Report di validazione

Applicativo «Diagnosi Energetica Terziario» · modello di calcolo versione 1.3 · edifici pubblici, nuovi generatori, Conto Termico 3.0

1. Sintesi

La versione 1.3 aggiunge gli edifici pubblici e cinque nuovi generatori post operam. Il programma è stato ritestato per intero. **Test di coerenza**: 107 test (bilanci energetici. Sankey. torte della CO_2. raffrescamento. quantità del Conto Termico. esecuzione completa della pagina e del PDF in 7 scenari): 107 superati. compresa l'esecuzione della pagina e del PDF per 5 tipologie × 8 generatori. **Conto Termico 3.0**: la logica integrata è stata confrontata con il calcolatore allegato. eseguito senza modifiche. su **5.000 combinazioni casuali** (0 differenze superiori a 1 €) e su 5 esempi calcolati a mano; il sistema ibrido, non presente nel calcolatore, è verificato su 3 esempi pubblicati. **Casi di letteratura**: tre casi industriali e terziari (sezioni 5–7) e **cinque edifici pubblici** (sezione 8). Per i primi, il confronto con **tre casi tipo di letteratura** con consumi misurati o benchmark pubblicati: **30 grandezze** confrontate su consumi, bollette e risparmi, di cui 18 conformi, 5 accettabili e 7 fuori tolleranza.

Esito. Il modello è affidabile per il **fabbisogno termico dell'involucro**, il **consumo per illuminazione e apparecchiature degli uffici**, la **producibilità fotovoltaica** e il **risparmio dei singoli interventi** quando lo stato ante operam è calibrato. Non è affidabile, senza calibrazione, per i consumi di **processo** (elettricità dei macchinari e gas di processo), che all'interno della stessa divisione ATECO variano di un fattore 3 o più. Per questo motivo la versione 1.1 aggiunge la calibrazione sui consumi da bolletta e il campo «gas di processo noto».

Edifici pubblici. Senza bollette l'errore sul riscaldamento, misurato fuori campione, è entro ±35 % in tre casi su cinque e arriva a –60 % e +178 % negli altri due, per effetto degli orari d'uso e dei generatori. La geometria tipo sottostimava la superficie disperdente: la versione 1.3 accetta la superficie e le trasmittanze dell'APE e applica agli edifici pubblici un fattore d'uso e un fattore pareti stimati sui cinque casi. Per un progetto su un edificio pubblico vanno inseriti i dati dell'APE e i consumi da bolletta.

Livello	Esito	Note
Test di coerenza del modello	12/12 superati	Bilanci energetici chiusi, nessuna anomalia
Sankey, torte, raffrescamento, pagina e PDF	35/35 superati	Flussi in pareggio, scala comune ante/post, nessun valore non numerico
Conto Termico 3.0	28/28 superati	Identico al calcolatore allegato su 5.000 casi; 5 esempi a mano; 4 esempi pubblicati
Nuovi generatori ed edifici pubblici (test)	32/32 superati	Bilanci, dimensionamento, regole del 100 %, 40 combinazioni pagina e PDF
Edifici pubblici (5 casi)	Gas fuori campione: 2/5 entro ±25 %, 3/5 entro ±35 %	Morgex e Biblioteca Geisser fuori tolleranza; risparmi incerti
Caso 1 · capannone metalmeccanico (BG)	Termico conforme; elettrico da calibrare	Copertura e FV entro ±15 % con U reale; pompe di calore entro ±30 %
Caso 2 · uffici, benchmark ENEA	Conforme; elettrico totale sotto la media	Parametri uffici tarati su questo benchmark (vedi § 4)
Caso 3 · stabilimento con processo (VE)	Elettrico conforme; gas da calibrare	Gas di processo sottostimato dell'84 % senza calibrazione

2. Metodo

Esecuzione del codice reale. Tutte le verifiche usano il codice JavaScript pubblicato nell'applicativo, estratto dal file ed eseguito in Node.js senza modifiche. Per i test della pagina completa l'applicativo è stato avviato con un DOM minimale che riproduce i campi del modulo; la generazione del PDF è stata eseguita con un jsPDF simulato che registra ogni testo e ogni forma, controllando assenza di valori non numerici, caratteri non stampabili e coordinate fuori pagina.

Conto Termico. Il calcolatore allegato («Calcolatore Conto Termico 3.0») è stato eseguito così com'è, impostando i suoi campi e leggendo i risultati dalla sua tabella. Per ogni combinazione casuale di soggetto, categoria catastale, zona climatica, dimensione d'impresa, premialità, quantità e pompa di calore si confrontano voce per voce massimale di spesa, percentuale, incentivo, limitazione da I_{max}, incentivo della pompa di calore e numero di avvisi.

Per ciascun caso sono stati inseriti nel modello i dati disponibili in letteratura (località e gradi giorno, superfici, epoca, impianti, codice ATECO, prezzi effettivi dell'epoca). Gli scarti sono calcolati come (modello / riferimento – 1). Il calcolo è stato eseguito con lo stesso codice JavaScript dell'applicativo, estratto ed eseguito in Node.js, senza modifiche: i numeri di questo report si riproducono inserendo gli stessi dati nell'interfaccia.

Tolleranze adottate: **±15 %** conforme e **±30 %** accettabile per consumi e risparmi di un singolo edificio; **±20 %** e **±40 %** (fino a ±60 % per l'elettricità totale) per il confronto con medie di campione, che hanno deviazioni standard dello stesso ordine della media. Le tolleranze sono scelte per questo studio e sono adatte a una stima preliminare, non a una verifica di risparmio contrattuale.

Ogni caso è valutato in due modi. **Non calibrato**: il modello stima i consumi solo da dati edilizi e ATECO, come per un'utenza di cui non si hanno bollette. **Calibrato**: si inseriscono i consumi da bolletta e si verifica che i risparmi degli interventi restino coerenti con quelli dichiarati dagli autori.

3. Test interni di coerenza

Test	Risultato	Esito
Interventi nulli: post = ante	scarto 0.0e+0 EUR	**Superato**
Monotonia: H decresce al crescere della coibentazione pareti	11 passi da 0 a 100 %	**Superato**
Somma contributi interventi = risparmio totale	90254.12 vs 90254.12 EUR	**Superato**
Bilancio FV: autoconsumo + carica accumulo + immissione = produzione	218500 vs 218500 kWh	**Superato**
Autoconsumo non superiore al fabbisogno	198645 <= 422472 kWh	**Superato**
Conversione Smc -> MWh (PCI 9,59)	8342 Smc = 80.0 MWh	**Superato**
Taglia generatore >= 1,10 x potenza dispersa post	160 kW vs 156.1 kW	**Superato**
Linearita riscaldamento con gradi giorno (+10 % GG)	+9.8 % (ACS non dipende dai GG)	**Superato**
Calibrazione riproduce le bollette	60000 Smc, 300000 kWh	**Superato**
Calibrazione con gas inferiore al riscaldamento stimato	5000 Smc, riscaldamento riscalato al 11 %	**Superato**
Superfici: pareti lorde = opache + serramenti	1805 = 1639 + 166 m2	**Superato**
Sovrascrittura m2 vetrati	300 m2 serramenti, 500 m2 lucernari	**Superato**

Diagrammi di Sankey

Test	Risultato	Esito
Bilancio nodi ante: fonti = usi	876.98 MWh	**Superato**
Gas ante = consumo gas	508.38 = 508.38 MWh	**Superato**
Rete ante = prelievo	322.59 = 322.59 MWh	**Superato**
Fotovoltaico ante = produzione	46.00 = 46.00 MWh	**Superato**
Usi ante = fabbisogni del modello	riscaldamento, macchinari, illuminazione	**Superato**
Altezze ante: colonna fonti = colonna usi	193.8 px	**Superato**
Geometria ante entro il riquadro	nodi e flussi	**Superato**
Etichette ante non sovrapposte	distanza minima 11,5 % altezza	**Superato**
Bilancio nodi post: fonti = usi	525.97 MWh	**Superato**
Gas post = consumo gas	80.00 = 80.00 MWh	**Superato**
Rete post = prelievo	227.47 = 227.47 MWh	**Superato**
Fotovoltaico post = produzione	218.50 = 218.50 MWh	**Superato**

Test	Risultato	Esito
Usi post = fabbisogni del modello	riscaldamento, macchinari, illuminazione	Superato
Altezze post: colonna fonti = colonna usi	116.2 px	Superato
Geometria post entro il riquadro	nodi e flussi	Superato
Etichette post non sovrapposte	distanza minima 11,5 % altezza	Superato
Scala comune: spessori proporzionali all'energia	rapporto 1.667	Superato

Torte della CO_2

Test	Risultato	Esito
Emessa post + risparmiata = CO2 ante	187.61 = 187.61 t	Superato
Somma contributi (anche negativi) = risparmio netto	112.67 t	Superato
Torta interventi: solo contributi positivi, negativi segnalati	1 contributo negativo (Superficie raffrescata)	Superato

