



in collaborazione con



POLITECNICO  
MILANO 1863

con il Patrocinio di



# Monitoraggio per il miglioramento dell'efficienza energetica

Martedì, 18 Maggio 2021

## Monitoraggio energetico: il ruolo dei fattori influenzanti

Cristina Lavecchia



FONDAZIONE  
Osservatorio Meteorologico  
Milano Duomo

Direttrice Fondazione OMD  
[c.lavecchia@fondazioneomd.it](mailto:c.lavecchia@fondazioneomd.it)

# PRESTAZIONE ENERGETICA

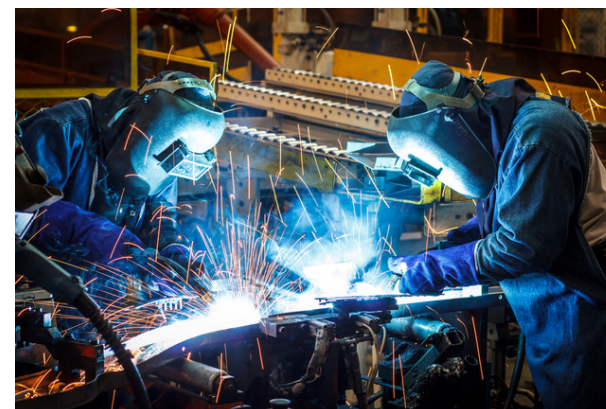
## CONSUMI ENERGETICI:

sono sufficienti per valutare la prestazione energetica e quindi l'efficienza energetica di aziende, edifici, impianti tecnici o industriali, processi o servizi ?

2015	1 601 588 kWh
2016	1 469 155 kWh
2017	1 560 202 kWh
<b>TOT</b>	<b>4 630 945 kWh</b>

?

Non molto significativi per condizioni climatiche e di produzione diverse



- La **PRODUZIONE** è rimasta costante ?



- Le **STAGIONI METEOROLOGICHE** sono paragonabili ?

# PRESTAZIONE ENERGETICA

- La **PRODUZIONE** è rimasta costante ?
- Le **STAGIONI METEOROLOGICHE** sono paragonabili ?
- ...



## FATTORI INFLUENZANTI

qualsiasi **parametro misurabile** o **quantificabile** che ha un impatto su consumo/prestazione di energia e sia da esso **indipendente**.

Vanno identificati in funzione dell'uso dell'energia

I più significativi e caratterizzanti sono soggetti a variazione temporale

### PROCESSO

*quantità materie prime  
quantità prodotte*

### OPERAZIONALI

*volumetrie ambiente  
numero occupanti*

### AMBIENTALI

*condizioni meteorologiche  
microclima indoor*

# PRESTAZIONE ENERGETICA

- Fattori Influenzanti, IPE (EnPI)
- Benchmark interni/esterni all'organizzazione



Agenzia nazionale per le nuove tecnologie,  
l'energia e lo sviluppo economico sostenibile



ASSOIMMOBILIARE

[https://www.enea.it/it/Stampa/File/Rapporto\\_BenchmarkConsumiUffici\\_EneaAssomobiliare\\_2019.pdf](https://www.enea.it/it/Stampa/File/Rapporto_BenchmarkConsumiUffici_EneaAssomobiliare_2019.pdf)

Benchmark di consumo energetico  
degli edifici per uffici in Italia

Rapporto Monografico  
Maggio 2019

AGENZIA NAZIONALE  
EFFICIENZA ENERGETICA



<https://www.energiaefficienza.gov.it/servizi-per/imprese/diagnosi-energetiche/indicazioni-operative.html>

---



*Diagnosi Energetiche art 8 del D.Lgs. 102/2014*

*Linee Guida e Manuale Operativo*

*Clusterizzazione, il rapporto di diagnosi ed il piano di monitoraggio*

- Sedi e Zone: edifici/impianti
- Produzione/Servizi
- Climatizzazione ambienti
- ...

