

## IL CALCOLO DELLA PRESTAZIONE ENERGETICA DEGLI EDIFICI: CONFRONTO TRA I SOFTWARE PER LA CERTIFICAZIONE

P. Baggio<sup>1</sup>, F. Cappelletti<sup>2</sup>, A. Gasparella<sup>3</sup>, P. Romagnoni<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale, Università degli Studi di Trento, <sup>2</sup> Dipartimento di Costruzione dell'Architettura, Università IUAV di Venezia, <sup>3</sup> Dipartimento di Tecnica e Gestione dei Sistemi Industriali, Università degli Studi di Padova – Stradella S. Nicola, 3 - 36100 Vicenza

### SOMMARIO

Il recepimento della Direttiva Europea 2002/91/CE con il D. Lgs. 192/05 ha lasciato in parte aperta la questione della definizione di una metodologia di calcolo per la determinazione delle prestazioni energetiche degli edifici. Si tratta di una problematica particolarmente importante, dato che il risultato del calcolo non è utilizzato solamente per valutare il soddisfacimento dei requisiti prestazionali minimi, al cui scopo basterebbero anche approcci di tipo semplificato ancorché cautelativo, ma serve anche per consentire un confronto diretto delle prestazioni di edifici diversi.

In tal senso è indispensabile garantire che il raffronto possa essere impostato sulla base di algoritmi di calcolo omogenei, in modo che le differenze possano essere univocamente attribuite alle caratteristiche degli edifici e non alla modalità con cui queste sono valutate.

Per garantire tale uniformità le amministrazioni regionali e provinciali che si sono già impegnate nell'attuazione della Direttiva Europea hanno generalmente ritenuto indispensabile mettere a disposizione un unico strumento di calcolo obbligatorio da utilizzare sul proprio territorio. Sono quindi stati proposti specifici applicativi, quali ad esempio Casaclima, Ecodomus, Cened. A questi si affianca uno specifico software per la certificazione degli edifici esistenti, DOCET che dovrebbe rappresentare un termine di confronto su base nazionale.

Nel presente lavoro i software proposti sono stati utilizzati per valutare il fabbisogno di calore e il fabbisogno di energia primaria per il riscaldamento di un edificio standard nei contesti climatici di Como, Milano, Sondrio e Belluno, scelti come riferimento tra quelli rappresentativi delle condizioni del nord Italia. Sono state valutate diverse configurazioni per quanto riguarda le caratteristiche dell'involucro opaco, in considerazione della maggiore o minore correzione dei ponti termici, del livello di isolamento verso ambienti non riscaldati e verso il terreno e della presenza di elementi di ombreggiamento esterni. I risultati sono stati confrontati con quelli forniti dal software di simulazione dinamica TRNSYS.

### INTRODUZIONE

Il D.Lgs. 19 agosto 2005, n.192 [1] e le successive modifiche apportate con il D. Lgs. 29 dicembre 2006, n. 311, pongono dei limiti al fabbisogno annuo di energia primaria per la climatizzazione invernale di ogni nuovo edificio. L'allegato I, comma 16, del D. Lgs. 311/06 fornisce inoltre le indicazioni sul metodo di calcolo del Fabbisogno di Energia Primaria per la climatizzazione, il cui valore dovrà risultare "conforme alle migliori regole tecniche", ossia al risultato che si ottiene applicando la normativa UNI e CEN elencata nell'allegato M dello stesso decreto. L'applicazione di un metodo di calcolo semplificato ha senz'altro il vantaggio di limitare la quantità di dati richiesti e dunque di rendere più veloce l'esecuzione del calcolo, ma pone alcuni interrogativi sulla accuratezza del risultato. Risultati più affidabili possono essere raggiunti utilizzando modelli termici più sofisticati che operino in regime transitorio, simulando dettagliatamente gli scambi di calore, ma con una maggiore onerosità.

In alcuni casi la normativa può essere soggetta ad interpretazioni, sia per mancanza di inequivocabile chiarezza, sia per la presenza di approcci di calcolo alternativi. L'implementazione del metodo di calcolo su un supporto informatico evita, in tali circostanze, che i risultati possano essere condizionati da eventuali ambiguità interpretative. A ciò si aggiunge il fatto che il risultato del calcolo non viene

utilizzato solamente per valutare il soddisfacimento dei requisiti prestazionali minimi, ma serve anche per consentire un confronto diretto delle prestazioni di edifici diversi. In tal senso è indispensabile garantire che il raffronto avvenga sulla base di algoritmi di calcolo omogenei, in modo che le differenze possano essere univocamente attribuite alle caratteristiche degli edifici e non alla modalità con cui queste sono valutate.

Su base locale sono quindi stati proposti specifici applicativi, quali ad esempio Casaclima [2], Ecodomus [3], Cened [4], rispettivamente per la Provincia di Bolzano, la Provincia di Vicenza in coordinamento con le province del Veneto e la Regione Lombardia. A questi si affianca uno specifico software per la certificazione degli edifici esistenti, DOCET [5] che dovrebbe rappresentare un termine di confronto su base nazionale.

Nel presente lavoro i software citati sono stati utilizzati per valutare il fabbisogno di calore e il fabbisogno di energia primaria per il riscaldamento di un edificio standard nei contesti climatici di Como, Milano, Sondrio e Belluno, scelti come riferimento tra quelli rappresentativi delle condizioni del nord Italia.

Gli aspetti indagati dal confronto sono stati in particolare quelli relativi alla valutazione dei ponti termici, delle dispersioni attraverso gli ambienti non riscaldati o il terreno e dell'effetto di elementi di ombreggiamento esterno.

A questo scopo sono state valutate tre configurazioni per quanto riguarda le caratteristiche dell'involucro opaco, in considerazione della maggiore o minore correzione dei ponti termici, tre configurazioni per quanto riguarda il livello di isolamento verso ambienti non riscaldati e verso il terreno e infine due casi per valutare l'effetto degli elementi di ombreggiamento esterni.

I risultati ottenuti riguardo al fabbisogno di calore per riscaldamento sono stati confrontati con quelli forniti dal software di simulazione dinamica TRNSYS.

Il confronto del fabbisogno di energia primaria ha preso in esame la medesima configurazione impiantistica per tutti i software considerati.

## L'EDIFICIO

I software descritti sono stati utilizzati per stimare il fabbisogno di calore per il riscaldamento  $Q_h$  di un edificio tipo, costituito da un'unica unità abitativa di circa 115 m<sup>2</sup> riscaldati netti disposta su due piani come rappresentato nelle figg. 1 e 2. Il piano terra poggia in parte sul terreno e in parte su un interrato non riscaldato. Come il piano primo, anche parte del piano terra disperde verso l'esterno attraverso una copertura piana.