Raffrescamento ante e post operam

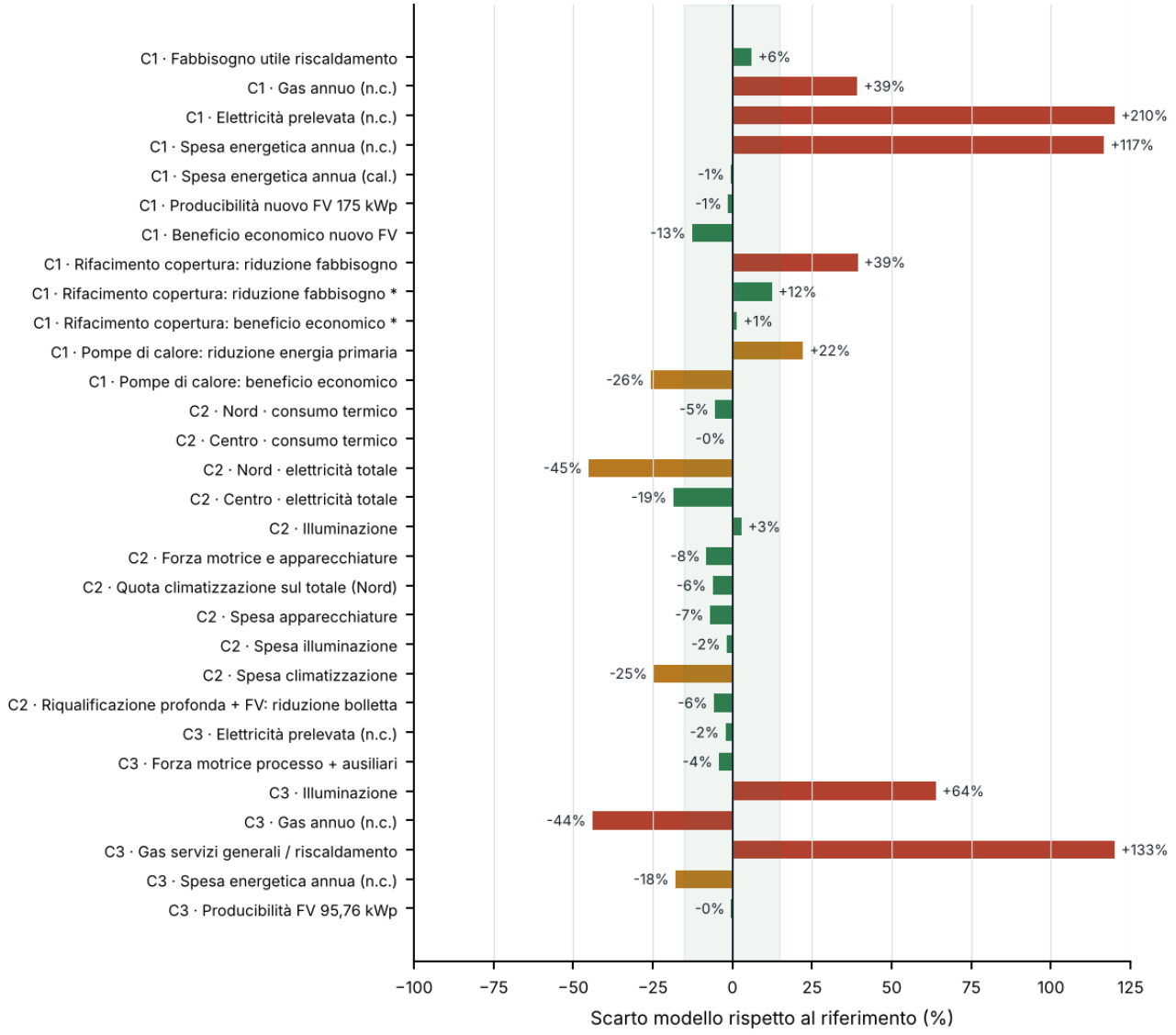
Test	Risultato	Esito
Nessun raffrescamento: resta solo l'ausiliario uffici	fabbisogno 0 kWh	Superato
Più superficie raffrescata, più elettricità	magazzino e produttivo da 0 a 100 %	Superato
Estensione del raffrescamento: contributo negativo sui risparmi	-3873 kWh, -1.00 t CO2	Superato
Stessa superficie ante e post: contributo nullo	0.000 kWh	Superato
Coibentazione e serramenti riducono il fabbisogno estivo	16000 -> 11900 kWh	Superato
Taglia PDC >= carico frigorifero	160 kW (freddo 156, caldo x1,1 73)	Superato
Superficie raffrescata = somma quote	200 m² (50 % di 400)	Superato
EER più alto con pompa di calore	EER 2,6 -> 3,6	Superato

Esecuzione completa della pagina e del PDF

Test	Risultato	Esito
Default (esempio precompilato)	schermata ok · PDF 3 pagine	Superato
Senza interventi	schermata ok · PDF 3 pagine	Superato
Raffrescamento assente ante e post	schermata ok · PDF 3 pagine	Superato
Nuovo raffrescamento solo post	schermata ok · PDF 3 pagine	Superato
Pubblica amministrazione, zona C	schermata ok · PDF 3 pagine	Superato
Stabilimento grande calibrato	schermata ok · PDF 3 pagine	Superato
Solo uffici, PDC aria-acqua	schermata ok · PDF 3 pagine	Superato

4. Quadro degli scarti

Barre verdi entro la tolleranza di conformità, ambra accettabili, rosse fuori tolleranza. La fascia verde indica ±15 %. L'asterisco indica la verifica con la trasmittanza reale della copertura del caso 1.



5. Caso 1 · Capannone metalmeccanico, Torre de Roveri (BG)

Fonte: Confindustria Bergamo, «La decarbonizzazione del capannone industriale», diagnosi energetica del reparto 30 di Meccanotecnica S.p.A. Consumi misurati 2022–2024, modello dinamico calibrato dagli autori con scarto inferiore al 10 %.

Dati inseriti nel modello

Località	Torre de Roveri (BG), 2.564 GG inseriti come gradi giorno del comune, zona E
ATECO	25.62 Lavori di meccanica generale (divisione 25)
Superfici	Produttivo 2.210 m² (h media 6,5 m, shed); uffici + servizi 809 m² (h 3 m); archivio 267 m² come magazzino (h 4 m)
Epoca e impianti	1964; generatori d'aria calda a metano; FV esistente 31,2 kWp
Prezzi	Gas 0,866 €/Smc e elettricità 0,301 €/kWh, ricavati dalla spesa media 2022–2024 dichiarata

Superfici vetrate da progetto tipo: **156 m²** di serramenti verticali e **187 m²** di lucernari/shed. Nel rifacimento della copertura (scenario A) la sostituzione del policarbonato è stata simulata come sostituzione del 55 % delle vetrate, pari alla quota dei lucernari.

Confronto

Grandezza	Riferimento	Modello	Scarto	Esito
Fabbisogno utile riscaldamento	462.500 kWh	490.537 kWh	+6 %	**Conforme**
Gas annuo (non calibrato)	52.000 Smc	72.398 Smc	+39 %	**Fuori tolleranza**
Elettricità prelevata (non calibrato)	125.500 kWh	389.250 kWh	+210 %	**Fuori tolleranza**
Spesa energetica annua (non calibrato)	82.850 €	179.514 €	+117 %	**Fuori tolleranza**
Spesa energetica annua (calibrato)	82.850 €	82.408 €	–1 %	**Conforme**
Producibilità nuovo FV 175 kWp	204.000 kWh	201.250 kWh	–1 %	**Conforme**
Beneficio economico nuovo FV	40.000 €/anno	34.925 €/anno	–13 %	**Conforme**
Rifacimento copertura: riduzione fabbisogno U copertura da epoca (1,60)	30,0 %	41,8 %	+39 %	**Fuori tolleranza**
Rifacimento copertura: riduzione fabbisogno U copertura reale (1,10)	30,0 %	33,7 %	+12 %	**Conforme**
Rifacimento copertura: beneficio economico U copertura reale (1,10)	15.000 €/anno	15.217 €/anno	+1 %	**Conforme**
Pompe di calore: riduzione energia primaria	30,0 %	36,7 %	+22 %	**Accettabile**
Pompe di calore: beneficio economico	10.300 €/anno	7.654 €/anno	–26 %	**Accettabile**

Lettura dei risultati

Involucro. Il fabbisogno utile stimato (491 MWh) è entro il 6 % del valore simulato e misurato dagli autori (455–470 MWh). Il gas è sovrastimato (+39 %) per due motivi: il profilo ATECO 25 aggiunge 9.218 Smc di gas di processo che nel reparto non c'è, e il rendimento di generazione dei generatori d'aria calda adottato (0,88 × 0,92) è più basso dell'85 % usato nella diagnosi.

Elettricità. Il prelievo è sovrastimato di un fattore 3 (389.250 contro 125.500 kWh). Il profilo della divisione 25 (120 kWh/m² di forza motrice) rappresenta bene uno stabilimento con processi continui (vedi caso 3) ma non un reparto di meccanica su un turno, e il dato misurato è a sua volta una stima (40 % di un POD condiviso). Calibrando sulle bollette, la spesa annua è riprodotta entro l'1 %.