<https://www.energiaefficienza.gov.it/servizi-per/imprese/diagnosi-energetiche/linee-guida-settoriali.html>



ABI Lab Competence Center

**Linee Guida per l'introduzione di metodologie di misura nell'ambito delle diagnosi energetiche del settore bancario**

**Versione del 13/06/2017**

Data
03-05-2019

# INDICATORI DI PRESTAZIONE ENERGETICA

Gli indicatori di prestazione energetica IPE (EnPI – Energy Performance Indicator) si possono suddividere in:

- IPE di livello generale (*stabilimento*)
- IPE delle attività principali (*reparti produttivi, centri di calcolo*)
- IPE dei servizi ausiliari (*centrali termiche, aria compressa, movimentazione*)
- IPE dei servizi generali (*illuminazione, uffici*)

Gli IPE consentono di:

- confrontare consumi e prestazioni energetici dello stabilimento con standard/target di settore (*benchmark esterni*), ove presenti
- consentire il confronto nel tempo rispetto a **baseline dell'organizzazione (benchmark interni)**

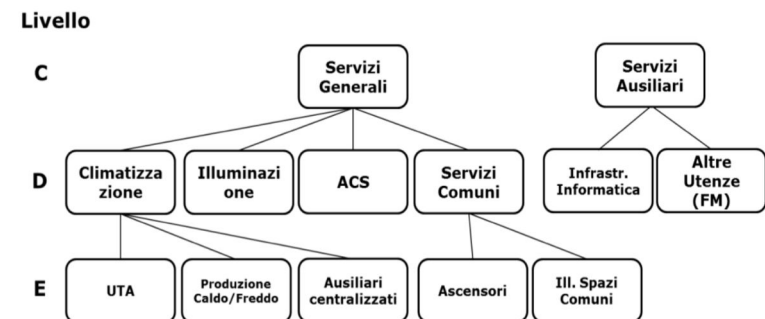


Figura 26 – Ripartizione del campione per consumo totale Schema usi finali elettrici tipici di un edificio per uffici

Fonte: Linee Guida ENEA per diagnosi energetiche

- Confronto con esercizi precedenti
- Intervalli di analisi più brevi (es. mensili)
- Reazioni tempestive alle modifiche

# INDICATORI DI PRESTAZIONE ENERGETICA

→ EnPI di livello generale (*stabilimento*)

consumo specifico per tipologia di energia:

indica la quantità di energia specifica del singolo vettore (*elettrica, gas metano, olio combustibile, gasolio, ecc.*) in ingresso allo stabilimento e utilizzata nello stesso per produrre un **quantitativo** unitario di **merce vendibile**

$$c_{s,ee} = \frac{\text{Consumo di energia elettrica [kWh]}}{\text{Produzione netta vendibile [t]}}$$

$$C_{s,energia} = \frac{\text{Consumo di energia totale [tep]}}{\text{Produzione netta vendibile [t]}}$$

Fonte: Linee Guida ENEA per diagnosi energetiche

Energia  
**Tonnellate di Prodotto**

Fattore influenzante di processo:  
 → quantità di prodotto

# INDICATORI DI PRESTAZIONE ENERGETICA

→ EnPI dei servizi ausiliari (*centrali termiche, aria compressa, movimentazione*)

sono calcolati conoscendo:

- i consumi dei vettori energetici
- il quantitativo di prodotto principale e, ove disponibili, le specifiche destinazioni d'uso (*ad es. per la sala compressori: energia spesa per quantità di aria compressa prodotta*)

Energia  
Prestazioni erogate

Energia  
 $m^2$



Fonte: ENEA, Benchmark di consumo energetico degli edifici per uffici in Italia

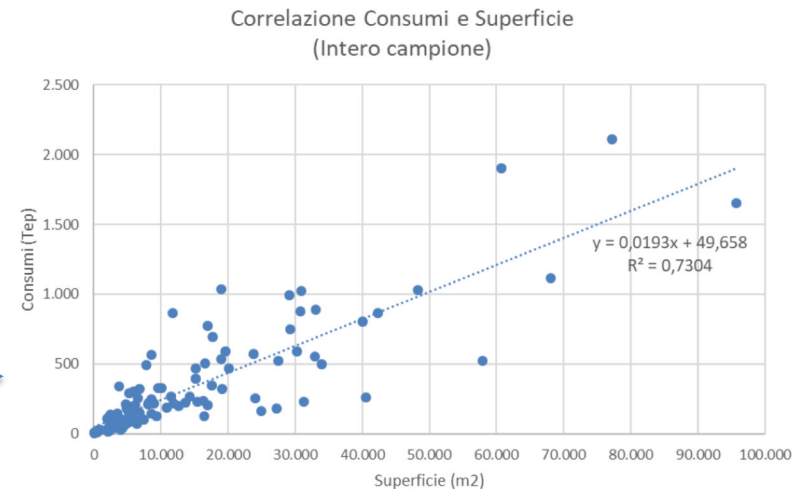


Figura 35 – Correlazione consumo – superficie per tutti gli edifici che formano il campione.

