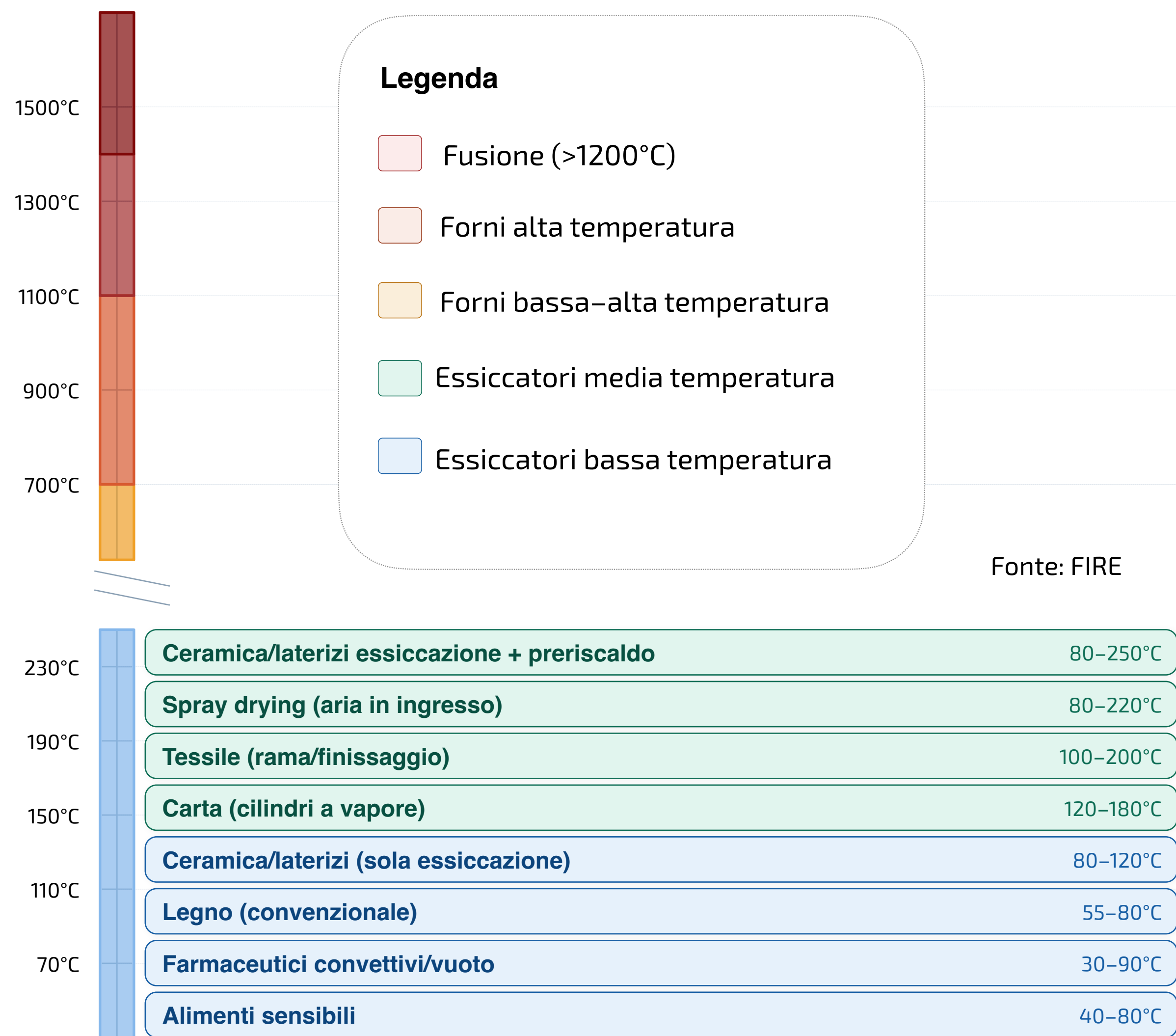




Interventi su forni ed essiccatori

Essiccatori e forni: tipiche temperature



Fusione acciaio (EAF)	1500-1700°C
Fusione vetro sodio-calcico	1400-1600°C
Fusione ghisa	1200-1550°C
Sinterizzazione metalli/ceramica	1000-1600°C
Cottura ceramica sanitaria	1250-1300°C
Gres porcellanato	1150-1250°C
Laterizi / cotto	900-1100°C
Cementazione acciai	850-950°C
Ricottura / normalizzazione	700-950°C
Distensione post-saldatura (PWHT)	425-700°C
Verniciatura a polvere	160-200°C
Verniciatura carrozzeria OEM	140-180°C
Rinvenimento post-tempra	150-210°C
Verniciatura carrozzeria riparazione	60-100°C
Legno alta temp. (trattamento termico)	100-130°C

Interventi di efficienza energetica e decarbonizzazione



Recupero del calore

- ▶ Recuperatori rigenerativi: 15–30% combustibile
- ▶ Economizzatori fumi → acqua / fluidi
- ▶ Pompe di calore essiccatori <150°C: COP 3–5

Isolamento termico

- ▶ Fibre ceramiche / aerogel: 10–20% dispersioni
- ▶ Riduzione massa termica → cicli più rapidi
- ▶ Sigillatura porte, guarnizioni, passaggi nastro

Ottimizzazione combustione

- ▶ Controllo rapporto λ con sonde O_2/CO
- ▶ Bruciatori rigenerativi integrati
- ▶ Ossi-combustione per $T > 1200^\circ C$

Controllo e automazione

- ▶ Profili temperatura adattativi per prodotto
- ▶ Stand-by intelligente tra i cicli
- ▶ Monitoraggio IoT: allarmi anomalie, analytics