Per quanto riguarda le strutture opache (tab. 1), le pareti esterne verticali sono di due tipologie. La prima è costituita da un pacchetto con isolamento intermedio tra due spessori di laterizio porizzato e presenta una trasmittanza termica di 0,32 W/(m<sup>2</sup> K). Nella seconda il rivestimento esterno è realizzato in pietra a vista e la trasmittanza risulta di 0,35 W/(m<sup>2</sup> K). Le coperture e il solaio verso l'interrato non riscaldato sono isolati con 10 cm di isolamento. Per i solai contro terra sono previsti 5 cm di isolante. Per quanto riguarda i serramenti sono state considerate finestre ad una o due ante con telai in legno di larghezza 10 cm. La trasmittanza termica del telaio è di 1,7 W/(m<sup>2</sup> K) mentre quella del vetro (vetro camera standard) è di 1,3 W/(m<sup>2</sup> K). La trasmittanza solare normale considerata è di 0,70. In Ecodomus si è assunto un fattore di tendaggio pari a 0,95.

Per CENED è stata selezionata la tipologia edilizia "struttura con muri in mattoni forati o assimilabili", per CasaClima si è scelta l'opzione "costruzione media", per DOCET "muratura in mattoni o tufo"; tali opzioni vanno a condizionare la stima della capacità termica dell'edificio.

Il tasso di ventilazione è stato fissato a 0,3 ricambi orari per Ecodomus e CENED, mentre non è stato possibile modificare il valore di 0,5 assunto da CasaClima e da DOCET.

I dati climatici usati dai software si rifanno alla normativa UNI 10349. CasaClima fornisce un database di dati climatici stagionali per i capoluoghi di provincia calcolati a partire dai dati mensili della norma. Stante la possibilità di applicare CENED solo nelle province della Lombardia, il raffronto dei software è stato condotto sul clima di Como, Milano, Sondrio. È stato aggiunto il clima di Belluno, escludendo CENED dal confronto, come rappresentativo di località con più di 3000 GG.

Il confronto riguardo alla incidenza dei ponti termici ha considerato una configurazione base a ponti termici corretti, alla quale sono state affiancate una priva di ponti termici e una a ponti termici non corretti, particolarmente sfavorita, secondo quanto riportato nella tabella 2. L'analisi dettagliata dei ponti termici secondo la UNI EN 14683 è stata tuttavia possibile solo in Ecodomus e TRNSYS. CasaClima permette infatti di considerare solo ponti termici relativi a balconi e terrazze,

mentre in CENED le trasmittanze delle pareti esterne verticali vengono corrette con un fattori di maggiorazione rispettivamente del 0% (isolamento a cappotto senza aggetti e balconi), del 10% (isolamento nell'intercapedine con ponte corretto) o del 20% (isolamento nell'intercapedine con ponte non corretto).

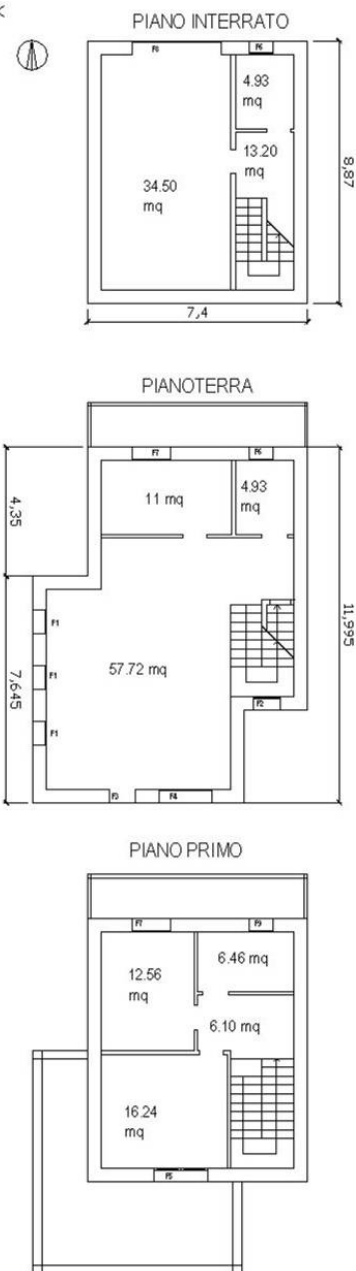


Figura 1 - Piante dell'edificio considerato nel confronto.

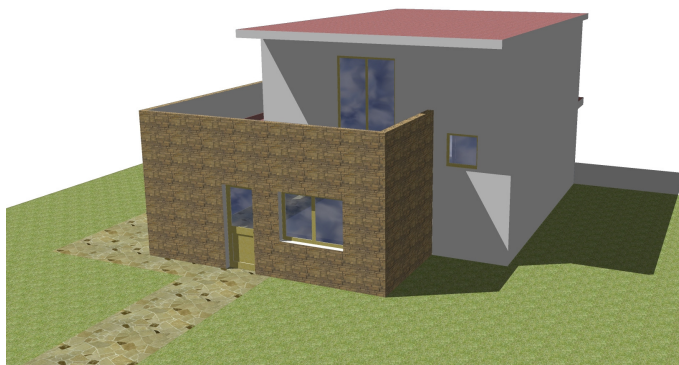


Figura 2 - Vista dell'edificio considerato nel confronto.

Tab. 1: Composizione e caratteristiche delle pareti opache.