**?** Come fare per HVAC

# INDICATORI DI PRESTAZIONE ENERGETICA

## per HVAC di edificio-impianto

$$\text{IPE} = \frac{\text{Consumo Energetico}}{\text{Fattore Influenzante}}$$

### COSA CHIEDIAMO

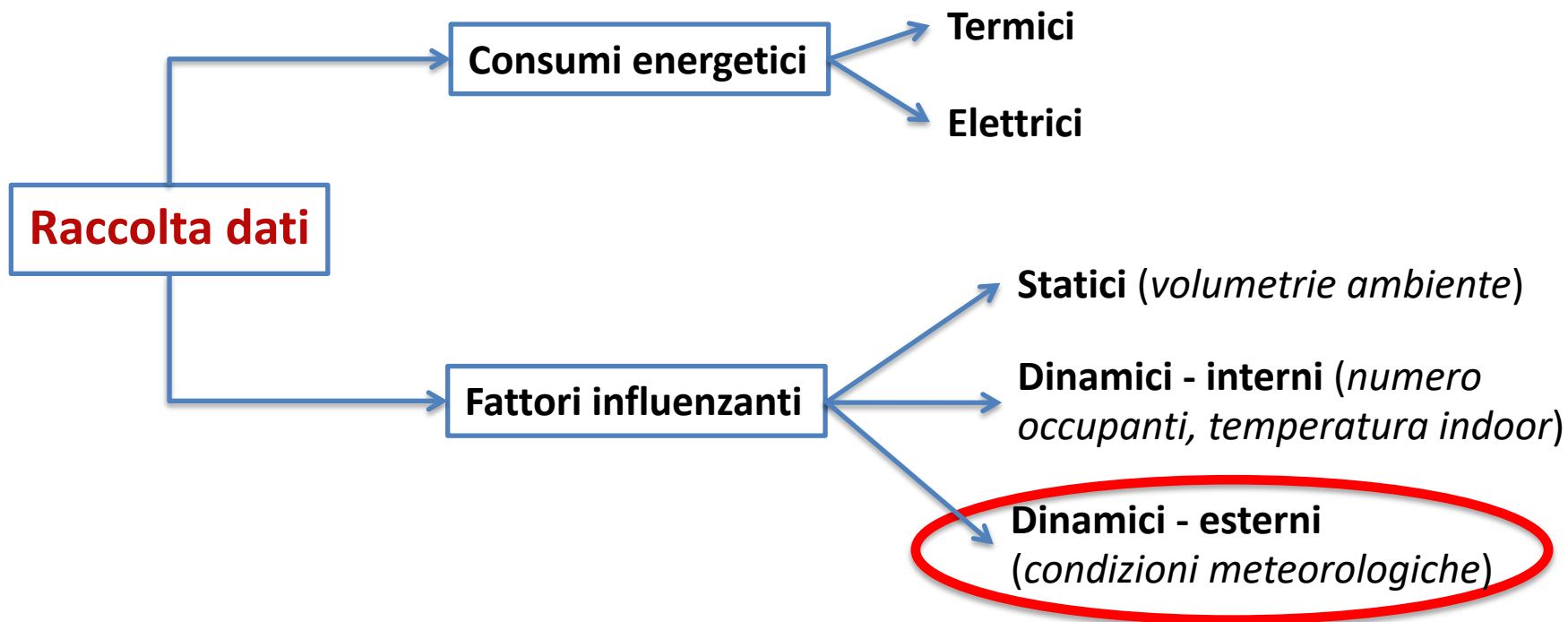
TEMPERATURA COSTANTE  
NELLE ORE DI PRESENZA  
TEMPERATURA PIÙ BASSA  
NELLE ORE DI ASSENZA PER  
EVITARE GLI SPRECHI  
CLIMATIZZAZIONE  
ADEGUATA IN TUTTI  
I LOCALI  
ARIA INTERNA CON IL GIUSTO  
GRADO DI UMIDITÀ  
ACQUA CALDA SEMPRE  
DISPONIBILE ANCHE CON  
PICCHI DI RICHIESTA.