Risparmi. Con la trasmittanza della copertura dedotta dall'epoca (1,60 W/m²K) il modello sovrastima l'effetto del rifacimento (41,8 % contro 30 %). Inserendo la copertura reale (lamiera con 3 cm di lana di vetro, U ≈ 1,10 W/m²K) lo scarto scende a 33,7 % e il beneficio economico (15.217 €/anno) coincide con quello della diagnosi (15.000 €/anno). Il fotovoltaico da 175 kWp produce 201.250 kWh contro 204.000 kWh. Per le pompe di calore la riduzione di energia primaria è 36,7 % contro circa 30 %; il beneficio è inferiore (7.654 €/anno contro 10.300) perché il modello applica i prezzi attuali del caso e SCOP stagionali conservativi.

6. Caso 2 · Edificio per uffici, benchmark ENEA–Assoimmobiliare

Fonte: ENEA–Assoimmobiliare, «Benchmark di consumo energetico degli edifici per uffici in Italia», 2019, basato su 118–123 diagnosi energetiche del Portale Audit 102. Indici medi per area geografica; la deviazione standard è dello stesso ordine della media.

Dati inseriti nel modello

Edificio tipo di 5.000 m² su 5 piani (h 3,2 m), costruito nel 1985, caldaia standard a gas, raffrescamento con gruppi esistenti, nessun fotovoltaico, ATECO 68.20. Calcolato a Milano (Nord, zona E, 2.404 GG) e a Roma (Centro, zona D, 1.415 GG). Prezzi coerenti con le spese €/m² del rapporto: 0,17 €/kWh e 0,70 €/Smc. Consumi termici convertiti da tep con 1 tep = 11.630 kWh.

Confronto

Grandezza	Riferimento	Modello	Scarto	Esito
Nord · consumo termico	102,3 kWh/m²	96,8 kWh/m²	–5 %	Conforme
Centro · consumo termico	59,3 kWh/m²	59,2 kWh/m²	–0 %	Conforme
Nord · elettricità totale media con server farm; range 13–298	155,5 kWh/m²	85,2 kWh/m²	–45 %	Accettabile
Centro · elettricità totale range 48–170	108,8 kWh/m²	88,5 kWh/m²	–19 %	Conforme
Illuminazione	24,7 kWh/m²	25,4 kWh/m²	+3 %	Conforme
Forza motrice e apparecchiature	38,1 kWh/m²	35,0 kWh/m²	–8 %	Conforme
Quota climatizzazione sul totale (Nord)	57,0 %	53,4 %	–6 %	Conforme
Spesa apparecchiature	6,40 €/m²	5,95 €/m²	–7 %	Conforme
Spesa illuminazione	4,40 €/m²	4,32 €/m²	–2 %	Conforme
Spesa climatizzazione	15,00 €/m²	11,29 €/m²	–25 %	Accettabile
Riqualificazione profonda + FV: riduzione bolletta ENEA: fino al 60 %	60,0 %	56,5 %	–6 %	Conforme

Lettura dei risultati

I consumi termici coincidono con le medie del campione sia al Nord (96,8 contro 102,3 kWh/m²) sia al Centro (59,2 contro 59,3 kWh/m²): il modello di dispersione e la dipendenza dai gradi giorno funzionano anche fuori dalla zona E. Illuminazione e apparecchiature sono entro il 10 %.

L'elettricità totale resta sotto la media (85,2 contro 155,5 kWh/m² al Nord) ma dentro il campo di variazione. La media del campione include le server farm (18 % dei consumi in media, fino al 60 %) e gli edifici riscaldati in tutto o in parte con energia elettrica, che il caso tipo non ha. Per lo stesso motivo la spesa di climatizzazione è sotto il riferimento.

Risparmi. Con cappotto, copertura, serramenti e pompa di calore la bolletta scende del 30 %; aggiungendo 150 kWp di fotovoltaico e accumulo si arriva al 56 %, in linea con la riduzione fino al 60 % indicata da ENEA per gli uffici.

Avvertenza di indipendenza. Durante la validazione i parametri degli uffici sono stati ritarati su questo benchmark: apparecchiature da 28 a 35 kWh/m², ausiliari di climatizzazione 8 kWh/m², fabbisogno di raffrescamento da 22 a 40 kWh/m² in zona E. Per illuminazione e apparecchiature il caso 2 è quindi una verifica di taratura, non una validazione indipendente. Il consumo termico, che non è stato toccato, resta una verifica indipendente.

7. Caso 3 · Stabilimento di articoli in filo metallico, San Donà di Piave (VE)

Fonte: Città Metropolitana di Venezia, allegato D10 «Analisi energetica» di Dradura Italia S.r.l., sito OMIM (ATECO 25.11.00), consumi da bolletta 2018 e modello elettrico con scarto del 2,4 % dalla bolletta.

Dati inseriti nel modello

Superficie produttiva 25.227 m² (h 8 m ipotizzata), 2.348 GG del comune, epoca ipotizzata 1980, caldaia di stabilimento standard, nessun FV esistente. Prezzi effettivi 2018: 0,13 €/kWh e 0,35 €/Smc. Uffici e magazzini non sono distinti nella fonte e sono quindi compresi nel produttivo.

Confronto

Grandezza	Riferimento	Modello	Scarto	Esito
Elettricità prelevata (non calibrato)	3.937.215 kWh	3.849.568 kWh	–2 %	**Conforme**
Forza motrice processo + ausiliari	3.161.449 kWh	3.027.240 kWh	–4 %	**Conforme**
Illuminazione	467.892 kWh	766.585 kWh	+64 %	**Fuori tolleranza**
Gas annuo (non calibrato)	881.557 Smc	493.662 Smc	–44 %	**Fuori tolleranza**
Gas servizi generali / riscaldamento	167.068 Smc	388.440 Smc	+133 %	**Fuori tolleranza**
Spesa energetica annua (non calibrato)	820.383 €	673.226 €	–18 %	**Accettabile**
Producibilità FV 95,76 kWp	110.579 kWh	110.124 kWh	–0 %	**Conforme**

Lettura dei risultati

Elettricità. Il prelievo complessivo è stimato entro il 3 % e la forza motrice entro il 5 %: per uno stabilimento della divisione 25 con processi continui il profilo ATECO è adeguato. L'illuminazione è sovrastimata (+64 %): il modello applica 11 W/m² per tutte le ore di produzione, mentre lo stabilimento ha zone a illuminazione ridotta.

Gas. È il limite principale emerso. Il gas di processo (caldaie a vapore per i trattamenti superficiali, 678.146 Smc) è stimato in 105.222 Smc, mentre il riscaldamento è sovrastimato (388.440 contro 167.068 Smc dei servizi generali): gli apporti interni dei processi riscaldano il capannone e il modello non li conteggia. Il totale è sottostimato del 44 % e la bolletta del 18 %.

Effetto sulla calibrazione. Inserendo solo il gas totale da bolletta, il modello attribuirebbe 493.117 Smc al processo e lascerebbe il riscaldamento a 388.440 Smc, raddoppiando i risparmi dell'involucro (182.794 Smc invece di 95.722 Smc con coibentazione e serramenti completi). Per questo la versione 1.1 aggiunge il campo «di cui gas di processo noto»: con 678.146 Smc il riscaldamento viene riscalato al 52 % e attribuito correttamente (203.411 Smc). Il fotovoltaico proposto (95,76 kWp) produce 110.124 kWh contro 110.579 kWh della diagnosi.

8. Edifici pubblici: scuole, municipi, biblioteche

La versione 1.3 aggiunge quattro tipologie di edificio pubblico: scuola primaria, scuola dell'infanzia o asilo nido, municipio o uffici comunali, biblioteca. Ogni tipologia sostituisce il profilo ATECO con un profilo d'uso proprio: temperature, ricambi d'aria, acqua calda, apparecchiature, ore di illuminazione e ruolo delle tre zone (per esempio aule, locali accessori, palestra e mensa). Per la validazione sono stati usati cinque edifici pubblici reali con consumi misurati da bolletta.

Caso	Dati principali	Consumi misurati	Fonte
S1 Scuola primaria, Sermide (MN)	1.705 m² aule + 399 m² mensa; anni '20–'30; zona E (GG di Mantova 2.388); 2 caldaie tradizionali 1995; vetro singolo 447 m²; S ≈ 5.269 m²	Gas 30.636 Smc (2015), elettricità 31.751 kWh, illuminazione 10.299 kWh	Diagnosi energetica, CUC Oltrepò Mantovano, 2018
S2 Scuola dell'infanzia, Genova	428,6 m², 3 piani, 1964; zona D, 1.435 GG; caldaia 1997; vetro singolo; ACS elettrica; S = 1.218 m²	Gas 8.344 Smc (media 2015–16), elettricità 19.718 kWh	Comune di Genova, Fondo Kyoto, scheda di audit E13, 2018
S3 Municipio e biblioteca, Gazzola (PC)	760 m² (620 + 140), 2 piani, h netta 5 m; zona E, 2.635 GG; caldaie 1997; serramenti 84 m²; ACS elettrica; S = 3.175 m²	Gas 15.164 Smc (media 2012–16)	Relazione di diagnosi, Provincia di Piacenza, 2018
S4 Municipio, Morgex (AO)	1.100 m², 4 piani, ante 1919; zona F, 3.617 GG; teleriscaldamento a cippato; serramenti 100,6 m²; S = 2.072 m²	Calore 124.306 kWh di combustibile (media 2009–10), elettricità 30.240 kWh	Audit energetico, Espace Mont-Blanc
S5 Biblioteca civica, Torino	874,7 m², 2 piani, primi anni '50; zona E, 2.617 GG; caldaia a condensazione (rendimento globale 73 %); S = 1.976 m²	Gas 25.992 Smc (media normalizzata 2012–15)	Città di Torino, diagnosi energetica Biblioteca Geisser

Primo confronto e correzioni

Con i parametri iniziali il modello ha mostrato tre problemi. Il primo riguarda la geometria: la pianta compatta 2:1 dava una superficie disperdente da 1,25 a 2 volte più piccola di quella degli APE. Gli edifici pubblici reali hanno corpi allungati, a L o separati. Il secondo riguarda l'acqua calda: in quattro casi su cinque è prodotta con boiler elettrici. Il terzo riguarda l'illuminazione, sovrastimata di 2–3 volte: le scuole hanno 4–7 W/m² installati e accendono le luci per 760–2.000 ore equivalenti.