	Spessore cm	Conduttività W/(m K)	Densità kg/m <sup>3</sup>	Calore sp. kJ/(kg K)
<b>Parete esterna in laterizio</b> U=0,32 W/(m <sup>2</sup> K)				
intonaco	1,5	0,70	1400	0,91
laterizio	25,0	0,20	1400	0,84
isolante	5,0	0,04	30	1,34
laterizio	8,0	0,20	1400	0,84
intonaco	2,0	0,90	1800	0,91
<b>Parete esterna rivestita in pietra</b> U=0,35 W/(m <sup>2</sup> K)				
intonaco	1,5	0,70	1400	0,91
laterizio	25,0	0,20	1400	0,84
isolante	5,0	0,04	30	1,34
aria	4,0			
pietra	5,0	2,30	2500	1,80
<b>Parete interna</b> U=3,09 W/(m <sup>2</sup> K)				
intonaco	1,5	0,70	1400	0,91
laterizio	8,0	0,72	1400	0,84
intonaco	1,5	0,70	1400	0,91
<b>Parete vano scale</b> U=0,47 W/(m <sup>2</sup> K)				
intonaco	1,5	0,70	1400	0,91
laterizio	8,0	0,20	1400	0,84
isolante	6,0	0,04	30	1,34
intonaco	1,5	0,70	1400	0,91
<b>Solaio su interrato</b> U=0,32 W/(m <sup>2</sup> K)				
pav, in legno	1,0	0,12	550	2,70
massetto	6,0	1,40	2000	0,88
isolante	10,0	0,04	30	1,34
soletta in cls	4,0	1,16	2000	0,92
laterizio	20,0	0,72	1800	0,84
intonaco	1,5	0,70	1400	0,91
<b>Solaio interpiano</b> U=1,59 W/(m <sup>2</sup> K)				
pav, in legno	1,0	0,12	550	2,70
massetto	6,0	1,40	2000	0,88
soletta in cls	4,0	1,16	2000	0,92
laterizio	20,0	0,72	1800	0,84
intonaco	1,5	0,70	1400	0,91
<b>Solaio su terrazza</b> U=0,29 W/(m <sup>2</sup> K)				
intonaco	1,5	0,70	1400	0,91
laterizio	20,0	0,72	1800	0,84
soletta in cls	4,0	1,16	2000	0,92
isolante	10,0	0,04	30	1,34
sottofondo	5,0	0,13	250	0,84
ceramica	1,5	1,00	2300	0,84
<b>Solaio di copertura</b> U=0,34 W/(m <sup>2</sup> K)				
laterizio	16,0	0,72	1800	0,84
soletta in cls	4,0	1,16	2000	0,92
isolante	10,0	0,04	50	0,97
impermeabile	0,4	0,23	1100	1,41
aria ventilata	8,0			
coppi	1,0	2,00	2700	0,84
<b>Solaio scale</b> U=0,36 W/(m <sup>2</sup> K)				
ceramica	1,5	1,00	2300	0,84
soletta cls	20,0	1,16	2000	0,92
isolante	10,0	0,04	50	0,97
intonaco	1,5	0,70	1400	0,91
<b>Parete interrato</b> U=0,34 W/(m <sup>2</sup> K)				
intonaco	1,5	0,70	1400	0,91
calcestruzzo	25,0	1,16	2000	0,92
isolante	10,0	0,04	30	1,34
<b>Solaio interrato</b> U=0,66 W/(m <sup>2</sup> K)				
piastrelle	1,5	1,00	550	0,80
massetto	6,0	1,40	2000	0,88
impermeabile	0,4	0,23	100	1,41
isolante	5,0	0,05	40	1,60
magrone	15,0	1,16	2000	0,92

Tab. 2: Coefficienti lineici e lunghezze dei ponti termici considerati in Ecodomus nei casi a ponti termici non corretti e a ponti termici corretti

Tipo UNI EN 14683	ISO	Caso con ponti termici non corretti		Caso con ponti termici corretti	
		da ambienti riscaldati	da ambienti non riscaldati	da ambienti riscaldati	da ambienti non risc.
		Ψ <sub>i</sub> (W/(m K))	l <sub>i</sub> (m)	l <sub>i</sub> (m)	l <sub>i</sub> (m)
R6	0,55	28,86			
R9	0,15	17,40		17,4	
B2	0,85	9,72	3,24		
C2	0,10	27,35	3,90	65,33	7,14
C6	-0,15	5,40			
F1	0,05			12,42	1,25
F5	0,65	12,42	1,25		
F6	0,70	17,22	3,24		
W8	0,60	59,20	14,00		

In DOCET si è potuto inserire solo il valore della trasmittanza termica delle strutture edilizie, ma non è prevista alcuna possibilità di indicazione della correzione o meno dei ponti termici.

Le dimensioni delle superfici disperdenti non sono computate allo stesso modo per i quattro software poiché ognuno di essi adotta convenzioni differenti. In particolare in Ecodomus vengono richieste le dimensioni interne nette ed è richiesta una completa descrizione sia degli ambienti riscaldati sia dei non riscaldati; in Cened sono richieste le superfici in pianta netta e lorda, mentre le superfici disperdenti (pareti e solai che delimitano il solo spazio riscaldato) sono computate sulla base delle dimensioni esterne (al lordo dei muri perimetrali); in Casaclima le dimensioni richieste sono esterne e quindi al lordo dei muri perimetrali; in DOCET le dimensioni sono calcolate a partire dalla superficie lorda del piano tipo, dal numero di piani, dall'altezza netta per piano e dalle dimensioni lineari in pianta delle pareti nelle diverse esposizioni.

I risultati del calcolo sono stati confrontati con quelli ottenuti con il software di simulazione TRNSYS, che consente di valutare il comportamento dinamico di sistemi energetici complessi, tra i quali anche gli edifici. Per questi ultimi si fa ricorso ad una specifica subroutine, la TYPE 56 Multizone Building, in grado di caratterizzare le prestazioni energetiche di un edificio e di dettagliare i risultati rispetto al numero di zone termiche richiesto dall'utente.

Nel caso esaminato si sono considerate due zone termiche – l'ambiente riscaldato e l'interrato.

L'approccio dinamico all'analisi richiede la disponibilità di dati climatici orari. Per garantire la coerenza con i dati della norma UNI 10349, impiegati dai software Ecodomus e CENED, è stata generata una serie oraria di dati di temperatura e radiazione con le medesime statistiche mensili, per mezzo della subroutine TYPE 54 Weather Data Generator di TRNSYS.

Tra le ipotesi assunte per la simulazione si consideri che:

- la definizione della composizione e le caratteristiche delle strutture è la stessa di quella impiegata in Ecodomus, anche se TRNSYS richiede di specificare il coefficiente di convezione alla superficie e non la resistenza superficiale complessiva

- la trattazione dei ponti termici prevede anche in TRNSYS il ricorso ai coefficienti lineici di dispersione, i cui valori sono stati scelti in conformità con quelli del calcolo Ecodomus

- le dispersioni verso il terreno sono state calcolate ipotizzando una temperatura del terreno al di sotto delle fondazioni fissa a 10°C

- le dispersioni dell'involucro nel campo dell'infrarosso sono valutate da TRNSYS sia per la quota rivolta alla volta celeste (una specifica subroutine, la TYPE 69 Fictive Sky Temperature, fornisce una temperatura fittizia per il cielo) sia per quella rivolta alle superfici circostanti

- il tasso di ventilazione è stato assunto costantemente pari a 0,3 volumi ora per l'ambiente riscaldato e a 0,5 per quello non riscaldato

- per i carichi interni è stato assunto un valore costante corrispondente a quello scelto per il calcolo Ecodomus e CENED, ripartito in quote convettiva e radiante uguali

- la stagione di riscaldamento è quella relativa alla zona climatica E (15 ottobre-15 aprile) per Como, Milano e Sondrio e alla zona F (5 ottobre-22 aprile) per Belluno; tuttavia, dato che Ecodomus e CENED considerano nel calcolo la temperatura media dell'intero mese anche per aprile e ottobre, il fabbisogno di aprile e quello di ottobre è assunto per TRNSYS rispettivamente pari ai 15/30 e ai 17/31 della somma dei fabbisogni di tutto il mese per la fascia E e a 22/30 e 27/30 per la fascia F.