- Fattori influenzanti per RISCALDAMENTO e RAFFRESCAMENTO:
- **tempo meteorologico**
  - **microclima indoor (se molto variabile)**



$$\text{Indice di Prestazione Energetica per HVAC} = \frac{\text{Consumo Energia}}{\text{Fattore Influenzante}}$$



**ENERGIA, METEO:**

- *reperimento dati esterni*
- *misure in situ*

# CASO STUDIO – Edificio 26 Politecnico di Milano

## Fattori influenzanti STATICI:

Da Linee Guida ENEA, ASSOIMMOBILIARE, ABI Energia: 
$$IPE = \frac{\text{Energia}}{m^2} \quad \frac{\text{Energia}}{m^3}$$

<b>2015</b>	601 588 kWh
<b>2016</b>	469 155 kWh
<b>2017</b>	560 202 kWh
<b>TOT</b>	1 630 945 kWh

Superficie lorda riscaldata	3.902 m <sup>2</sup>
Volume lordo riscaldato	18.951 m <sup>3</sup>
Superficie disperdente	8.238 m <sup>2</sup>

<b>2015</b>	523 288 kWh
<b>2016</b>	497 498 kWh
<b>2017</b>	504 964 kWh
<b>TOT</b>	1 534 750 kWh

$IPE_{\text{RISCALDAMENTO}} =$

<b>2015</b>	154 kWh/m <sup>2</sup>
<b>2016</b>	120 kWh/m <sup>2</sup>
<b>2017</b>	144 kWh/m <sup>2</sup>
<b>TOT</b>	139 kWh/m <sup>2</sup>

$IPE_{\text{RAFFRESCAMENTO}} =$

<b>2015</b>	136 kWh/m <sup>2</sup>
<b>2016</b>	127 kWh/m <sup>2</sup>
<b>2017</b>	129 kWh/m <sup>2</sup>
<b>TOT</b>	131 kWh/m <sup>2</sup>

$IPE_{\text{RISCALDAMENTO}} =$

<b>2015</b>	32 kWh/m <sup>3</sup>
<b>2016</b>	25 kWh/m <sup>3</sup>
<b>2017</b>	30 kWh/m <sup>3</sup>
<b>TOT</b>	29 kWh/m <sup>3</sup>