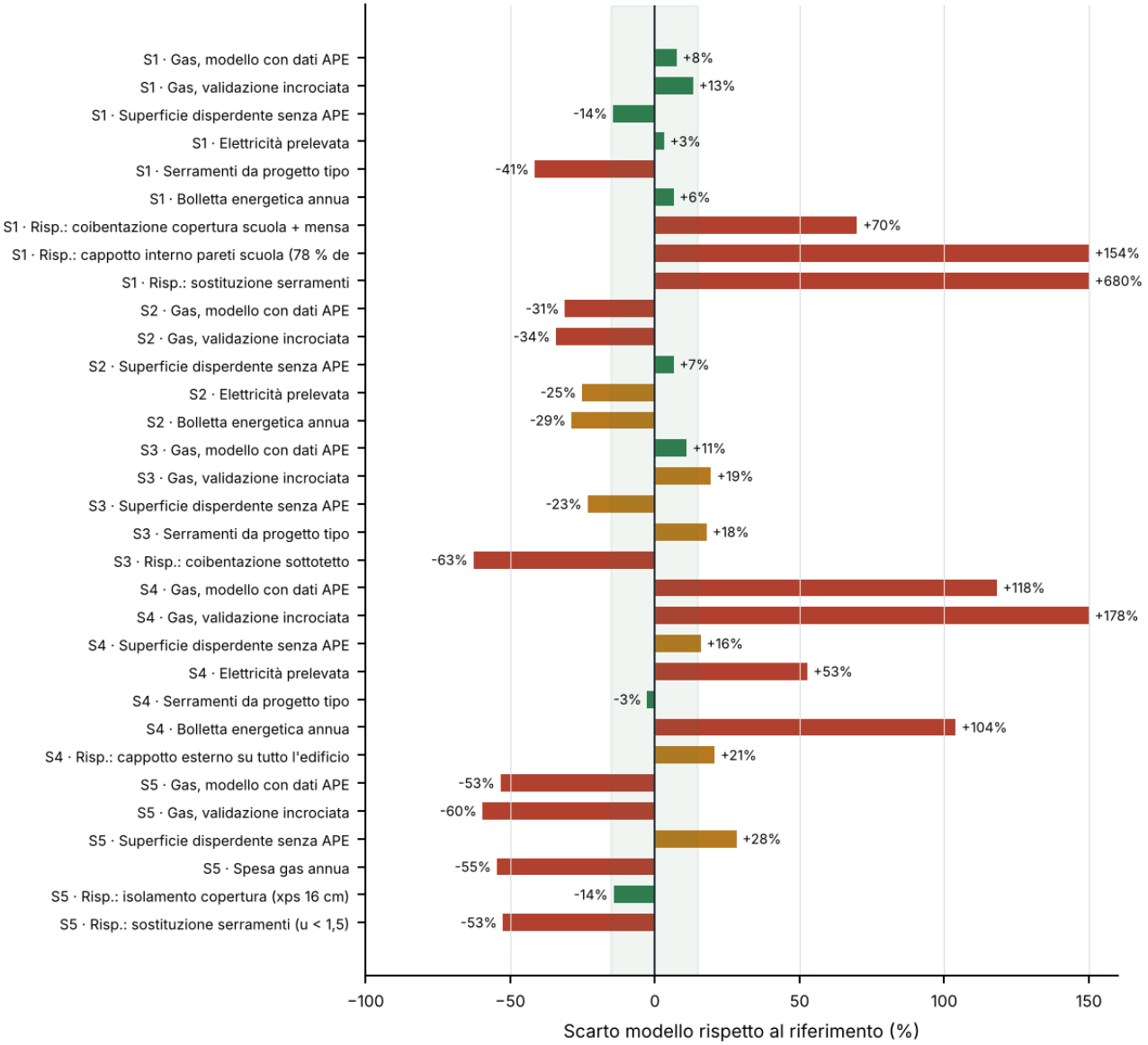
Inserendo la superficie disperdente reale, il modello sovrastimava invece il riscaldamento: il rapporto tra consumo misurato e consumo calcolato andava da 0,27 a 1,29. La ragione è l'uso intermittente: orari scolastici, vacanze, attenuazioni notturne e nel fine settimana, locali chiusi. Un modello a gradi giorno non distingue queste condizioni.

Correzione	Tipo	Valore
Superficie disperdente da APE	Nuovo dato in ingresso	Campo opzionale; le pareti assorbono la differenza rispetto alla geometria tipo
Trasmittanze reali	Nuovo dato in ingresso	Campi opzionali per pareti, copertura, pavimento e serramenti
ACS con boiler elettrici	Nuovo dato in ingresso	Rendimento 0,8; l'ACS esce dal generatore di calore
Ausiliari senza raffrescamento	Correzione strutturale	30 % del valore pieno dove la zona principale non è raffrescata (invariato per i casi della v1.2)
Illuminazione degli edifici pubblici	Taratura su S1, S2, S4	8–10 W/m² (edificio ante 1976) × 800–1.500 ore equivalenti
Rapporto finestrato degli edifici pubblici	Taratura su S1–S4	Scuole 14 %, municipi 6 %, biblioteche 10 % delle pareti
Fattore pareti senza APE	Stima su S1–S5	2,0 volte la pianta compatta (media geometrica 2,18)
Fattore d'uso del riscaldamento	Stima su S1–S5	0,6 (media geometrica dei rapporti misurato/modello 0,62)

Indipendenza dei confronti. Fattore d'uso, fattore pareti e parametri di illuminazione sono stimati sugli stessi cinque casi, quindi un confronto in campione sarebbe ottimistico. Per gas e superficie disperdente la stima d'errore usa la validazione incrociata *leave-one-out*: per ogni caso il fattore è ricalcolato sugli altri quattro e applicato al quinto, che non ha contribuito alla stima. L'illuminazione è indicata come «taratura» e non conta nelle verifiche.

Quadro degli scarti, edifici pubblici

Barre verdi entro ±15 %, ambra entro ±30 %, rosse oltre. Sono esclusi i parametri di taratura.



S1 · Scuola primaria, Sermide (MN)

Grandezza	Riferimento	Modello	Scarto	Esito
Gas, modello con dati APE in campione: il fattore d'uso è stimato anche su questo caso	30.636 Smc	32.961 Smc	+8 %	Conforme
Gas, validazione incrociata fattore d'uso stimato sugli altri 4 casi: 0,64	30.636 Smc	34.684 Smc	+13 %	Conforme
Superficie disperdente senza APE fattore pareti stimato sugli altri 4 casi: 2,04	5.269 m²	4.508 m²	–14 %	Conforme
Elettricità prelevata	31.751 kWh	32.769 kWh	+3 %	Conforme
Illuminazione parametro tarato su questo caso	10.299 kWh	13.083 kWh	+27 %	Taratura
Serramenti da progetto tipo	447 m²	262 m²	–41 %	Fuori tolleranza
Bolletta energetica annua	28.497 €	30.347 €	+6 %	Conforme
Risparmio: coibentazione copertura scuola + mensa in % del consumo di gas	9,4 %	16,0 %	+70 %	Fuori tolleranza
Risparmio: cappotto interno pareti scuola (78 % delle pareti) in % del consumo di gas	9,0 %	22,8 %	+154 %	Fuori tolleranza
Risparmio: sostituzione serramenti in % del consumo di gas	3,1 %	24,1 %	+680 %	Fuori tolleranza

S2 · Scuola dell'infanzia «Gnecco Massa», Genova

Grandezza	Riferimento	Modello	Scarto	Esito
Gas, modello con dati APE in campione: il fattore d'uso è stimato anche su questo caso	8.344 Smc	5.752 Smc	–31 %	Fuori tolleranza
Gas, validazione incrociata fattore d'uso stimato sugli altri 4 casi: 0,57	8.344 Smc	5.493 Smc	–34 %	Fuori tolleranza
Superficie disperdente senza APE fattore pareti stimato sugli altri 4 casi: 2,22	1.218 m²	1.297 m²	+7 %	Conforme
Elettricità prelevata	19.718 kWh	14.755 kWh	–25 %	Accettabile
Illuminazione parametro tarato su questo caso	3.447 kWh	4.115 kWh	+19 %	Taratura
Bolletta energetica annua	10.566 €	7.527 €	–29 %	Accettabile

