. In this paper, composed of two parts, a synthetic but also exhaustive method for thermal dynamic behavior analysis of buildings is proposed. It is based on performance levels assignment, defined by proper adimensional indexes that allow to express the building behavior in relation to the real climatic contest. Application examples are discussed in the second part of this work.

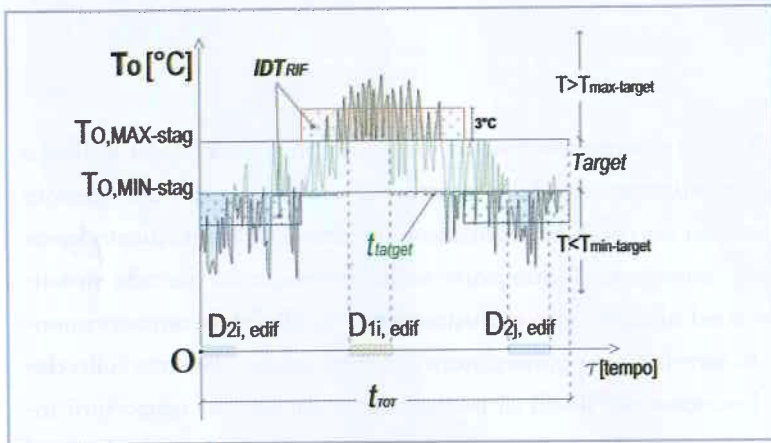


FIGURA 1
Rappresentazione schematica del significato dell'IDT edif definito in Eq. (1) e degli IDT_RIF definiti nelle Eq. (4), (5)

Deviazione Termica caratteristici delle strutture in relazione al sito di edificazione od del clima in cui si vuole studiare il problema ($IDT_{edif-sito}$);
- analisi dei risultati con conseguente classificazione dei livelli di prestazione delle varie configurazioni confrontate sulla base della metodologia proposta; tale momento può inoltre guidare verso l'eventuale elaborazione di strategie di intervento finalizzate all'ottimizzazione dell'efficienza energetica dei fabbricati.

Indice di Deviazione Termica caratteristico degli edifici: IDTedificio

La fase centrale del procedimento consiste nell'analisi dinamica su base stagionale e annua, i cui risultati vengono sintetizzati mediante un Indice normalizzato di Deviazione Termica ($IDT_{edificio}$) che valuta sia l'intensità che la frequenza dello scostamento del parametro di controllo (temperatura operativa di ciascuna zona termica interna) rispetto a dei range termici-obiettivo, chiaramente differenziati per stagione, espressi in termini di intervalli di temperatura operativa interna degli ambienti, per i quali in questo studio si fa riferimento alla norma UNI EN 15251 ([7]). Tale indice è espresso come segue:

$$IDT_{edificio, stag} = \frac{\int_{D_{1-edif}} [f(T_{O-in}) - T_{O,MAX-stag}] dt + \int_{D_{2-edif}} [T_{O,MIN-stag} - f(T_{O-in})] dt}{IDT_{RIF, stag}} \cdot \frac{t_{TOT-stag} - t_{Target-edif,stag}}{t_{TOT-stag}} \quad [-] \quad (1)$$

In cui:

T_{O-in} è la temperatura operativa interna agli ambienti, che costituisce il parametro di controllo del microclima interno. $T_{O,MAX-stag}$ è la temperatura operativa massima del range termico-obiettivo (26 °C e 25 °C, rispettivamente per il regime estivo ed invernale, [8]).

$T_{O,MIN-stag}$ è la temperatura operativa minima del range termico-obiettivo (23 °C e 20 °C, rispettivamente per il regime estivo ed invernale, [8]).

$t_{TOT, stag}$ e $t_{TOT, anno}$ sono rispettivamente i periodi stagionale ed annuo in cui si effettua l'analisi.

$t_{target-edif, stag}$ è il periodo in cui la temperatura operativa interna della zona termica si trova all'interno del target termico che costituisce l'obiettivo stagionale ($T_{obiettivo}=23-26$ °C per il periodo estivo, $T_{obiettivo}=20-25$ °C per il periodo invernale, [8]).