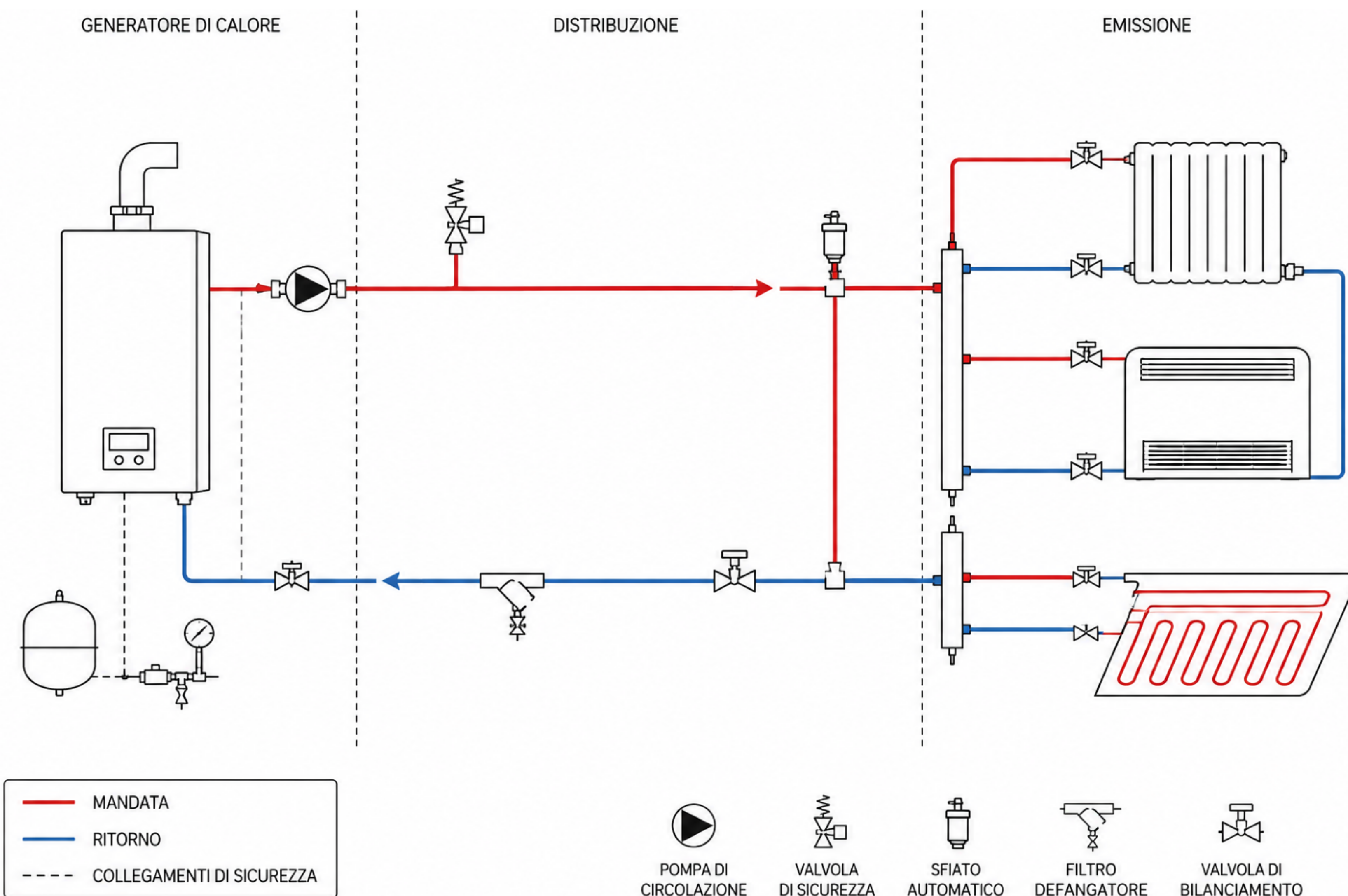
Elettificazione e vettori alternativi

- ▶ Resistenze elettriche / induzione in sostituzione dei bruciatori a gas
- ▶ Co-firing e bruciatori 100% idrogeno (pilota)
- ▶ Biogas / biometano come sostituto drop-in



Riscaldamento e climatizzazione

Impianto termico



È l'insieme dei sistemi destinati alla produzione, distribuzione e utilizzazione dell'energia termica. Comprende il **generatore di calore** (caldaia, pompa di calore, ecc.), la **rete di distribuzione** (tubazioni e componenti ausiliari) e i **terminali di emissione** (radiatori, ventilconvettori, pannelli radianti), che trasferiscono il calore agli ambienti da climatizzare.

La temperatura media radiante e operativa



Le principali variabili che influenzano il **benessere termico**:

- La **temperatura media radiante** t_r è la media ponderale (pesata sulle superfici) delle superfici delle pareti che delimitano l'ambiente.

Una parete, a parità di temperature interne ed esterne, è tanto più prossima alla temperatura interna tanto più è elevato l'isolamento della parete stessa.

- La **temperatura operativa** t_0 è quella dell'aria di un ambiente ideale a pareti nere, nel quale l'oggetto scambi la stessa potenza termica scambiata nell'ambiente reale. Coincide con la media delle temperature ambiente t_a e radiante t_r pesate in funzione dei coefficienti di scambio termico per convezione h_c e per irraggiamento h_r . In pratica si suppone $h_c \approx h_r$

$$t_0 = \frac{h_c t_a + h_r t_r}{h_c + h_r} \quad \text{--- -- -- --} \Rightarrow \quad t_0 = \frac{t_a + t_r}{2}$$

Con sistemi di emissione a grande superficie si ha la stessa temperatura operativa con una temperatura dell'aria inferiore. Questo è molto importante: **1°C in meno $\approx$ 5% in meno di consumi.**