S3 · Municipio con biblioteca, Gazzola (PC)

Grandezza	Riferimento	Modello	Scarto	Esito
Gas, modello con dati APE in campione: il fattore d'uso è stimato anche su questo caso	15.164 Smc	16.832 Smc	+11 %	Conforme
Gas, validazione incrociata fattore d'uso stimato sugli altri 4 casi: 0,65	15.164 Smc	18.108 Smc	+19 %	Accettabile
Superficie disperdente senza APE fattore pareti stimato sugli altri 4 casi: 2,03	3.176 m²	2.436 m²	–23 %	Accettabile
Serramenti da progetto tipo	84 m²	99 m²	+18 %	Accettabile
Risparmio: coibentazione sottotetto in % del consumo di gas	15,6 %	5,8 %	–63 %	Fuori tolleranza

S4 · Municipio, Morgex (AO)

Grandezza	Riferimento	Modello	Scarto	Esito
Gas, modello con dati APE in campione: il fattore d'uso è stimato anche su questo caso	12.962 Smc	28.291 Smc	+118 %	Fuori tolleranza
Gas, validazione incrociata fattore d'uso stimato sugli altri 4 casi: 0,76	12.962 Smc	36.040 Smc	+178 %	Fuori tolleranza
Superficie disperdente senza APE fattore pareti stimato sugli altri 4 casi: 2,27	2.072 m²	2.401 m²	+16 %	Accettabile
Elettricità prelevata	30.240 kWh	46.190 kWh	+53 %	Fuori tolleranza
Illuminazione parametro tarato su questo caso	8.120 kWh	9.900 kWh	+22 %	Taratura
Serramenti da progetto tipo	101 m²	98 m²	–3 %	Conforme
Bolletta energetica annua	19.424 €	39.621 €	+104 %	Fuori tolleranza
Risparmio: cappotto esterno su tutto l'edificio in % del consumo di gas	56,0 %	67,6 %	+21 %	Accettabile

S5 · Biblioteca civica «Geisser», Torino

Grandezza	Riferimento	Modello	Scarto	Esito
Gas, modello con dati APE in campione: il fattore d'uso è stimato anche su questo caso	25.992 Smc	12.126 Smc	–53 %	Fuori tolleranza
Gas, validazione incrociata fattore d'uso stimato sugli altri 4 casi: 0,52	25.992 Smc	10.504 Smc	–60 %	Fuori tolleranza
Superficie disperdente senza APE fattore pareti stimato sugli altri 4 casi: 2,37	1.976 m²	2.534 m²	+28 %	Accettabile
Spesa gas annua	18.163 €	8.246 €	–55 %	Fuori tolleranza
Risparmio: isolamento copertura (xps 16 cm) in % del consumo di gas	21,4 %	18,3 %	–14 %	Conforme
Risparmio: sostituzione serramenti (u < 1,5) in % del consumo di gas	29,6 %	14,1 %	–53 %	Fuori tolleranza

Lettura dei risultati

Gas. Con la validazione incrociata, tre casi su cinque sono entro ±35 %: Sermide +13 %, Gazzola +19 %, Gnecco Massa –34 %. Due casi sono fuori tolleranza. Morgex (+178 %) riscalda solo 6,1 ore al giorno da teleriscaldamento a cippato; la stessa diagnosi calcolava 527.795 kWh in condizioni standard contro 124.306 misurati, un errore di 4,2 volte. Alla Biblioteca Geisser (–60 %) la caldaia ha un rendimento globale del 73 % contro l'84,5 % del modello, e i consumi sono incerti per la chiusura al pubblico nel 2014. Senza bollette, l'errore del modello sul riscaldamento di un edificio pubblico può quindi superare il 60 %: per i progetti va sempre usata la calibrazione sui consumi reali.

Elettricità e bollette. Il prelievo elettrico è entro il 3 % per la scuola di Sermide. È sottostimato del 25 % per la scuola dell'infanzia, che ha cucina e lavanderia elettriche, e sovrastimato del 53 % per il municipio di Morgex, dove le apparecchiature sono 18,6 kWh/m² contro i 25 del profilo. La bolletta complessiva è entro ±30 % in due casi su tre.

Risparmi. I risparmi degli interventi sono il confronto più debole. A Morgex il cappotto vale il 68 % contro il 56 % stimato dalla diagnosi, e alla biblioteca Geisser l'isolamento della copertura il 18 % contro il 21 %. Alla Geisser i nuovi serramenti valgono il 14 % contro il 30 %, perché il modello stima meno superficie vetrata di quella reale. A Sermide il modello dà risparmi da 1,7 a 8 volte maggiori di quelli della diagnosi, che però non sono coerenti con le sue stesse dispersioni: i serramenti pesano il 34,6 % delle perdite per trasmissione, mentre la loro sostituzione risulta solo del 3 %. A Gazzola il modello sottostima l'isolamento del sottotetto (6 % contro 16 %), perché la superficie da APE attribuisce gran parte delle dispersioni alle pareti.

Sintesi. 32 grandezze verificate: 9 conformi, 8 accettabili, 15 fuori tolleranza. Per gli edifici pubblici il programma è adatto a confrontare interventi e generatori e a stimare il Conto Termico; per i valori assoluti di consumo e

risparmio va calibrato sulle bollette e alimentato con superficie disperdente e trasmittanze dell'APE.

Conto Termico sui casi pubblici

Le scuole ottengono sempre il 100 % della spesa ammissibile. Municipi e biblioteche lo ottengono se il comune ha fino a 15.000 abitanti; altrimenti valgono le percentuali ordinarie. Nei tre esempi seguenti le quantità vengono dagli interventi della diagnosi. L'importo coincide al centesimo con il calcolatore allegato, eseguito sugli stessi dati.

S1 Sermide: copertura, cappotto interno sul 78 % delle pareti, serramenti — incentivo al 100 %; calcolatore allegato: 919.917 €

Intervento	Quantità	Cmax	Massimale	%	Incentivo
Coperture – esterno	1.240 m²	300 €/m²	371.859 €	100 %	371.859 €
Pareti – interno	1.809 m²	100 €/m²	180.882 €	100 %	180.882 €
Chiusure trasparenti e infissi	459 m²	800 €/m²	367.176 €	100 %	367.176 €
Totale			919.917 €		919.917 €

S3 Gazzola (2.100 abitanti): isolamento del sottotetto — incentivo al 100 %; calcolatore allegato: 57.000 €

Intervento	Quantità	Cmax	Massimale	%	Incentivo
Coperture – interno	380 m²	150 €/m²	57.000 €	100 %	57.000 €
Totale			57.000 €		57.000 €

S5 Torino (oltre 15.000 abitanti): copertura e serramenti — incentivo con percentuali ordinarie; calcolatore allegato: 100.837 €

Intervento	Quantità	Cmax	Massimale	%	Incentivo
Coperture – esterno	437 m²	300 €/m²	131.199 €	50 %	65.600 €
Chiusure trasparenti e infissi	110 m²	800 €/m²	88.094 €	40 %	35.237 €
Totale			219.293 €		100.837 €

Test delle regole per gli edifici pubblici

Test	Risultato	Esito
Scuola primaria: 100 % automatico	incentivo 100 %	Superato
Scuola dell'infanzia: 100 % automatico	incentivo 100 %	Superato
Municipio di comune oltre 15.000 abitanti: percentuali ordinarie	incentivo 50 / 40 %	Superato
Municipio di comune fino a 15.000 abitanti: 100 %	incentivo 100 %	Superato
Biblioteca di comune oltre 15.000 abitanti: percentuali ordinarie	incentivo 50 / 40 %	Superato
Biblioteca di comune fino a 15.000 abitanti: 100 %	incentivo 100 %	Superato
Scelta manuale «Sì» prevale sull'automatico	incentivo 100 %	Superato
Illuminazione scuola = W/m² · fattore d'epoca · ore	6400 kWh (8 W/m² × 800 h)	Superato
Pareti degli edifici pubblici = 2 × pianta compatta senza dato APE	664 → 1328 m²	Superato
Superficie disperdente da APE rispettata	2500 m²	Superato
ACS elettrica: esce dal gas ed entra nell'elettricità (rendimento 0,8)	3750 kWh elettrici	Superato
Fattore d'uso 0,6 applicato al solo riscaldamento	ACS esclusa	Superato
Trasmittanze reali: sostituiscono solo il valore inserito	U pareti 0,5, copertura da epoca	Superato

9. Conto Termico 3.0

L'applicativo calcola massimale di spesa e incentivo per ogni intervento attivato nella diagnosi, con le formule del calcolatore allegato (Tabella 7 e §1–2 dell'allegato al decreto, G.U. n. 224 del 26-9-2025). Le quantità non vengono reinserite: sono prese dalla diagnosi.