D_{1-edif} e D_{2-edif} sono i domini di integrazione in Eq. (1). Essi rappresentano i periodi di tempo in cui il parametro di controllo dell'edificio (o della zona termica) T_{O-in} si trova all'interno del $T_{obiettivo}$, e risultano così definiti:

$$D_{1-edif} = \{ \tau \in [0, t_{TOT,stag}] : f(T_{O-in}) \geq T_{O,MAX-stag} \} \quad (2)$$

$$D_{2-edif} = \{ \tau \in [0, t_{TOT,stag}] : f(T_{O-in}) \leq T_{O,MIN-stag} \} \quad (3)$$

Sulla base dell'Eq. 1, tale indice normalizzato è quindi espresso analiticamente dal prodotto fra due termini. Il primo fattore esprime il rapporto fra la somma delle aree sottese dalla temperatura operativa rilevata all'interno delle zone termiche rispetto ai limiti del $T_{obiettivo}$, ed un IDT_{RIF} di riferimento, che può essere calcolato su base stagionale od annua, in funzione della tipologia di analisi, come segue:

$$IDT_{RIF, estivo} = \int_{t_{stag-estivo}} [(T_{O,MAX-stag} + 3) - T_{O,MAX-stag}] d\tau = 3 \cdot t_{stag-estivo} \quad [^{\circ}C \cdot h] \quad (4)$$

$$IDT_{RIF, invernale} = \int_{t_{stag-invernale}} [T_{O,MIN-stag} - (T_{O,MIN-stag} - 3)] d\tau = 3 \cdot t_{stag-invernale} \quad [^{\circ}C \cdot h] \quad (5)$$

$IDT_{RIF, stag}$ rappresenta un caso di riferimento arbitrario rispetto al quale viene rapportata la deviazione termica dal $T_{obiettivo}$. Esso esprime uno scenario teorico in cui la temperatura operativa dell'ambiente interno assume costantemente il valore al di sopra od al di sotto di 3 °C ri-

spetto al T -target, rispettivamente per il caso estivo ed invernale (Figura 1). Il secondo fattore in Eq. (1) costituisce un termine di pesatura, compreso fra 0 ed 1, che tiene conto della frequenza dello scostamento della temperatura operativa interna rilevata rispetto al target termico di riferimento, penalizzando le strutture che si discostano dal T -target stagionale più frequentemente.

Un valore quindi di IDT_{edif} nullo indica la performance da raggiungere: si verifica infatti quando l'edificio, o la zona termica, si trova all'interno del target termico di riferimento per l'intero periodo di analisi: mensile, stagionale od annuale che sia. Tanto maggiore è invece il valore di IDT_{edif} tanto l'edificio analizzato registra condizioni termiche interne lontane dall'obiettivo stagionale di progetto. In particolare, tenendo conto che il secondo fattore è sempre compreso fra 0 ed 1, ad un valore di IDT_{edif} maggiore dell'unità, corrispondono storie di temperatura operativa complessivamente più lontane dal T -target rispetto allo scenario di riferimento, che sostanzialmente è caratterizzato da un valore di T_O costante ed al di fuori del T -obiettivo di 3 °C in entrambe le stagioni. Ad esempio, prendendo in considerazione alcuni casi notevoli per evidenziare il significato dell' $IDT_{edificio}$ (Figura 2), un edificio (od una zona termica) che si trovi per l'intero periodo di analisi ad una temperatura costantemente maggiore (o minore) di 1 °C rispetto al target termico avrà un $IDT_{edificio}$ pari a 0,33. Se la stessa condizione di temperatura, 19 °C costante in inverno e 27 °C in estate, si realizza per il 50% del periodo complessivo di analisi mantenendosi all'interno del target termico per la restante metà del tempo, si avrà un $IDT_{edificio}$ pari a 0,17. Prendendo ora ad esempio in considerazione la stagione invernale, un profilo termico interno con andamento sinusoidale avente periodo giornaliero, ampiezza di oscillazione pari a 6 °C attorno al minimo valore del T -obiettivo (20 °C) ha un $IDT_{edificio-stag}$ pari a 0,34. Se l'ampiezza di oscillazione cresce a 8 °C il valore raggiunge 0,52.