## L'ANALISI

### L'incidenza dei ponti termici

Come descritto nel paragrafo precedente, l'incidenza sui risultati del calcolo di differenti configurazioni di ponte termico è stata analizzata considerando i seguenti casi:

a- Assenza di ponti termici: l'analisi è stata condotta con i diversi software senza conteggiare la presenza dei ponti termici o, come nel caso di CENED, azzerandone forzatamente l'effetto.

b- Ponti termici corretti (caso base): nel caso di Ecodomus e TRNSYS i ponti termici sono stati corretti attribuendoli alle configurazioni descritte nella seconda parte della precedente tabella 2; per CENED si è scelta la configurazione con la maggiorazione del 10% delle trasmittanze mentre per CasaClima ci si è nuovamente riferiti alla situazione di cui al caso a; il caso b rappresenta anche la situazione di partenza per valutare l'effetto delle dispersioni attraverso ambienti non riscaldati e attraverso il terreno.

c- Ponti termici non corretti: in Ecodomus e TRNSYS sono stati considerati tutti i ponti termici descritti nella prima parte della tabella 2; per CENED si è assunta una maggiorazione del 20%. Per CasaClima sono stati introdotti solamente i dati relativi alle lunghezze di ponte termico di balconi e terrazze ai quali sono stati associati i coefficienti lineici proposti dal software.

### Le dispersioni attraverso ambienti non riscaldati e attraverso il terreno

La valutazione dell'incidenza delle dispersioni a terreno e verso gli ambienti non riscaldati nei diversi software è stata fatta considerando tre diversi livelli di isolamento del solaio a terra e del solaio che separa il primo livello riscaldato (piano terra) dall'interrato. Le implementazioni sono state fatte a partire dalla configurazione con ponti termici corretti considerando i seguenti casi:

a- 5 cm di isolamento nel solaio verso non riscaldato e verso terreno, con valori di trasmittanza termica pari a 0,53 W/(m<sup>2</sup> K) per il solaio verso l'interrato, 0,64 W/(m<sup>2</sup> K) per il solaio delle scale e 0,57 W/(m<sup>2</sup> K) per il solaio a terra.

b- 10 cm di isolamento nel solaio verso non riscaldato [U = 0,32 W/(m<sup>2</sup> K) e U = 0,36 W/(m<sup>2</sup> K)] e 5 cm di isolamento nel solaio a terra; questo corrisponde al caso base.

c- 10 cm di isolamento in entrambi i solai.

La trasmittanza termica dei componenti è stata corretta in tutti i software, anche se la descrizione delle dimensioni dell'ambiente non riscaldato è stata possibile solo in Ecodomus e TRNSYS.

In CENED è stato specificato il tipo di ambiente confinante con il solaio, quindi "terreno" nel caso del solaio a terra e "garage" nel caso dell'ambiente non riscaldato; sulla base delle opzioni il software applica un fattore correttivo del coefficiente di dispersione termica pari a 0,6 per il terreno e 0,85 per il garage [6].

In DOCET si sono descritti due ambienti non riscaldati: garage con finestre/serramenti esterni e vano scale esterno con esposizione sud. La percentuale di solaio che confina con il garage è stata impostata pari al 75%, non potendo dare un'indicazione più precisa.

In CasaClima si è indicato un ambiente non riscaldato scegliendo l'opzione "solaio verso scantinato non riscaldato", al quale corrisponde un fattore di temperatura pari a 0,5.

### L'ombreggiamento delle superfici vetrate

A partire dalla configurazione con ponti termici corretti e con livelli di isolamento dei solai a terreno e verso ambienti non riscaldati del tipo b come descritto nel paragrafo precedente, si sono analizzati i seguenti casi:

a- Assenza di oggetti orizzontali o verticali.

b- Presenza di un oggetto orizzontale (sporgenza della copertura) sulla portafinestra esposta a Sud al piano primo. Considerando una sporgenza di 1,2 m che dista dal baricentro della finestra 1,55 m. è stato calcolato un fattore di ombreggiamento pari a 0,79. Tale fattore è stato inserito in Ecodomus nel foglio "Componenti vetrate".

In Cened il fattore di ombreggiamento, calcolato sulla base delle dimensioni dell'oggetto sopra indicate è risultato pari a 0,94.

In DOCET e in CasaClima è stata selezionata l'opzione "Aggetto orizzontale" senza dare altre indicazioni. In CasaClima ciò corrisponde ad imporre un ombreggiamento completo.

## I RISULTATI

Le figure da 3 a 5 e le tabelle da 5 a 7 riassumono i risultati che ciascun software ha fornito, in termini di fabbisogno di calore (Q<sub>h</sub>) e di fabbisogno di energia primaria (Q), nei casi considerati.

Riguardo ai fabbisogni di calore Q<sub>h</sub> i risultati sono piuttosto differenti. In tab. 3, è riportato il dettaglio delle voci relative alle dispersioni e agli apporti gratuiti che determinano il fabbisogno di calore Q<sub>h</sub> nel caso base (con ponti termici corretti) nel clima di Milano. Mentre le dispersioni per ventilazione sono corrispondenti in Ecodomus e Cened (dove n= 0,3 h<sup>-1</sup>), in CasaClima e DOCET (dove n= 0,5 h<sup>-1</sup>) risultano piuttosto diverse, probabilmente in conseguenza del metodo di definizione del volume dell'edificio. Anche i valori delle dispersioni per trasmissione risultano molto diversificati. Gli apporti gratuiti calcolati con CENED e Ecodomus sono ben

allineati, in particolare per quanto riguarda quelli interni che risultano coincidenti. Leggermente maggiore la stima di CENED per quanto riguarda quelli solari, probabilmente per l'effetto combinato dell'impiego di un fattore di telaio piuttosto basso (l'area di telaio effettiva nel caso considerato supera quasi sempre il 30%, mentre CENED di fatto lo assume pari al 13%) e per l'omissione del contributo di apporto/dispersione radiante sulle superfici opache. Sia CasaClima che DOCET sottostimano in modo rilevante sia gli apporti interni che gli apporti solari.

Anche nell'analisi dei diversi casi, si ritiene, come già evidenziato in [7], che le maggiori differenze (se si esclude DOCET) siano dovute alle dispersioni calcolate sulle dimensioni esterne invece che interne e dal differente approccio di calcolo dei ponti termici, in particolare di quelli di forma, che andrebbero considerati, eventualmente in detrazione, anche nel caso di impiego delle dimensioni esterne. Se questo non avviene le dispersioni possono risultare particolarmente sovrastimate specie nel caso di configurazioni curate come quella analizzata (tab. 5 e fig. 3). Nel caso in cui non siano corretti i ponti termici si può notare un buon allineamento dei risultati tra tutti i software, eccetto CENED nel quale i ponti termici sono considerati solo come maggiorazione percentuale ma soltanto in corrispondenza delle pareti verticali e trascurando serramenti e solaio a terra.