Coperture (art. 5 c. 1 lett. a)	Copertura opaca × % coibentazione copertura; posa esterna, interna o ventilata a scelta
Pavimenti (lett. a)	Pavimento × % coibentazione pavimento; posa interna o esterna
Pareti perimetrali (lett. a)	Pareti opache × % coibentazione pareti; cappotto, interno o parete ventilata
Chiusure trasparenti (lett. b)	(Serramenti verticali + lucernari) × % sostituzione; richiede termoregolazione
Pompa di calore (art. 8 c. 1 lett. a)	Roof top → «Aria/aria rooftop», pompa di calore → «Aria/acqua»; P_{rated} = taglia dimensionata dal programma; SCOP di targa e kp inseriti
Fotovoltaico e accumulo (lett. h)	kWp e kWh dei nuovi impianti; maggiorazione moduli a scelta
Premialità ≥ 40 %	Automatica: riduzione dell'energia primaria non rinnovabile di riscaldamento, raffrescamento e illuminazione (fattori 1,95 el. e 1,05 gas); sovrascrivibile

Confronto con il calcolatore originale

5.000 combinazioni casuali generate con seme fisso: **0 differenze** superiori a 1 € su totale. spesa ammissibile. righe e pompa di calore. Sono state esercitate tutte le 23 voci di riga del calcolatore; 3.216 casi includono la pompa di calore e 1.545 righe sono limitate dal valore massimo.

Voce	Casi	Voce	Casi
Fotovoltaico	2.563	Coperture – interno	737
Coperture – esterno	2.087	Pavimenti – esterno	707
Chiusure trasparenti e infissi	2.055	Building automation	684
Pareti – esterno	1.977	Coperture – ventilata	547
Sistema di accumulo	1.736	Pareti – parete ventilata	517
Illuminazione – alta efficienza	1.421	NZEB (zona F)	112
Pavimenti – interno	1.105	NZEB (zona E)	110
Illuminazione – LED	1.028	NZEB (zona A)	95
Schermature / ombreggiamento	891	NZEB (zona B)	94
Filtri solari selettivi	848	NZEB (zona D)	93
Automatismi schermature	808	NZEB (zona C)	77
Pareti – interno	755		

Esempi calcolati a mano

Ogni esempio è calcolato a mano dalle formule e confrontato con l'applicativo e con il calcolatore allegato.

E1 · Impresa piccola, zona E, multi-intervento — Coincide

Intensità 50 % (multi-intervento piccola impresa). Coperture 2.500×300=750.000 → 375.000; pareti 1.000×200=200.000 → 100.000; infissi 300×800=240.000 → 120.000; FV 150×1.200=180.000 ×20 % = 36.000; accumulo 100×1.000 ×20 % = 20.000; roof top: Qu=160×1.700=272.000 kWh, Ei=272.000×(1–1/4)=204.000, Ci=0,055 → 11.220 €/anno × 5 = 56.100.

	A mano	Applicativo	Calcolatore allegato
Incentivo totale	707.100 €	707.100 €	707.100 €

E2 · Privato, zona E, tetto cumulato lett. a) — Coincide

Zona E/F: 50 %. Coperture 5.000×300=1.500.000 → 750.000; pareti 3.000×200=600.000 → 300.000; somma 1.050.000 > 1.000.000 → riduzione proporzionale ×0,95238: 714.286 + 285.714 = 1.000.000.

	A mano	Applicativo	Calcolatore allegato
Incentivo totale	1.000.000 €	1.000.000 €	1.000.000 €

E3 · PA art. 11 c. 2, zona C — Coincide

100 %. Infissi 200×700=140.000 → 140.000; PDC aria/acqua 30 kW: Qu=30×1.100=33.000, Ei=33.000×(1–1/3,5)×1,1=25.928,6, Ci=0,15 → 3.889,3 €/anno × 2 = 7.778,6; FV 20×1.500=30.000 ×20 % = 6.000. Totale 153.778,6.

	A mano	Applicativo	Calcolatore allegato
Incentivo totale	153.779 €	153.779 €	153.779 €

E4 · Infissi senza termoregolazione — Coincide

Voce esclusa con avviso: l'incentivo richiede termoregolazione o valvole termostatiche.

	A mano	Applicativo	Calcolatore allegato
Incentivo totale	0 €	0 €	0 €

E5 · Impresa media, PDC con tetto Titolo III — Coincide

Qu=200×1.700=340.000, Ei=340.000×(1–1/4,2)=259.048, Ci=0,06 → 15.543 €/anno ×5 = 77.714; tetto 55 % (media impresa, Titolo III) della spesa 40.000 = 22.000.

	A mano	Applicativo	Calcolatore allegato
Incentivo totale	22.000 €	22.000 €	22.000 €

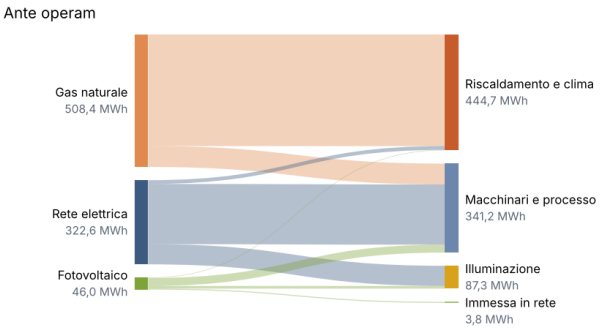
Quantità dalla diagnosi

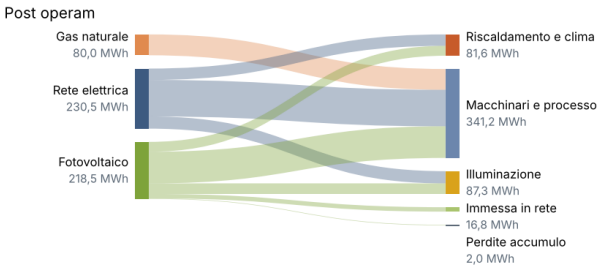
Test	Risultato	Esito
E1 · Impresa piccola, zona E, multi-intervento	a mano 707.100 · app 707.100 · originale 707.100 €	Superato
E2 · Privato, zona E, tetto cumulato lett. a)	a mano 1.000.000 · app 1.000.000 · originale 1.000.000 €	Superato
E3 · PA art. 11 c. 2, zona C	a mano 153.779 · app 153.779 · originale 153.779 €	Superato
E4 · Infissi senza termoregolazione	a mano 0 · app 0 · originale 0 €	Superato
E5 · Impresa media, PDC con tetto Titolo III	a mano 22.000 · app 22.000 · originale 22.000 €	Superato
Coperture = copertura opaca × % intervento	2553.6 m²	Superato
Pavimenti = pavimento × % intervento	1020.0 m²	Superato
Pareti = pareti opache × % intervento	983.4 m²	Superato
Infissi = (serramenti + lucernari) × % intervento	373.6 m²	Superato
PDC: tipologia e potenza dal dimensionamento	rooftop 160 kW	Superato
FV e accumulo dagli input	150 kWp, 100 kWh	Superato
Nessun intervento: nessuna voce incentivata	0 €	Superato
Premialità ≥ 40 % automatica: non applicata sotto soglia	riduzione EP 2.0 %	Superato
Premialità ≥ 40 % automatica: applicata sopra soglia	riduzione EP 72.6 %	Superato
Caso della diagnosi: app = calcolatore originale	890.160 €	Superato
Confronto con il calcolatore originale su 5000 casi casuali	0 scarti > 1 € su 23 voci; 3216 casi con PDC, 1545 righe limitate dal massimale	Superato

10. Diagrammi di Sankey e torte della CO_2

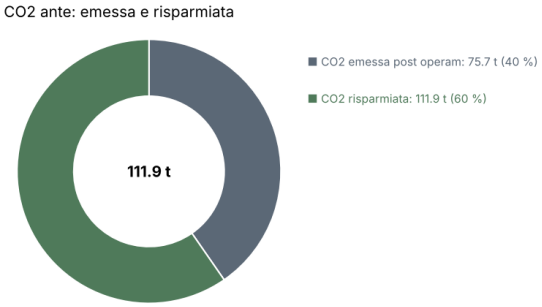
Le figure seguenti sono tracciate dalla geometria calcolata dalle funzioni dell'applicativo (posizione e spessore di nodi e flussi, etichette, settori), sull'esempio precompilato: capannone di 3.600 m² a Milano, coibentazione parziale, serramenti, roof top, 150 kWp e accumulo, raffrescamento esteso al 30 % del produttivo.

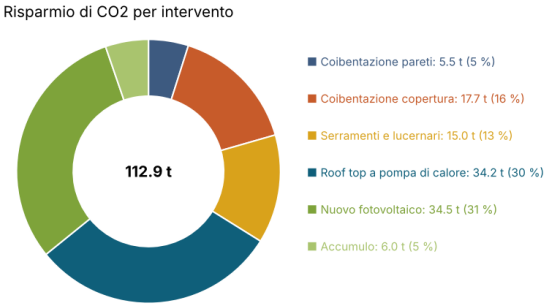
Nel Sankey le fonti (gas, rete, fotovoltaico) sono a sinistra e gli usi finali a destra, in MWh di energia finale. Ante e post usano la stessa scala: lo spessore complessivo è proporzionale all'energia totale (test superato con rapporto esatto). Durante il collaudo questo test ha rilevato un difetto: lo spazio tra i nodi dipendeva dal numero di nodi presenti e alterava la scala del post operam. È stato corretto prima della pubblicazione.