**Indice di Deviazione Termica
caratteristico dell'edificio in relazione
al contesto climatico: $IDT_{edif-sito}$**

La metodologia proposta consta ora di un'importante fase di analisi del contesto climatico del sito di edificazione, che consentirà di valutare le prestazioni degli edifici in relazione allo specifico contesto climatico in cui si studia il problema od in cui il fabbricato realmente si trova, nel caso di applicazione del metodo all'ambiente costruito. Tale fase della procedura è finalizzata infatti alla definizione di un indice complesso $IDT_{edificio-sito}$ che permetterà di valutare il livello di performance della struttura normalizzando il comportamento termico dinamico dell'edificio rispetto alla forzante climatica. In pratica rapportare l' IDT riferito all'edificio rispetto ad un indice rappresentativo della gravosità del contesto climatico permetterà di evitare frainten-

Configurazione	1	2	0
Rapporto S/V	1,16	1,13	1,11
S tot lorda [m ²]	110,3	107,5	111,8
S zona giorno [m ²]	44,9	43,7	50,9
Parete esterna	77,7	60,9	106,2
Soffitto	44,9	43,7	0
Pavimento controterra	44,9	43,7	50,9
Superficie finestrata	19,0	19	19,0
S zona notte [m ²]	56,9	56,8	50,9
Parete esterna	88,5	68,5	106,2
Soffitto	56,9	56,8	50,9
Pavimento controterra	56,9	56,8	0
Superficie finestrata	11,4	11,4	11,4
S zona distribuzione [m ²]	8,5	7,0	10,006

◀ **TABELLA 1A**
Proprietà geometriche degli edifici

TABELLA 1B
Caratterizzazione dell'involucro opaco ▼

Composizione delle stratigrafie (Esterno-Interno)		Chiusura verticale	
Tipo A: capacitiva	[cm]	Tipo B: leggera	[cm]
Spessore totale	47	Spessore totale	49
Pietra	10	Pittura	0,5
Intonaco denso	2	Intonaco isolante	2
Isolante EPS	12	Isolante EPS	7
Intonaco denso	2	Blocco cls aerato	19
Blocco cls	20	Intonaco	2
intonaco di gesso	1	Blocco cls aerato	19
		Intonaco di gesso	1
$CtA=210 \text{ kJ/m}^2\text{K}$		$CtB=60 \text{ kJ/m}^2\text{K}$	
$UA=UB=0,202 \text{ W/m}^2 \text{ K}$			

Chiusura orizzontale superiore (Esterno-Interno)			
Tipo A: capacitiva	[cm]	Tipo B: leggera	[cm]
Sp. tot	51	Sp. tot	20
Terriccio	10	Pittura	0,5
Ghiaia e sottostruttura	10	Fibra vetro-membrana bitume	1
Aria	3	Isolante EPS	15
Impermeabil. + Isolante PU	8	Aria e sottostruttura	3
Blocco Cls aerato	19	Intonaco	1
Intonaco di gesso	1		
$CtA = 167 \text{ kJ/m}^2 \text{ K}$		$CtB = 44 \text{ kJ/m}^2 \text{ K}$	
$UA = UB = 0,203 \text{ W/m}^2 \text{ K}$			

Chiusura orizzontale inferiore contro terra (Esterno-Interno)			
Tipo A: capacitiva	[cm]	Tipo B: leggera	[cm]
Sp. tot	51,5	Sp. tot	35,6
Vespaio aerato - sottostruttura	30	Vespaio aerato - sottostruttura	30
Solaio con blocchi Cls	30	Solaio a blocchi (Poliespanso)	20
Isolante	10	Isolante	14
Massetto Cls	10	Collante	0,5
Collante	0,5	Pavimento (bassa densità)	1
Pavimento (alta densità)	1		
$CtA = 208 \text{ kJ/m}^2 \text{ K}$		$CtB = 56 \text{ kJ/m}^2 \text{ K}$	
$UA = UB = 0,230 \text{ W/m}^2 \text{ K}$			