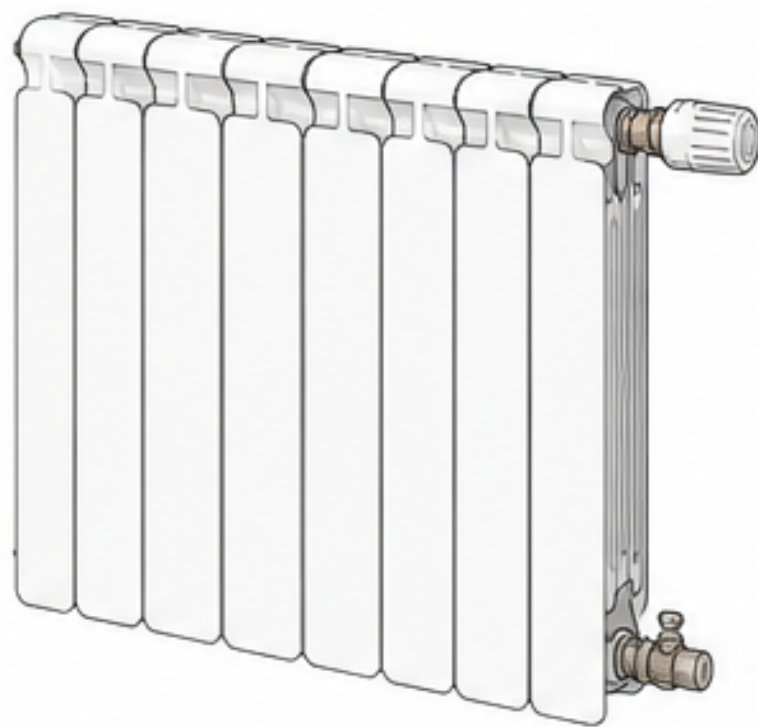


Tipologia di impianto	Esempi	Meccanismo di scambio termico	Mandata caldo	Mandata freddo
SENZA movimentazione d'aria: Piccola superficie radiante	Radiatori	Convezione + irraggiamento	Alta T (>50°C)	NO
	Termostrisce			
SENZA movimentazione d'aria: Grande superficie radiante	Pannello radiante a parete	Irraggiamento + convezione	Bassa T (30-45°C)	NO
	Pavimento radiante			>13°C
	Soffitto radiante			
CON movimentazione d'aria	Convettori	Convezione	Alta T (>60°C)	<12°C
	Ventilconvettori			
	Fancoil		Media T (<45°C)	diff. max. 5-7°C