$IPE_{\text{RAFFRESCAMENTO}} =$

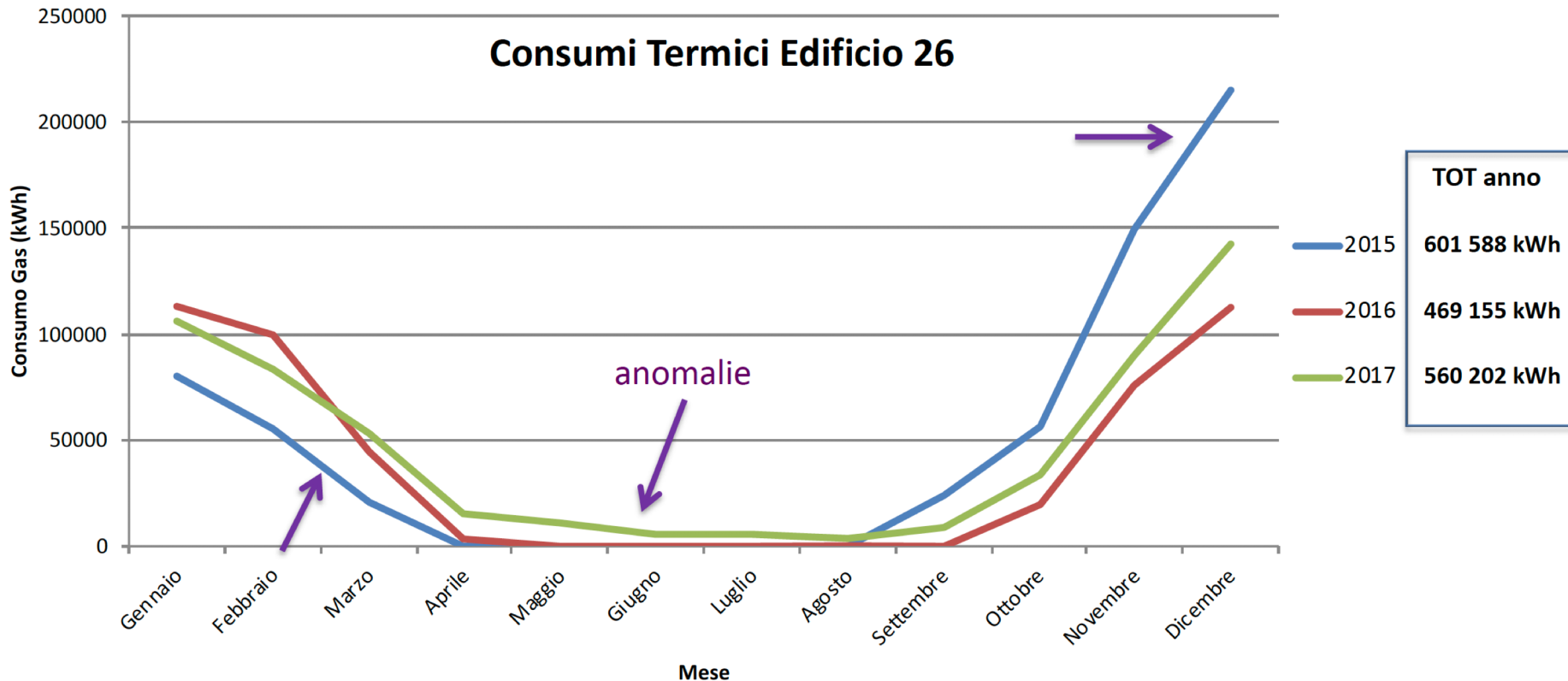
<b>2015</b>	28 kWh/m <sup>3</sup>
<b>2016</b>	26 kWh/m <sup>3</sup>
<b>2017</b>	27 kWh/m <sup>3</sup>
<b>TOT</b>	27 kWh/m <sup>3</sup>

## CASO STUDIO – Edificio 26 Politecnico di Milano

### Fattori influenzanti DINAMICI:

#### Consumi energetici:

**reperimento dati mensili di consumo di GAS NATURALE** (Smc) per Ed. 26, suddivisi tra riscaldamento e altri usi, da bollette per gli anni 2015-2017:



*Reperiti: dato di potere calorifico del gas fornito; nessuna informazione su incertezza di dato consumi; poche info su situazione operativa degli impianti, contesto operativo*

## Fattore influenzante **DINAMICO** principale: condizioni meteorologiche **CONTESTUALI** ai consumi energetici

descritte da variabili meteorologiche:

- Temperatura (T)
- Umidità Relativa (UR)
- ...

o da parametri da esse derivati:

- Gradi Giorno (invernali, estivi)

dati **misurati in situ** da stazione meteo proprietaria

dati **misurati da altra stazione meteo** che siano **rappresentativi** per l'edificio in esame

Importanti i **metadati di stazione** (se non proprietaria), per stabilirne rappresentatività rispetto a edificio in esame e scopi d'uso

Devono essere note le **incertezze di misura** (possibilmente in aria ambiente) delle variabili meteo della stazione



Stazione meteo di Fondazione OMD  
Milano Città Studi

Inceteeze rete FOMD:

$T \leq 0.2^{\circ}\text{C}$  in  $[-20^{\circ}\text{C}, +50^{\circ}\text{C}]$ , **UR = 3%** in camera climatica;  
 $T \leq 1^{\circ}\text{C}$ , **UR = 5%** in aria ambiente (a Milano, top UCL)

# IPE di Edificio 26 PoliMI

Fattore influenzante: INDICATORE METEO

**GRADI GIORNO** – correlato al fabbisogno energetico:

$$GG_{yyyy} = \sum_{d=1}^N (20 - T_e) \quad \text{dove: } \begin{array}{l} yyyy = \text{anno} \\ N = \text{numero di giorni di riscaldamento in } yyyy \\ T_e = \text{temperatura media esterna giornaliera} < 20^\circ\text{C} \end{array}$$