Riguardo invece a DOCET, la sensibilità ai ponti termici è nulla in quanto non è previsto l'inserimento specifico dei dati sui ponti termici, a meno di non intervenire direttamente sui valori delle trasmittanze termiche delle strutture. In CENED la sensibilità non è molto evidente: in termini percentuali il fabbisogno di calore diminuisce del 6% circa correggendo i ponti termici e di un altro 6% eliminandoli. Per CasaClima i casi rappresentabili sono solo quelli con ponti termici o senza ponti termici e la differenza nei due casi è del 20% circa, mentre per Ecodomus le differenze nei tre casi sono più rilevanti: circa il 9% nel primo caso e circa il 75% nel secondo caso. I risultati di Ecodomus risultano inoltre ben allineati come valore e come tendenza a quelli forniti dalla simulazione dinamica con TRNSYS.

Laddove i ponti termici possano essere descritti in modo dettagliato (Ecodomus e TRNSYS) si evidenzia quindi una sensibilità particolarmente elevata, che denota la grande importanza di tali elementi nel determinare le prestazioni complessive dell'involucro.

Trascurando le differenze sui valori assoluti, legate alle motivazioni descritte sopra e alla particolare scelta del caso di

Tab. 3: Risultati dettagliati nelle diverse componenti per il caso base a Milano.

- $Q_T$  : dispersioni per trasmissione
- $Q_V$  : dispersioni per ventilazione
- $Q_I$  : apporti interni gratuiti
- $Q_S$  : apporti solari
- $\eta_u$ : fattore medio di utilizzazione degli apporti gratuiti
- $Q_h$  : fabbisogno di calore

	DOCET	CASA CLIMA	CENED	ECODOMUS
$Q_T$	86,5	84,3	81,6	73,9
$Q_V$	31,5	25,7	16,0	16,0
$Q_I$	13,2	15,4	18,6	18,6
$Q_S$	12,9	17,6	21,5	18,7
$\eta_u$	0,958	0,980	0,958	0,958
$Q_h$	93,0	77,7	59,2	54,2

riferimento, che le accentua in maniera particolare, la sensibilità all'isolamento nei confronti dell'ambiente non riscaldato e del terreno è in generale paragonabile (tab. 6 e fig. 4): si ha una differenza compresa tra il 3% e il 5% in CasaClima, Ecodomus e TRNSYS, tra il 9% e il 3% in CENED e tra il 4% e il 2% in DOCET.

La sensibilità all'ombreggiamento (tab. 7 e fig. 5), per quanto riferita ad una porzione molto limitata della superficie vetrata, viene evidenziata da tutti i software, anche se è minore per Cened e maggiore per CasaClima. In quest'ultimo caso tuttavia, l'ombreggiamento è stato assunto come completo, non essendo possibile specificare un preciso valore del corrispondente fattore.

Riguardo ai contesti climatici analizzati si riscontra una particolarità nel fabbisogno di calore calcolato per Sondrio da Ecodomus, poiché tale fabbisogno risulta di poco inferiore di quello calcolato per Milano, sebbene le temperature medie mensili di Milano siano maggiori di quelle di Sondrio. La ragione può essere dovuta ai maggiori valori di irradiazione solare medi mensili attribuiti dalla UNI 10349 al clima di Sondrio rispetto a quello Milano, in particolare per le esposizioni diverse dall'orizzontale. L'anomalia infatti scompare nel caso con ponti termici non corretti, quando tornano a prevalere le dispersioni sugli apporti. In Cened il fabbisogno nelle due località si mantiene simile anche se di poco maggiore a Sondrio in tutti i casi ad eccezione di quello con ponti termici corretti, in cui gli apporti solari sembrano incidere maggiormente. La generazione dei dati di radiazione nelle differenti esposizioni effettuata da TRNSYS a partire dai soli dati di radiazione orizzontale produce valori medi inferiori a quelli riportati nella norma di riferimento e disallinea il comportamento rispetto a quello di Ecodomus.

Riguardo alla determinazione del fabbisogno di energia primaria, si devono segnalare particolari differenze sul tipo e sulla numerosità dei dati richiesti. In particolare CENED richiede un numero di informazioni maggiore rispetto agli altri software. Seguono, con ordine, Ecodomus, CasaClima e DOCET. In particolare ai fini del confronto è stato considerato un sistema di riscaldamento a pannelli radianti ( $\eta_c=0,97$ ), con temperatura interna regolata da termostato di zona e regolazione della temperatura di mandata con sonda climatica esterna ( $\eta_e=0,95$ ) e tubazioni di distribuzione isolate ( $\eta_d=0,95$ ). Il generatore di calore è una caldaia a condensazione per la produzione combinata di acqua calda per il riscaldamento e per usi igienico-sanitari, di potenza termica nominale pari a 30 kW. In tabella 4 si riportano, a titolo di esempio, i rendimenti globali medi stagionali nel caso base (con ponti termici corretti) per i diversi contesti climatici.

I risultati evidenziano due aspetti:

- a- i rendimenti calcolati con Ecodomus sono tendenzialmente i più elevati, mentre quelli di CENED sono i più bassi; questo andamento caratterizza anche gli altri casi implementati;
- b- al variare del contesto climatico le variazioni in termini di rendimento di impianto sono più evidenti in CasaClima, molto meno in Ecodomus e CENED, e sono nulle in DOCET.

Tab. 4: Rendimento globale medio stagionale dell'impianto di riscaldamento.

	DCT	CC	CND	ED
Como	0,890	0,887	0,792	0,907
Milano	0,890	0,898	0,800	0,908
Sondrio	0,890	0,905	0,799	0,909
Belluno	0,890	0,913		0,908