La prima torta divide la CO_2 ante operam tra emessa dopo gli interventi e risparmiata. La seconda divide il risparmio tra gli interventi. Un intervento che aumenta le emissioni, come l'estensione del raffrescamento, non può comparire in una torta: viene escluso dal grafico e indicato in una nota con il suo valore, così che la somma della torta (112,9 t) e il risparmio netto (111,9 t) siano entrambi leggibili.





Raffrescamento ante e post operam

Per ciascun ambiente si indica se è raffrescato e con quale percentuale di superficie, prima e dopo gli interventi. Il fabbisogno per m² è quello degli uffici della zona climatica moltiplicato per 0,5 nei magazzini e 0,9 nel produttivo, ridotto da coibentazione della copertura e serramenti. Le superfici già raffrescate mantengono l'EER esistente (2,6) se il generatore non cambia; quelle nuove usano macchine nuove (EER 3,6). Con pompa di calore o roof top tutto il raffrescamento passa al nuovo generatore, la cui taglia copre il maggiore tra carico invernale × 1,1 e carico frigorifero.

11. Nuovi generatori post operam

Oltre a pompa di calore aria-acqua e roof top, la versione 1.3 simula cinque nuovi generatori post operam: pompa di calore aria-aria, VRF/VRV a pompa di calore e a recupero di calore, pompa di calore geotermica e sistema ibrido. VRV è il nome commerciale Daikin della tecnologia VRF: le due varianti simulate sono quella a 2 tubi (solo caldo o solo freddo per ciclo) e quella a 3 tubi con recupero di calore.

Generatore	SCOP	EER	Distribuzione	Dimensionamento	Conto Termico (Tab. 9)
Pompa di calore aria-acqua	3,4	3,6	0,90	max(1,1 × dispersioni; carico frigorifero)	Aria/acqua
Roof top	3,1	3,3	0,95	unità da circa 80 kW	Aria/aria rooftop
Pompa di calore aria-aria	3,6	4,0	0,97	unità multisplit fino a 12 kW	Split/multisplit, n unità ≤ 12 kW
VRF/VRV a pompa di calore	3,8	4,2	0,97	come sopra	Aria/aria VRF/VRV
VRF/VRV a recupero di calore	4,0	4,5	0,97	come sopra	Aria/aria VRF/VRV
Pompa di calore geotermica	4,4	5,0	0,92	sonde: P · (1 – 1/SCOP) / 50 W/m	Salamoia/acqua
Ibrido PdC + condensazione	3,8 (PdC)	—	0,90	caldaia 1,1 × dispersioni; PdC 45 % della caldaia	Estensione: k = 1,25 × Ei × Ci

SCOP ed EER sono valori stagionali di esercizio per la zona E, corretti per la zona climatica (–0,4 in zona F, +0,4 in zona A; per la geotermica la correzione è ridotta al 30 %). Nel sistema ibrido la pompa di calore copre una quota del calore che va dal 92 % in zona A al 70 % in zona F; il resto è prodotto dalla caldaia a condensazione (0,96). L'ibrido non raffresca: restano le macchine frigorifere esistenti.

Conto Termico per l'ibrido. Il calcolatore allegato non tratta i sistemi ibridi. Il programma li aggiunge con la formula del DM 7 agosto 2025: Ia = k · Ei · Ci, con k = 1,25 per i sistemi factory made, Ei calcolato sulla sola pompa di calore e Ci come per l'aria/acqua (0,15 €/kWh fino a 35 kW, 0,06 oltre), per 2 o 5 anni. Le imprese e gli ETS economici sono esclusi per i sistemi con caldaia a gas. La formula è verificata su tre esempi pubblicati (tabella seguente).

Esempi esterni di calcolo del Conto Termico

Esempio	Risultato	Esito
Esempio esterno 1 · ibrido factory made 8 kW, Padova (TermicoFacile)	2360.7 €/anno, 4721 € (atteso 2.360,6 e 4.721)	**Coincide**
Esempio esterno 2 · ibrido factory made 10 kW, zona E (NaturalNZEB)	2671 €/anno, 5343 € (atteso 2.671 e 5.343)	**Coincide**
Esempio esterno 3 · PdC add-on 8 kW, Firenze, k = 1 (Caleffi)	1708.29 €/anno (atteso 1.708,20)	**Coincide**
Esempio esterno 4 · PdC aria-acqua 10 kW, Milano (Caleffi)	app 2773.13, calcolatore 2773 €/anno (atteso 2.773,12)	**Coincide**

Test dei generatori e della mappatura Conto Termico

Test	Risultato	Esito
Pompa di calore aria-acqua: elettricità per riscaldamento = Q / (SCOP · η)	SCOP 3.30, 74805 kWh	**Superato**
Roof top a pompa di calore: elettricità per riscaldamento = Q / (SCOP · η)	SCOP 3.00, 77955 kWh	**Superato**
Pompa di calore aria-aria (split / multisplit): elettricità per riscaldamento = Q / (SCOP · η)	SCOP 3.50, 65441 kWh	**Superato**
VRF / VRV a pompa di calore (2 tubi): elettricità per riscaldamento = Q / (SCOP · η)	SCOP 3.70, 61903 kWh	**Superato**

Test	Risultato	Esito
VRF / VRV a recupero di calore (3 tubi): elettricità per riscaldamento = Q / (SCOP · η)	SCOP 3.90, 58729 kWh	Superato
Pompa di calore geotermica (salamoia-acqua): elettricità per riscaldamento = Q / (SCOP · η)	SCOP 4.37, 55261 kWh	Superato
Ordine dei consumi in zona E: geotermica < VRF recupero < VRF < aria-aria < aria-acqua < roof top	55 MWh < 59 MWh < 62 MWh < 65 MWh < 75 MWh < 78 MWh	Superato
Ibrido: quota della pompa di calore secondo la zona	78 % in zona E	Superato
Ibrido: gas = Q · (1 – quota) / (0,96 · 0,90)	5899 Smc	Superato
Ibrido: potenza PdC ≤ 0,5 × potenza caldaia	PdC 83 kW, caldaia 185 kW	Superato
Ibrido: il raffrescamento resta alle macchine esistenti	stesso EER del generatore invariato	Superato
Aria-aria: unità multisplit ≤ 12 kW	16 unità da 11.6 kW	Superato
Geotermica: metri di sonda = P · (1 – 1/SCOP) / 50 W/m	2860 m per 185 kW	Superato
Taglia ≥ max(1,1 × dispersioni; carico frigorifero) per i sistemi reversibili	hp 185, rt 185, aa 185, vrf 185, vrfr 185, geo 185 kW	Superato
Raffrescamento con l'EER del nuovo generatore	EER 3,3–5,0	Superato
Sankey in pareggio con pompa di calore geotermica (salamoia-acqua)	492.2 MWh	Superato
Sankey in pareggio con sistema ibrido	549.9 MWh	Superato
Pompa di calore aria-acqua: tipologia Tabella 9 «Aria/acqua»	290 kW, Ci 0.06	Superato
Roof top a pompa di calore: tipologia Tabella 9 «Aria/aria rooftop»	290 kW, Ci 0.055	Superato
VRF / VRV a pompa di calore (2 tubi): tipologia Tabella 9 «Aria/aria VRF/VRV»	290 kW, Ci 0.055	Superato
VRF / VRV a recupero di calore (3 tubi): tipologia Tabella 9 «Aria/aria VRF/VRV»	290 kW, Ci 0.055	Superato
Pompa di calore geotermica (salamoia-acqua): tipologia Tabella 9 «Salamoia/acqua»	290 kW, Ci 0.06	Superato
Aria-aria oltre 12 kW: n unità ≤ 12 kW, incentivo = n × incentivo della singola unità	25 × 2071 € = 51765 €	Superato
Ibrido: Ia = 1,25 · Ei · Ci sulla sola pompa di calore	130 kW → 71825 €	Superato
Ibrido per imprese: incentivo nullo con avviso	caldaia a gas esclusa per imprese ed ETS economici	Superato

Confronto dei generatori su due edifici

Stessi interventi sull'involucro, cambia solo il generatore. Il capannone è l'esempio precompilato dell'applicativo (impresa, Milano). La scuola è il caso S1 con i dati APE, con copertura, cappotto interno e serramenti (PA, 100 %). Prezzi: capannone 1,25 €/Smc e 0,32 €/kWh; scuola 0,697 €/Smc e 0,225 €/kWh.