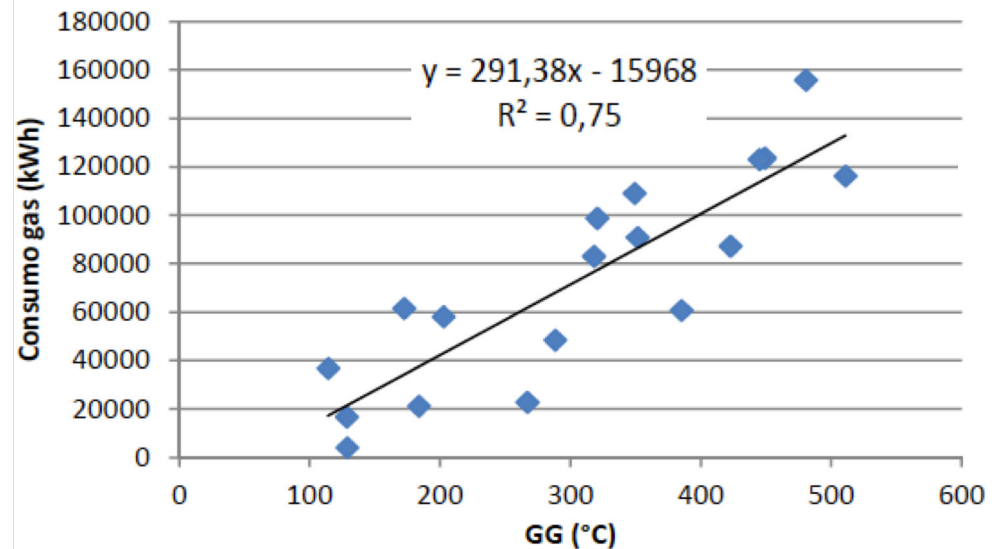
**RISCALDAMENTO**

$$\text{IPE} = \frac{\text{consumo energetico}}{\text{GG}}$$

## METODO 1 Dati aggregati per anno

	Consumi (kWh)	GG (°C)	IPE (kWh/°C)
<b>2015</b>	601 588	2147	280
<b>2016</b>	469 155	2257	208
<b>2017</b>	560 202	2227	252
<b>TOT</b>	1 630 945	6631	<b>246</b>