Proprietà ottico-energetiche superficiali
Copertura: atermica=0,9; asolare=avisibile=0,6
Parete perimetrale opaca: atermica=0,9; asolare=avisibile=0,5

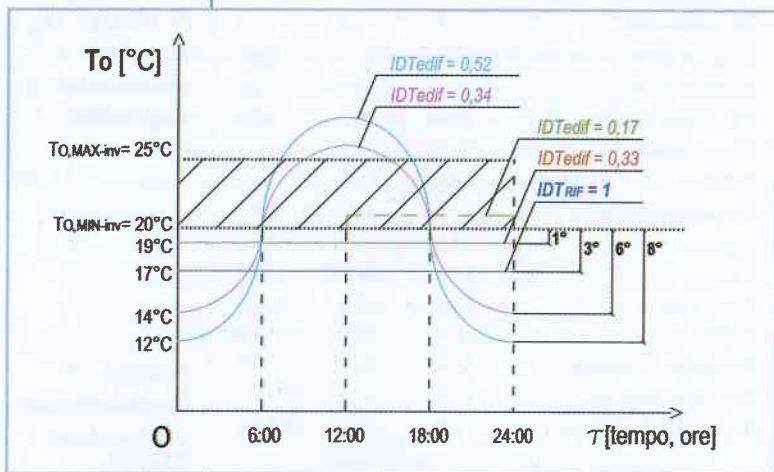


FIGURA 2
Profili termici giornalieri di alcuni casi notevoli (giornata tipo invernale)

dimenti che comunemente avvengono quando ad esempio un fabbricato viene considerato intrinsecamente più efficiente di un altro, ad esempio sulla base di un fabbisogno di energia primaria minore, quando in realtà potrebbe presentare appunto un minore fabbisogno energetico poiché si trova a dover fronteggiare condizioni climatiche più miti. Si valutano quindi le forzanti climatiche, mediante un apposito Indice di Deviazione Termica caratteristico del sito IDT_{sito} , per quantificare le criticità che andranno affrontate attraverso mirati interventi di ottimizzazione delle prestazioni, ciascuno dei quali potrà essere identificato mediante un valore di performance espresso dall'indice di Deviazione Termica $IDT_{edificio}$ proposto.

Per analizzare questo aspetto applicativo, lo studio condotto nella Parte II del presente lavoro, metterà in evidenza i vari comportamenti di edifici residenziali anche al variare del contesto climatico di riferimento. Verranno infatti presi in considerazione tre differenti tipologie climatiche significative della penisola italiana, riferiti alle città di Palermo, Perugia e Bolzano, le cui criticità verranno sintetizzate mediante IDT_{sito} su base stagionale o annua (Figura 3). L'indice sintetico IDT_{sito} , espresso in $[°C \cdot h]$ si calcola pertanto come segue:

In cui:

$T_{aria,sole-sito}$ è la temperatura aria-sole del sito calcolata rispetto ad una superficie orizzontale di riferimento.

$T_{MAX,stag,sito}$ e $T_{MIN,stag,sito}$ sono gli estremi degli intervalli stagionali di temperatura aria-sole del sito presi come valori di riferimento. L'intervallo di temperatura che circoscrivono è, rispetto a quello caratteristico degli ambienti interni riferito alla temperatura operativa, più ampio di 3 °C verso le temperature maggiori e verso quelle minori. In tal modo si ricava:

$$T_{MAX,estivo,sito} = 26 °C + 3 °C = 29 °C$$

$$e T_{MIN,estivo,sito} = 23 °C - 3 °C = 20 °C$$

$$T_{MAX,invernale,sito} = 25 °C + 3 °C = 28 °C$$

$$e T_{MIN,invernale,sito} = 20 °C - 3 °C = 17 °C.$$

Dai valori ottenuti degli indici relativi all'edificio $IDT_{edificio}$ (Eq. 1) e da quelli caratteristici del clima IDT_{sito} (Eq. 6), si può calcolare un indice completo espresso come $IDT_{edif-sito}$ (Eq. 7-8) in grado di definire la prestazione effettivamente riconducibile alle proprietà termo-energetiche del fabbricato analizzato.