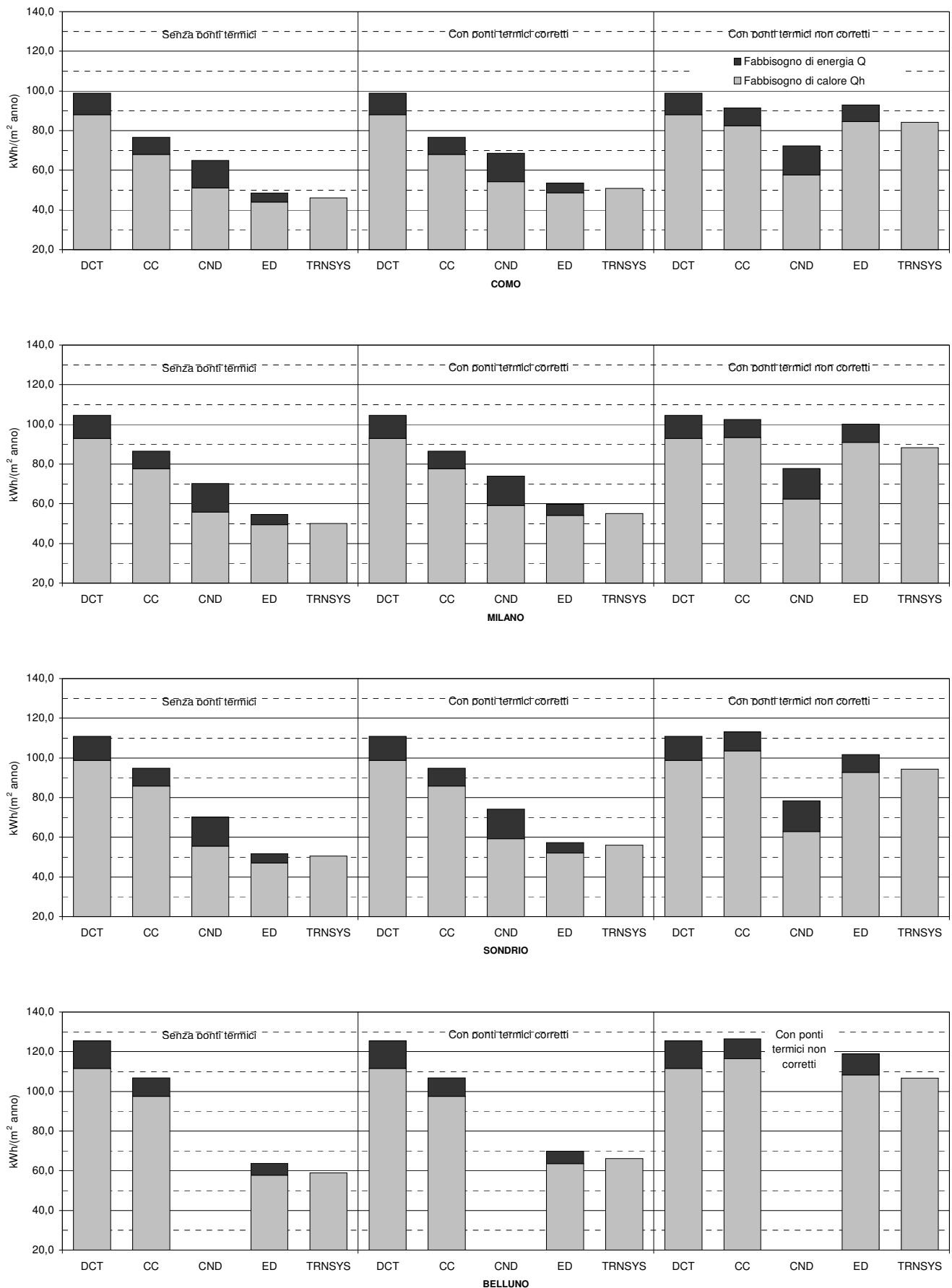


Figura 3: Confronto dei risultati del calcolo per i casi relativi all'incidenza dei ponti termici (DCT=DOCET; CC=CasaClima; CND=CENED; ED=Ecodomus)

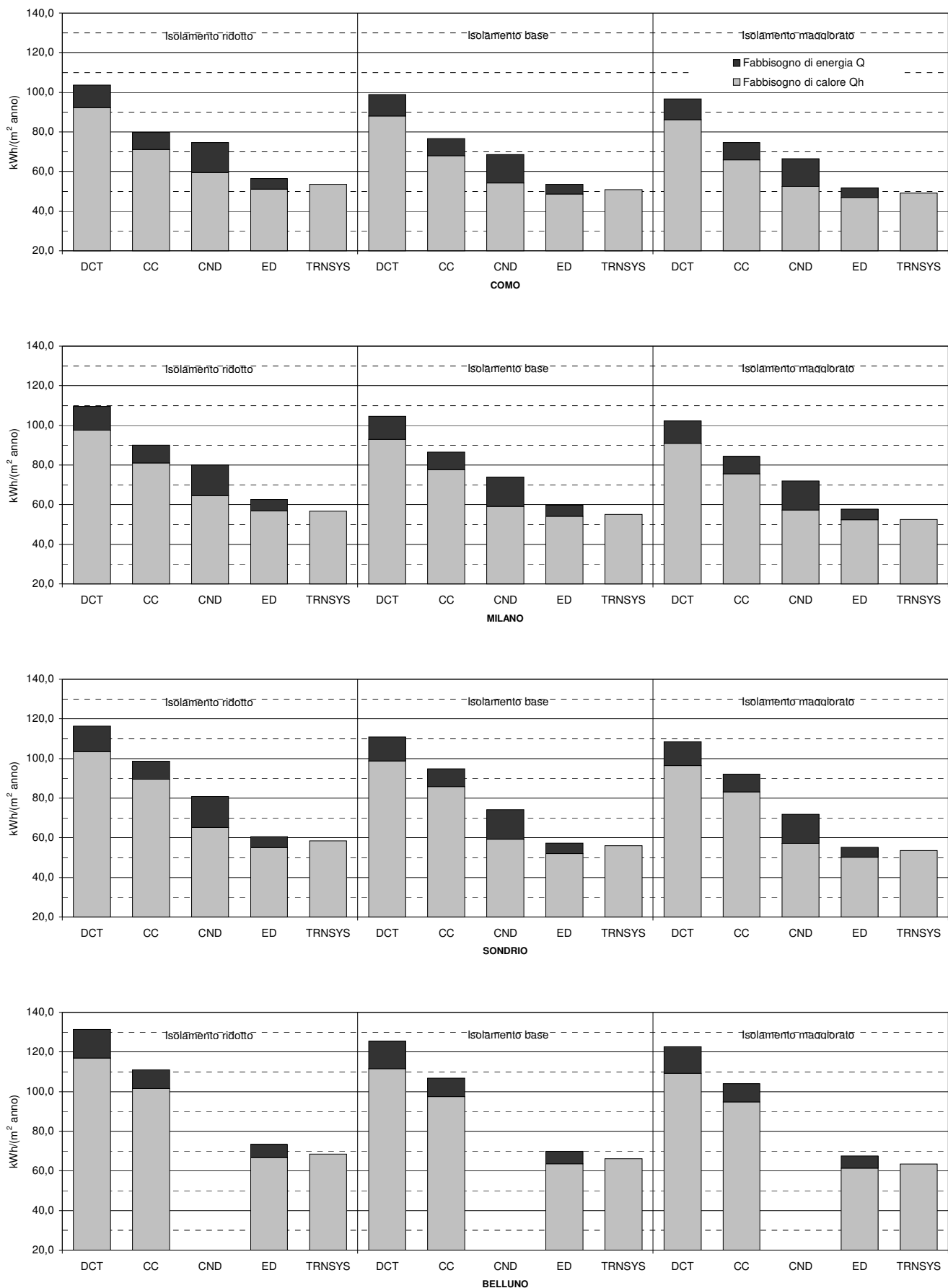


Figura 4: Confronto dei risultati del calcolo per i casi relativi all'incidenza dell'isolamento verso i locali non riscaldati e verso il terreno (DCT=DOCET; CC=CasaClima; CND=CENED; ED=Ecodomus)