## METODO 2 Dati mensili invernali



$$\Rightarrow \text{IPE} = \frac{y}{x} = \frac{ax + b}{x} = a + \frac{b}{x}$$

$$X = 6631 \quad \text{--->} \quad \text{IPE} = 294 \text{ kWh/}^\circ\text{C}$$

# IPE di Edificio 26 PoliMI

Fattore influenzante: INDICATORE METEO

**GRADI GIORNO** – correlato al fabbisogno energetico:

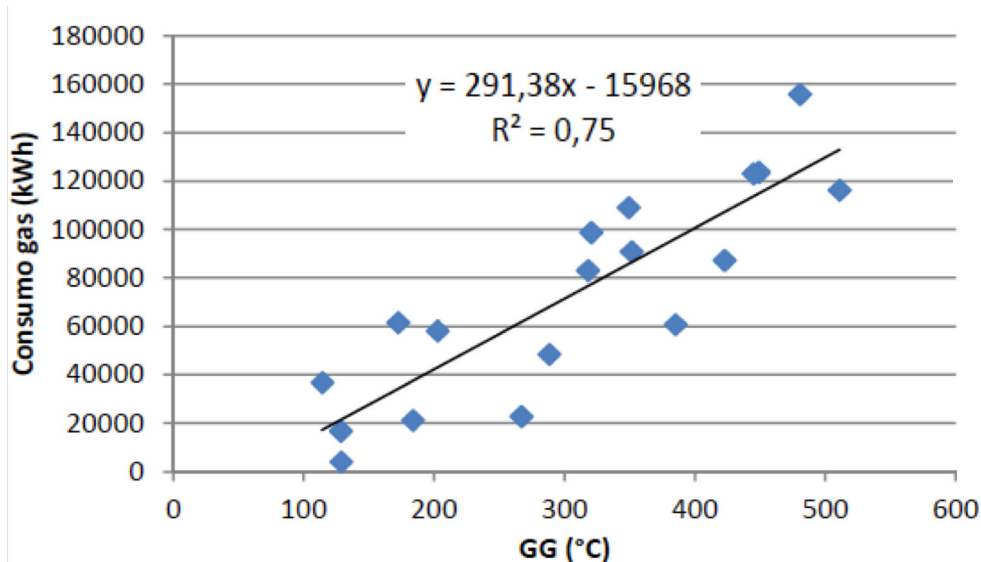
**RISCALDAMENTO**

MODELLO  
ANALITICO

$$IPE = \frac{y}{x} = \frac{ax + b}{x} = a + \frac{b}{x}$$

$$\varepsilon = \frac{|IPE_{mod} - IPE_{real}|}{IPE_{real}}$$

## Dati mensili invernali



## VALIDAZIONE METODO 2

*Modello analitico*

	IPE reali	IPE modello	$\varepsilon$
<b>2015</b>	280	299	0,06
<b>2016</b>	208	298	0,30
<b>2017</b>	252	299	0,16
<b>TOT</b>	246	294	0,16

N.B. tabella da realizzare con IPE mensili

Da Linee Guida ENEA: il modello analitico è valido se l'errore relativo  $\varepsilon < 0,30$  per il 90% del campione (*produzione vetro*)

# IPE di Edificio 26 PoliMI

Fattore influenzante: INDICATORE METEO

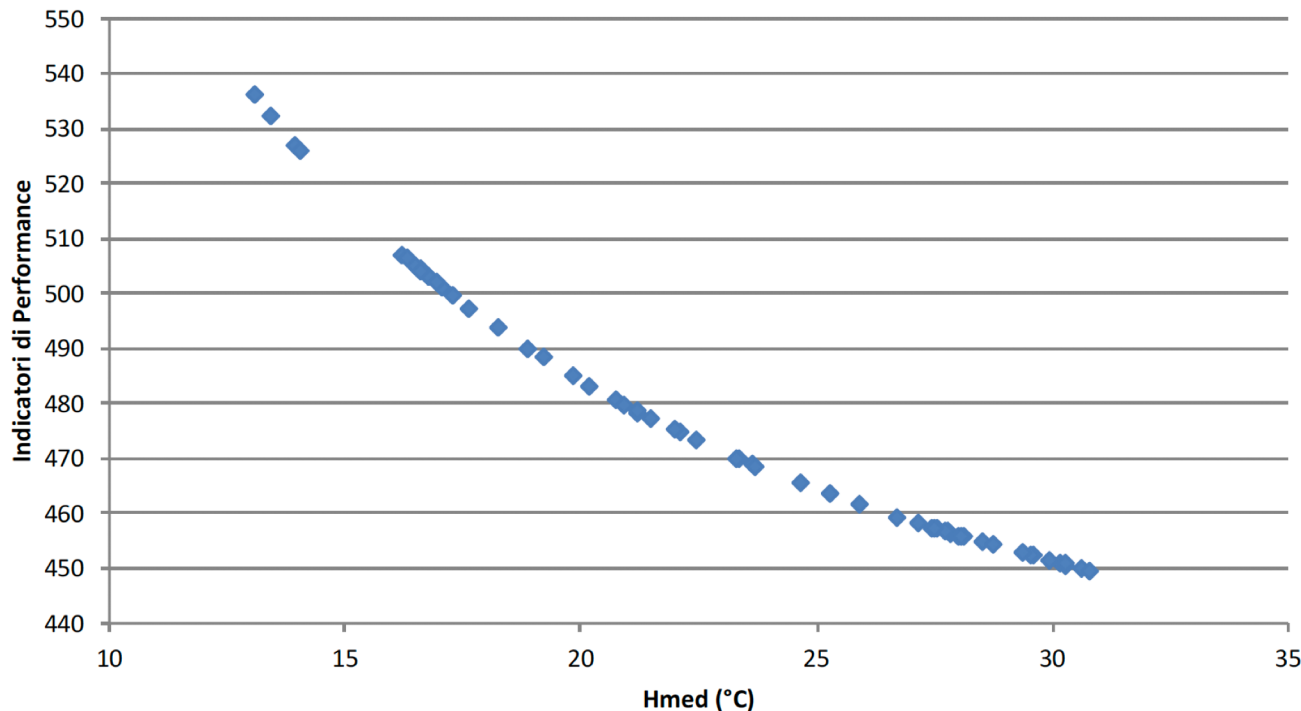
INDICE HUMIDEX – correlato al fabbisogno energetico:

**RAFFRESCAMENTO**

Modello analitico Consumi Elettrici/Humidex

$$IPE = a + b/x$$

$$\varepsilon = \frac{|IPE_{mod} - IPE_{real}|}{IPE_{real}}$$



$\varepsilon < 0,30$   
per oltre il 90%  
del campione

↓  
**Modello affidabile**

Valori soglia da linea guida ENEA: VALUTAZIONI PRELIMINARI SUGLI INDICI DI PRESTAZIONE ENERGETICA NEL SETTORE DELLA PRODUZIONE DEL VETRO

## INCERTEZZE E AFFIDABILITÀ DELLE VALUTAZIONI:

$$\text{IPE} = \frac{\text{consumo energetico}}{\text{fattore influenzante}}$$



In una catena di misura finalizzata alla valutazione di parametri derivati (IPE, baseline, benchmark interni) la **qualità e affidabilità del risultato finale** sono determinate dalla **misura più incerta**: bisogna conoscere sia i fattori che influenzano il processo che la loro incertezza in quanto i primi rientrano nella quantificazione dei parametri energetici e la seconda nell'incertezza complessiva dei parametri stessi.

È quindi importante focalizzare l'attenzione anche sulle **caratteristiche tecniche** degli eventuali **strumenti di misura dei fattori influenzanti**, assicurarne la **tracciabilità metrologica di misura** e **calibrazione** in funzione dell'obiettivo di qualità e **affidabilità dell'intero sistema di monitoraggio dell'efficienza energetica**.



# Caratteristiche dei dispositivi per il monitoraggio delle condizioni meteorologiche e del microclima indoor:

- ✓ Adeguata scelta dei dispositivi di misura\* (principio di funzionamento, tempi di risposta, classe di precisione, affidabilità ...)
- ✓ Adeguato posizionamento dei dispositivi \*\* (rappresentatività spaziale dl punto di misura)
- ✓ Adeguatezza metrologica dei dispositivi (intervallo di misura, sensibilità, precisione)
- ✓ Riferibilità metrologica a standard nazionali e/o internazionali
- ✓ Taratura periodica
- ✓ Tracciabilità documentata delle misure
- ✓ Manutenzione ordinaria dei dispositivi documentata
- ✓ Validazione periodica dei dati

\* Per la scelta dei dispositivi, nessun aiuto specifico dalla legislazione e normativa tecnica del settore energetico

\*\* Linee Guida Progetto ClimaMi (Cap. 3 e 4): <https://www.progettoclimami.it/linee-guida>

# Perché misure “meteo-climatiche” in un piano di monitoraggio energetico ?

1. Parametri meteo climatici sono **FATTORI INFLUENZANTI** per varie tipologie di consumi **energetici** (tra cui HVAC, Data Centre): sia le **CONDIZIONI ATMOSFERICHE ESTERNE** sia il desiderata **VALORE TERMOIGROMETRICO INDOOR** determinano la quantità di energia richiesta per la climatizzazione
2. Controllo delle condizioni microclimatiche indoor esistenti/prodotte
3. Allerta su anomalie o derive degli impianti HVAC/produttivi/Data Centre: il parametro meteo è variabile indipendente rispetto alle grandezze che caratterizzano gli impianti/la produzione
4. **Analisi e valutazione della prestazioni degli impianti, dell'efficienza energetica del sistema**
5. Allineamento “in tempo reale” del funzionamento degli impianti alle condizioni meteo attuali e alla loro variazione
6. Contrattualistica: verifica e quantificazione della bolletta energetica; Contratti energetici a prestazioni garantite (EPC)
7. Induzione di un atteggiamento proattivo a tutti i livelli dell'organizzazione

# Monitoraggio per il miglioramento dell'efficienza energetica

## Monitoraggio energetico: il ruolo dei fattori influenzanti

Grazie  
per l'attenzione!