Ciò permetterà, tenendo conto delle caratteristiche climatiche del sito di edificazione, di effettuare un'indagine sull'ambiente costruito; oppure sarà possibile attribuire già in fase di progetto un livello di performance dell'edificio modellato in ambiente di simulazione dinamica, anche al variare del contesto climatico in cui può essere collocato, chiaramente a parità di tutte le altre condizioni. In maniera analitica gli indici adimensionali $IDT_{edif-sito,stag}$ e $IDT_{edif-sito,anno}$ riferiti rispettivamente al periodo stagionale (Eq. 7) ed a quello annuale (Eq. 8), si definiscono come segue:

In cui:

D_1 e D_2 relativi al sito, sono i periodi di tempo in cui il parametro di controllo outdoor $T_{aria,sole-sito}$ è compreso nel $T_{aria,sole-obiettivo}$ del sito climatico preso in considerazione. Risultano pertanto così definiti:

$$IDT_{sito,stag} = \left\{ \int_{D_1-sito} [f(T_{aria,sole-sito}) - T_{MAX,stag,sito}] dt + \int_{D_2-sito} [T_{MIN,stag,sito} - f(T_{aria,sole-sito})] dt \right\} \cdot \frac{t_{TOT,stag} - t_{Target-sito,stag}}{t_{TOT,stag}} \quad [°C \cdot h] \quad (6)$$

$$IDT_{edif-sito,stag} = \frac{\left\{ \int_{D_1-edif} [f(T_{O,in}) - T_{O,MAX,stag}] dt + \int_{D_2-edif} [T_{O,MAX,stag} - f(T_{O,in})] dt \right\} \cdot \frac{t_{TOT,stag} - t_{Target-edif,stag}}{t_{TOT,stag}}}{\left\{ \int_{D_1-sito} [f(T_{aria,sole-sito}) - T_{MAX,stag,sito}] dt + \int_{D_2-sito} [T_{MIN,stag,sito} - f(T_{aria,sole-sito})] dt \right\} \cdot \frac{t_{TOT,stag} - t_{Target-sito,stag}}{t_{TOT,stag}}} \quad [-] \quad (7)$$

$$IDT_{edif-sito,anno} = \sum_i IDT_{edif-sito,stag-i} \cdot \frac{t_{stag-i}}{t_{TOT,anno}} \quad [-] \quad (8)$$

Un valore nullo degli indici presentati in Eq. (7) ed Eq. (8), come per l'indice $IDT_{edificio}$ in Eq. (1), rappresenta l'obiettivo di prestazione da raggiungere. Tanto più i valori di $IDT_{edif-sito}$ si discostano dallo zero, tanto più le condizioni termiche interne sono distanti dal target stagionale preso come riferimento. In questo modo viene elaborato un criterio semplice ed immediato di valutazione e sintesi dei risultati che può guidare l'analisi sia in fase progettuale che di diagnosi sull'esistente. Applicando tale metodologia ex ante in fase di concepimento dell'edificio, è pertanto possibile valutare e comparare l'efficacia di differenti strategie progettuali, soluzioni tecniche e tecnologiche ottimali, specificamente rapportate al sito climatico di interesse.

Conclusioni

In questo lavoro è stato presentato ed analizzato un metodo per la valutazione delle prestazioni termiche degli edifici mediante simulazione dinamica su base annuale, applicabile sia in fase di progettazione dell'edificio che in fase di diagnosi energetica ed individuazione dell'efficacia di possibili interventi di ottimizzazione delle prestazioni. È stata inoltre proposta una metodologia immediata di sintesi dei risultati attraverso Indici di Deviazione Termica normalizzati atti a definire le prestazioni termiche degli edifici in termini assoluti ($IDT_{edificio}$) e relativi al sito di edificazione ($IDT_{edif-sito}$). Percorrendo le fasi dell'iter proposto e determinando il valore di suddetti indici IDT_{edif} ed $IDT_{edif-sito}$, è possibile valutare l'attitudine di un edificio esistente a raggiungere gli obiettivi termici di riferimento rispetto al contesto climatico in cui si trova, individuare le criticità climatiche del luogo (IDT_{sito} su base stagionale, annua ecc.) per agire mediante interventi di ottimizzazione dell'efficienza specificamente mirati.