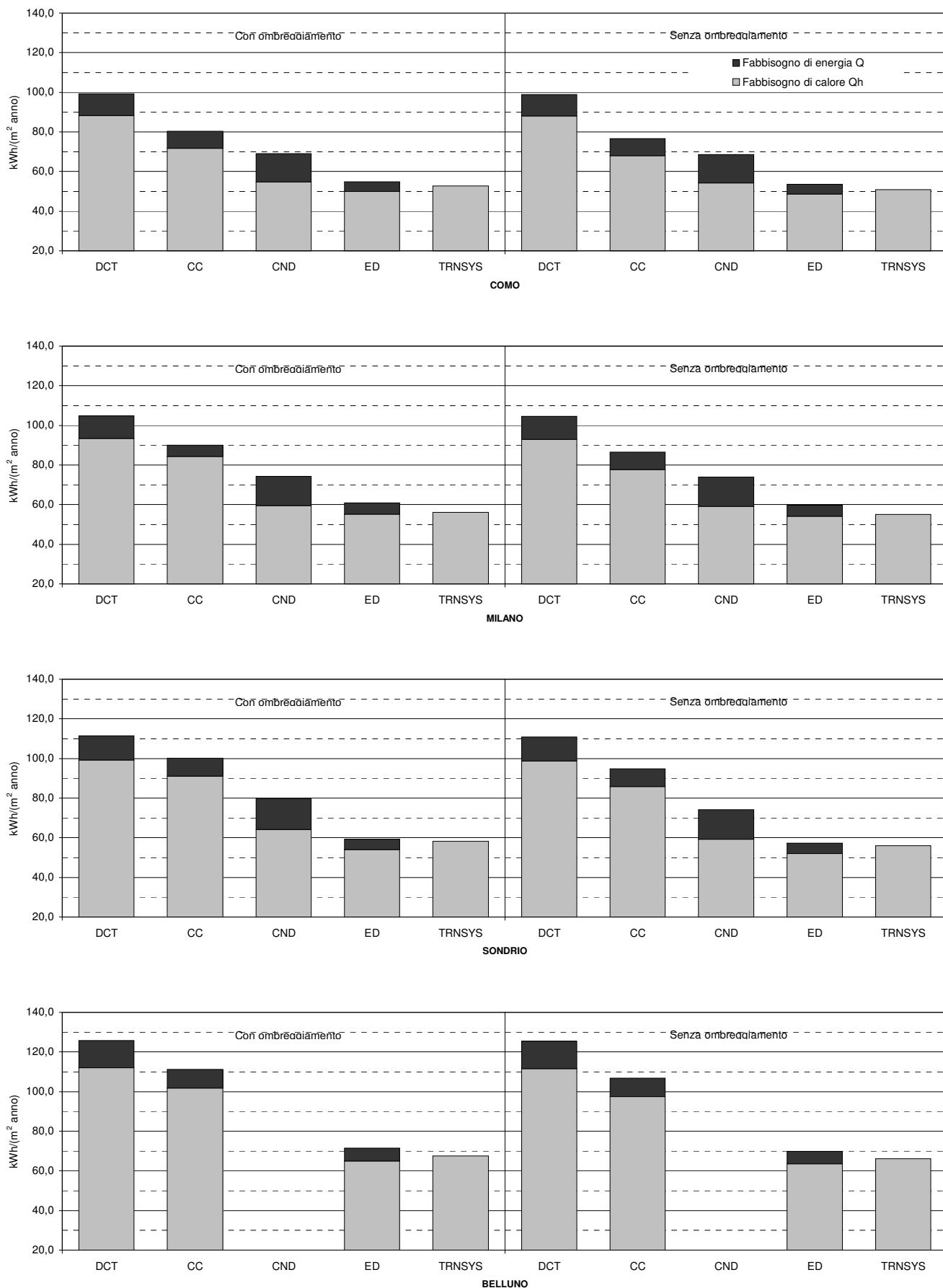


Figura 5: Confronto dei risultati del calcolo per i casi relativi all'incidenza dell'ombreggiamento sulla vetrata del lato sud (DCT=DOCET; CC=CasaClima; CND=CENED; ED=Ecodomus)



Tab. 5: Risultati del calcolo per i casi relativi all'incidenza dei ponti termici.

		Senza ponti termici					Con ponti termici corretti (caso base)					Con ponti termici non corretti				
		DCT	CC	CND	ED	TRNSYS	DCT	CC	CND	ED	TRNSYS	DCT	CC	CND	ED	TRNSYS
CO	Fabbisogno di calore Qh	88,0	68,0	51,1	44,1	46,1	88,0	68,0	54,3	48,6	50,8	88,0	82,4	57,6	84,6	84,2
	Fabbisogno di energia Q	98,9	76,6	65,0	48,5		98,9	76,6	68,6	53,6		98,9	91,4	72,3	93,0	
MI	Fabbisogno di calore Qh	93,0	77,7	55,8	49,5	50,1	93,0	77,7	59,2	54,2	55,1	93,0	93,3	62,5	91,0	88,3
	Fabbisogno di energia Q	104,5	86,5	70,3	54,6		104,5	86,5	74,0	59,7		104,5	102,5	77,8	100,2	
SO	Fabbisogno di calore Qh	98,7	85,7	55,6	47,0	50,6	98,7	85,7	59,3	52,1	55,9	98,7	103,6	62,9	92,7	94,3
	Fabbisogno di energia Q	110,9	94,7	70,1	51,7		110,9	94,7	74,2	57,3		110,9	113,1	78,3	101,7	
BL	Fabbisogno di calore Qh	111,6	97,5		57,8	58,9	111,6	97,5		63,5	66,2	111,6	116,5		108,3	106,7
	Fabbisogno di energia Q	125,4	106,8		63,6		125,4	106,8		69,9		125,4	126,5		118,9	

Tab. 6: Risultati del calcolo per i casi relativi all'incremento dell'isolamento verso ambienti non riscaldati e delle strutture a terreno.