Capannone, Milano

Generatore	Gas Smc	Rete kWh	Risparmio	CO_2 evitata	Taglia	CT generatore
Nessuna sostituzione	34.217	322.105	23.650 €	37,2 t	—	0 €
Pompa di calore aria-acqua	8.342	384.383	36.057 €	72,3 t	165 kW	62.005 €
Roof top a pompa di calore	8.342	387.891	34.934 €	71,4 t	165 kW	55.710 €
Pompa di calore aria-aria (split / multisplit)	8.342	375.192	38.999 €	74,7 t	165 kW	29.452 €
VRF / VRV a pompa di calore (2 tubi)	8.342	371.683	40.122 €	75,6 t	165 kW	57.853 €
VRF / VRV a recupero di calore (3 tubi)	8.342	368.399	41.174 €	76,5 t	165 kW	58.771 €
Pompa di calore geotermica (salamoia-acqua)	8.342	364.683	42.363 €	77,4 t	165 kW · 2.550 m sonde	66.619 €
Sistema ibrido: pompa di calore aria-acqua + caldaia a condensazione	13.676	365.998	35.274 €	66,5 t	74 kW + 165 kW cald.	0 €

Scuola primaria, Sermide

Generatore	Gas Smc	Rete kWh	Risparmio	CO_2 evitata	Taglia	CT generatore
Nessuna sostituzione	12.256	29.798	15.100 €	41,7 t	—	0 €
Pompa di calore aria-acqua	0	57.648	17.376 €	58,7 t	110 kW	41.337 €
Roof top a pompa di calore	0	58.895	17.095 €	58,4 t	110 kW	37.140 €
Pompa di calore aria-aria (split / multisplit)	0	53.941	18.210 €	59,7 t	110 kW	19.635 €
VRF / VRV a pompa di calore (2 tubi)	0	52.541	18.525 €	60,0 t	110 kW	38.569 €
VRF / VRV a recupero di calore (3 tubi)	0	51.285	18.807 €	60,3 t	110 kW	39.181 €
Pompa di calore geotermica (salamoia-acqua)	0	49.912	19.116 €	60,7 t	110 kW · 1.700 m sonde	44.412 €
Sistema ibrido: pompa di calore aria-acqua + caldaia a condensazione	2.335	49.024	17.689 €	56,3 t	49 kW + 110 kW cald.	22.560 €

A parità di involucro la geotermica dà il risparmio maggiore e il roof top il minore. Per la scuola il Conto Termico della pompa di calore aria-aria è più basso perché la Tabella 9 assegna alle split C_i = 0,07 €/kWh. Per le imprese l'ibrido non riceve incentivo.

12. Modifiche introdotte nelle versioni 1.1, 1.2 e 1.3

Superfici vetrate esplicite	Tabella dei m² per ambiente da progetto tipo (serramenti verticali 25 / 10 / 6 % della parete; lucernari 8 % e 4 % della copertura) con possibilità di inserire i m² reali.
Gas in Smc e MWh	Tutti i consumi di gas a schermo e nel PDF in entrambe le unità (PCI 9,59 kWh/Smc).
Coibentazione orizzontale separata	Copertura e pavimento hanno percentuali distinte; necessario per simulare lo scenario A del caso 1.
Gradi giorno del comune	Campo opzionale per usare i GG del comune invece del capoluogo.
Calibrazione su bolletta	Gas, elettricità e quota di gas di processo da bolletta; il modello riparte i consumi reali tra gli usi e li usa come stato ante operam.
Taratura uffici	Apparecchiature 35 kWh/m², ausiliari 8 kWh/m², raffrescamento 25–70 kWh/m² per zona climatica.
v1.2 · Conto Termico 3.0	Massimali di spesa e incentivi per ogni intervento della diagnosi, con la logica del calcolatore allegato; tabella a schermo e nel PDF.

v1.2 · Sankey ante e post	Flussi di energia finale da gas, rete e fotovoltaico verso gli usi, alla stessa scala; a schermo e nel PDF.
v1.2 · Torte CO_2	CO_2 emessa e risparmiata; risparmio per intervento con indicazione dei contributi negativi.
v1.2 · Raffrescamento	Presenza e percentuale di superficie raffrescata per ambiente, ante e post; dimensionamento sul carico frigorifero.
v1.3 · Edifici pubblici	Scuola primaria, scuola dell'infanzia o asilo nido, municipio, biblioteca: profili d'uso, etichette delle zone, Conto Termico al 100 % automatico per scuole e comuni fino a 15.000 abitanti.
v1.3 · Nuovi generatori	Pompa di calore aria-aria, VRF/VRV a pompa di calore e a recupero, geotermica con lunghezza delle sonde, sistema ibrido con incentivo dedicato.
v1.3 · Dati da APE	Superficie disperdente, trasmittanze reali, ACS con boiler elettrici; ausiliari ridotti dove non c'è raffrescamento.
v1.3 · PDF	Corretto il simbolo «≤» non stampabile nel report dell'applicativo (trovato dai test).

13. Limiti e raccomandazioni d'uso

• **Calibrare sempre lo stato ante operam** con almeno un anno di bollette quando l'attività ha processi energivori: senza calibrazione i consumi di processo possono avere scarti del 50–200 %.

• **Indicare la quota di gas di processo** quando nota (sottocontatori, diagnosi precedenti): da essa dipende la ripartizione tra riscaldamento e processo e quindi il risparmio degli interventi sull'involucro.

• **Verificare la trasmittanza reale della copertura** nei capannoni: è il componente con il peso maggiore sulle dispersioni e l'epoca costruttiva da sola può sovrastimarne la trasmittanza (caso 1).

• **Apporti interni dei processi**: non sono modellati; in stabilimenti con forni, vasche o vapore il fabbisogno di riscaldamento è sovrastimato (caso 3). Possibile sviluppo per la versione successiva.

• **Fotovoltaico**: la producibilità per area geografica è confermata entro il 2 %; impianti con prestazioni ridotte (il caso 1 dichiara 830 kWh/kWp) richiedono una correzione manuale.

• **Edifici pubblici**: senza bollette l'errore sul riscaldamento può superare il 60 % per effetto degli orari d'uso; inserire superficie disperdente e trasmittanze dell'APE e calibrare sui consumi. I parametri di illuminazione e il fattore d'uso sono stimati su cinque casi: vanno aggiornati quando saranno disponibili altri edifici.

• **Nuovi generatori**: SCOP ed EER sono valori di modello e non sono stati confrontati con consumi misurati di impianti reali; la quota della pompa di calore nell'ibrido dipende dalla regolazione e dal punto di bivalenza.

• **Conto Termico**: il calcolo ripete fedelmente il calcolatore allegato, comprese le sue scelte (per esempio la pompa di calore non conta nel numero di interventi per l'intensità d'impresa e la maggiorazione vale solo per i moduli FV). Requisiti tecnici, ammissibilità per categoria catastale e importo definitivo sono verificati dal GSE.

• **Premialità ≥ 40 %**: la stima automatica include il fotovoltaico nella riduzione di energia primaria; il dato definitivo deriva dagli APE ante e post.

• **Raffrescamento di magazzini e produttivo**: i coefficienti 0,5 e 0,9 non sono stati validati su casi misurati; in presenza di forti carichi interni conviene calibrare con i consumi estivi.

• Il modello resta uno strumento di stima preliminare e non sostituisce la diagnosi energetica ai sensi del D.Lgs. 102/2014 né il calcolo UNI/TS 11300.

14. Fonti

• Confindustria Bergamo, «La decarbonizzazione del capannone industriale», 2.1 Diagnosi energetica finalizzata all'efficientamento energetico ed impiantistico (caso Meccanotecnica S.p.A., reparto 30). confindustriabergamo.it

• ENEA – Assoimmobiliare, «Benchmark di consumo energetico degli edifici per uffici in Italia», maggio 2019. cdn.qualenergia.it/wp-content/uploads/2019/06/Rapporto_Benchmark-Consumi-Uffici_Enea-Assoimmobiliare_2019.pdf

• QualEnergia, «Consumi energetici negli uffici, la climatizzazione pesa per il 57 %» (sintesi del rapporto ENEA–Assoimmobiliare). qualenergia.it

• Città Metropolitana di Venezia, allegato D10 «Analisi energetica», Dradura Italia S.r.l. – sito OMIM di San Donà di Piave. politicheambientali.provincia.venezia.it

• Calcolatore Conto Termico 3.0 (file allegato dall'utente), basato sulla Tabella 7 e sui §1–2 dell'allegato al decreto pubblicato in G.U. n. 224 del 26-9-2025.

• Diagnosi energetica Scuola Elementare di Sermide (MN), CUC Oltrepò Mantovano, 2018. cucoltrepomantovano.it

• Comune di Genova, Fondo Kyoto – Scuola 3: scheda di audit E13 «Gnecco Massa». smart.comune.genova.it

• Comune di Gazzola, Relazione di diagnosi energetica del Municipio, Provincia di Piacenza, 2018. provincia.pc.it

• Comune di Morgex, Stato di fatto e diagnosi energetica del Municipio. observatoire.espace-mont-blanc.com

• Città di Torino, Report di diagnosi energetica Biblioteca Civica Alberto Geisser. geoportale.comune.torino.it

• Conto Termico 3.0, sistemi ibridi: TermicoFacile (termicofacile.it), NaturalNZEB (naturalnzeb.it), Caleffi «Conto Termico 3.0» (caleffi.com); ANCE, Approfondimento Conto Termico 3.0 (regole del 100 %).

• DPR 412/1993 (gradi giorno); DM 26/06/2015 «Requisiti minimi» (trasmittanze e fattori di energia primaria: elettricità 1,95, gas 1,05).