Si vuole quindi elaborare con questo lavoro un criterio-guida dell'analisi e della progettazione integrata degli edifici, che sia allo stesso tempo abbastanza immediato quanto rappresentativo delle prestazioni dei fabbricati su base annua, eliminando l'inutile e spesso fuorviante scorporo del problema fra regime invernale ed estivo. L'applicazione dell'iter metodologico proposto potrebbe pertanto fornire le direttrici essenziali per definire soluzioni progettuali concepite ad hoc per l'ottimizzazione delle prestazioni degli edifici situati in ogni specifico contesto climatico modellati in ambienti di simulazione dinamica. Si rimanda infine alla seconda parte della presente memoria in cui verranno confrontati, sulla base appunto della metodologia proposta, tre edifici residenziali unifamiliari con differente configurazione architettonica, varie soluzioni tecniche e tecnologiche di involucro, vari contesti climatici significativi del territorio italiano (Perugia, Palermo, Bolzano). Si procederà poi alla fondamentale fase di comparazione dei ri-

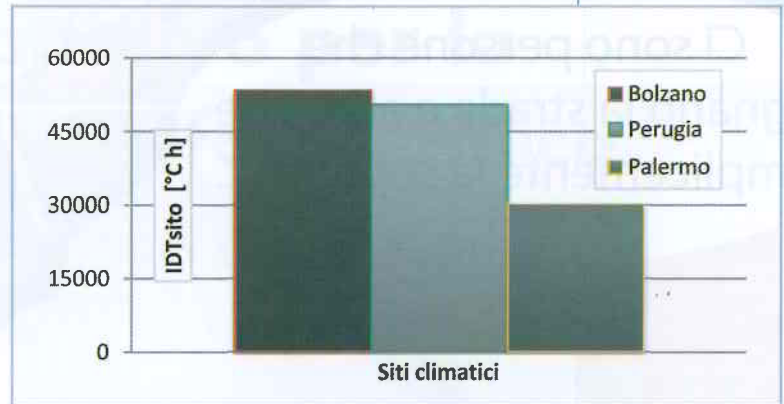


FIGURA 3
Valori di IDT_{site}
su base annua

sultati ottenuti ed espressi mediante gli indici sintetici proposti con le metodologie correntemente utilizzate per gli stessi scopi, sia a livello professionale che scientifico, mostrando appunto la confrontabilità dei risultati sia con i valori di fabbisogno di energia primaria (kWh/m^2 anno), che con l'indice di comfort termico calcolato secondo il modello adattivo che fa riferimento alla norma UNI EN 15251.

Bibliografia

- [1] Direttiva Europea 2002/91/CE (EPBD), *Rendimento energetico in edilizia*.
- [2] Climate Change 2007: *Mitigation of Climate Change*. Working Group III, IPCC, 2007.
- [3] Mohammad S. Al-Homoud, *Optimum Thermal Design of Air-Conditioned Residential Buildings*. No.3 Building and Environment, vol.32, pp. 203-210, 1997.
- [4] A. Roetzel, A. Tsangrassoulis, U. Dietrich, S. Busching, *On the influence of building design, occupants and heat waves on comfort and greenhouse gas emissions in naturally ventilated offices*. A study based on the EN 15251 adaptive thermal comfort model in Athens, Greece. Building Simulation, No.3, 2010, pp.87-103.
- [5] C. Biel de Souza e I.Knight, *Thermal simulation from an architectural design viewpoint*. Atti Building Simulation Conference, pp.87-94,2007.
- [6] F. Cotana e A.L. Pisello, *Sul comportamento termico di edifici residenziali al variare della configurazione architettonica*. Atti Congr. ATI 2010.
- [7] UNI EN 15251: Febbraio 2008 *Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics*.
- [8] UNI EN 15251: Febbraio 2008 *Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics*. Annex A, Table A.3, p.31.