		Isolamento n.r./terreno 5 cm/5 cm					Isolamento n.r./terreno 10 cm/5 cm (caso base)					Isolamento n.r./terreno 10 cm/10 cm				
		DCT	CC	CND	ED	TRNSYS	DCT	CC	CND	ED	TRNSYS	DCT	CC	CND	ED	TRNSYS
CO	Fabbisogno di calore Qh	92,3	71,1	59,6	51,2	53,5	88,0	68,0	54,3	48,6	50,8	86,1	65,9	52,5	46,9	49,2
	Fabbisogno di energia Q	103,7	79,8	74,6	56,4		98,9	76,6	68,6	53,6		96,7	74,6	66,5	51,7	
MI	Fabbisogno di calore Qh	97,5	81,1	64,5	56,8	56,6	93,0	77,7	59,2	54,2	55,1	91,0	75,5	57,3	52,4	52,5
	Fabbisogno di energia Q	109,6	89,9	80,0	62,7		104,5	86,5	74,0	59,7		102,2	84,3	71,9	57,8	
SO	Fabbisogno di calore Qh	103,5	89,5	65,2	55,1	58,5	98,7	85,7	59,3	52,1	55,9	96,5	83,1	57,2	50,2	53,5
	Fabbisogno di energia Q	116,3	98,6	80,9	60,5		110,9	94,7	74,2	57,3		108,4	92,1	71,8	55,2	
BL	Fabbisogno di calore Qh	116,9	101,5		66,8	68,4	111,6	97,5	0,0	63,5	66,2	109,2	94,8		61,4	63,4
	Fabbisogno di energia Q	131,3	111,0		73,4		125,4	106,8	0,0	69,9		122,7	104,0		67,5	

Tab. 7: Risultati del calcolo per i casi relativi all'incidenza dell'ombreggiamento dovuto all'aggetto orizzontale della copertura sul lato sud.

		Con ombreggiamenti					Senza ombreggiamenti				
		DCT	CC	CND	ED	TRNSYS	DCT	CC	CND	ED	TRNSYS
CO	Fabbisogno di calore Qh	88,3	71,7	54,7	49,9	52,7	88,0	68,0	54,3	48,6	50,8
	Fabbisogno di energia Q	99,2	80,4	69,1	54,9		98,9	76,6	68,6	53,6	
MI	Fabbisogno di calore Qh	93,3	84,3	59,5	55,2	56,0	93,0	77,7	59,2	54,2	55,1
	Fabbisogno di energia Q	104,8	89,9	74,4	60,9		104,5	86,5	74,0	59,7	
SO	Fabbisogno di calore Qh	99,2	91,0	64,1	54,0	58,2	98,7	85,7	59,3	52,1	55,9
	Fabbisogno di energia Q	111,5	100,2	79,7	59,3		110,9	94,7	74,2	57,3	
BL	Fabbisogno di calore Qh	112,0	101,8		65,0	67,4	111,6	97,5	0,0	63,5	66,2
	Fabbisogno di energia Q	125,8	111,3		71,5		125,4	106,8	0,0	69,9	

## CONCLUSIONI

Nonostante i software confrontati adottino una metodologia di calcolo in larga parte ispirata alle medesime norme tecniche di riferimento, la corretta impostazione della comparazione ha richiesto una certa attenzione nell'inserimento dei dati. Esistono infatti alcune specificità relative alla tipologia delle informazioni da impiegare e alcune convenzioni assunte (come ad esempio il tipo di dimensioni, esterne o interne, e il numero di ricambi orari) che possono portare a incongruenze nei risultati non direttamente legate a differenze metodologiche.

Il confronto ha fornito alcune indicazioni che sarà necessario approfondire ulteriormente, in particolar modo per quanto attiene alla considerazione degli effetti dei ponti termici. La sensibilità a tali elementi risulta notevolmente diversificata nei vari software, sia per il differente livello di dettaglio considerato nel calcolo, sia per il tipo di dimensioni da utilizzare nel calcolo.

A questo proposito, vista l'incidenza che questi assumono nel determinare le prestazioni energetiche dell'edificio, appare auspicabile un maggiore dettaglio nella valutazione dei ponti termici da parte dei software che li considerano solo con approccio semplificato o su base percentuale. D'altra parte, tuttavia, va osservato che non sempre le tipologie classificate dalla normativa di riferimento risultano adatte a considerare le configurazioni e i materiali più diffusi nella tecnica e nella pratica edificatoria corrente.

L'incidenza delle diverse scelte nel trattare le dispersioni attraverso ambienti non riscaldati o verso il terreno e le difformità nella valutazione delle porzioni ombreggiate non risultano particolarmente significative per l'edificio considerato. Tuttavia potrebbero diventarlo in situazioni diverse, come ad esempio nel caso di edifici condominiali con grandi volumi non riscaldati comuni, o in presenza di ampie superfici trasparenti.

Infine il confronto relativo al rendimento globale medio degli impianti, considerato nel presente lavoro solo in relazione ad una singola configurazione impiantistica, dovrà essere approfondito a partire da condizioni di fabbisogno di calore per riscaldamento più omogenee. Interessanti spunti potranno venire dalle procedure indicate nel corpo normativo proposto dalle EN 15316.

## RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

1. Decreto Legislativo n. 192, Attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia, Suppl. Ord. N°158 alla G.Uff. n. 222 del 23 settembre 2005

2. Amministrazione autonoma di Bolzano, Ufficio Rumore e Qualità dell'Aria, KlimaHaus CasaClima - Calcolo degli indici termici,

[www.provinz.bz.it/umweltagentur/2902/klimahaus](http://www.provinz.bz.it/umweltagentur/2902/klimahaus)

3. Amministrazione provinciale di Vicenza, Vi.energia s.r.l., *PROGETTO ECODOMUS.VI la certificazione energetica degli edifici*, [www.vienergia.it](http://www.vienergia.it)

4. Regione Lombardia - CENED [www.cened.it](http://www.cened.it)

5. ITC-CNR, ENEA – DOCET, Diagnosi e certificazione energetica di edifici residenziali esistenti, [www.docet.itc.cnr.it](http://www.docet.itc.cnr.it)

6. D.g.r. 26 giugno 2007 - n. 8/5018, Determinazioni inerenti la certificazione energetica degli edifici, in attuazione del d.lgs. 192/2005 e degli artt. 9 e 25, l.r. 24/2006, Boll. Uff. Regione Lombardia, 3° suppl.straord. al n°29 del 20 Luglio 2007

7. P. Baggio, F. Cappelletti, A. Gasparella, P. Romagnoni, *Il calcolo della prestazione energetica degli edifici. Gli esiti di un confronto*, Convegno AICARR: Riduzione dei fabbisogni, recupero di efficienza e fonti rinnovabili per il risparmio energetico nel settore residenziale, Rubano (PD), Giugno 2008

## SUMMARY

The implementation of Directive 2002/91/EC requests the definition of a calculation method for the energy performance EP of buildings based on the European Standard. In order to allow the comparison of EP values between different buildings, the calculation should be performed by means of homogeneous algorithms (i.e. the CEN Standards). If the local Administration proposes different computer codes, the calculated EP values should be the same for a proposed residential building. This paper proposes a detailed analysis on the EP values obtained by means of different simplified computer codes. The values of a TRNSYS simulation are also proposed.