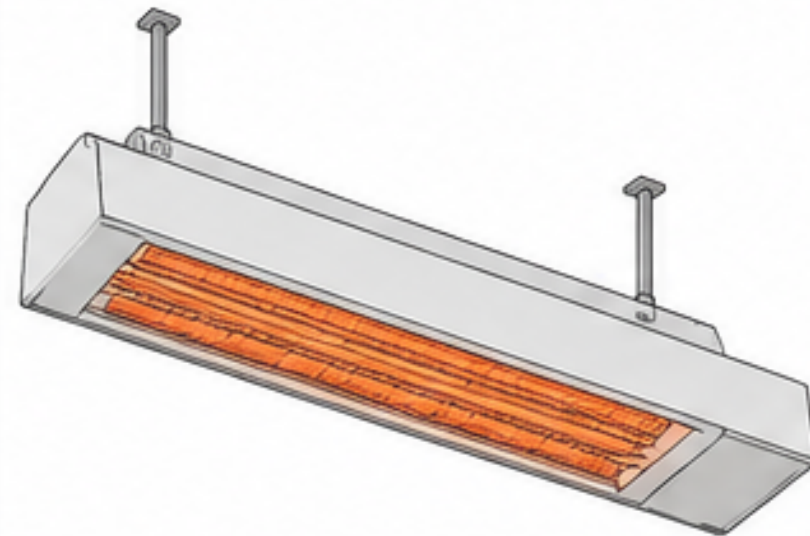
Dispositivi di emissione del calore



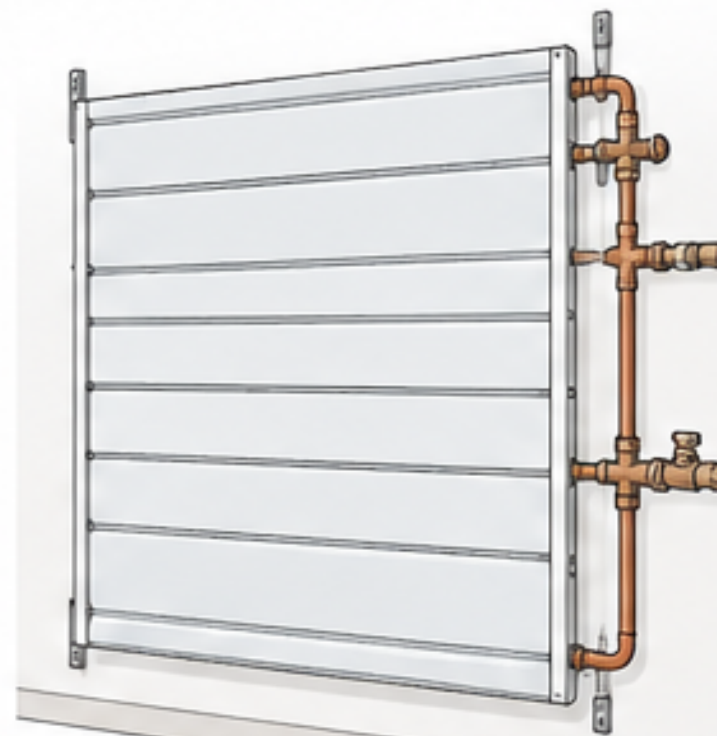
Radiatori



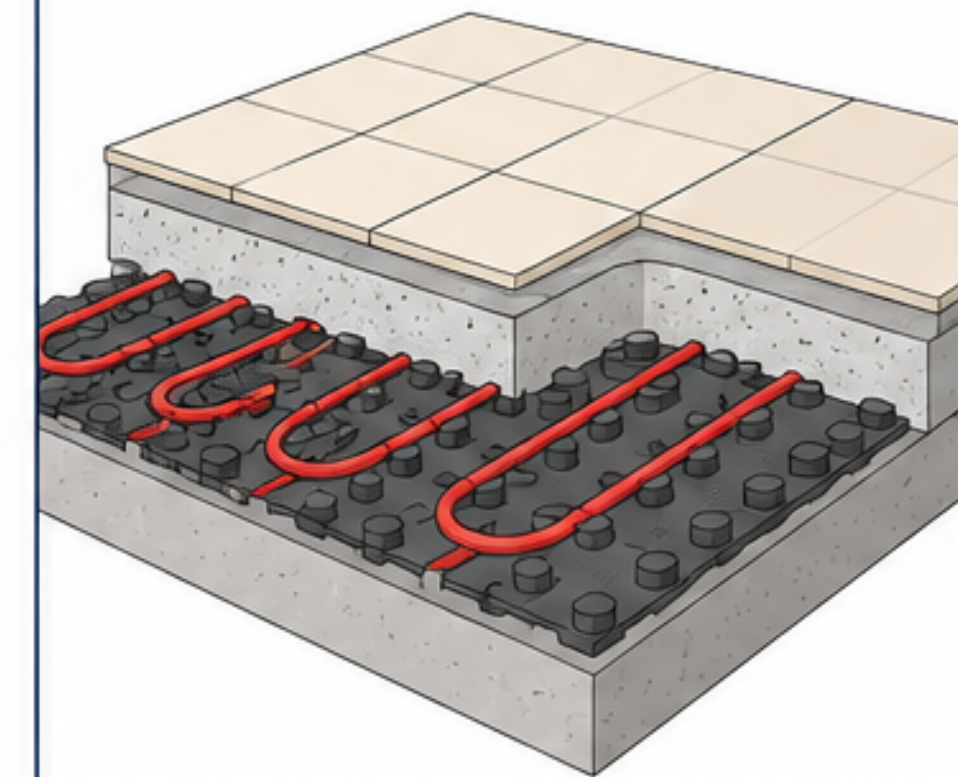
Termostrisce



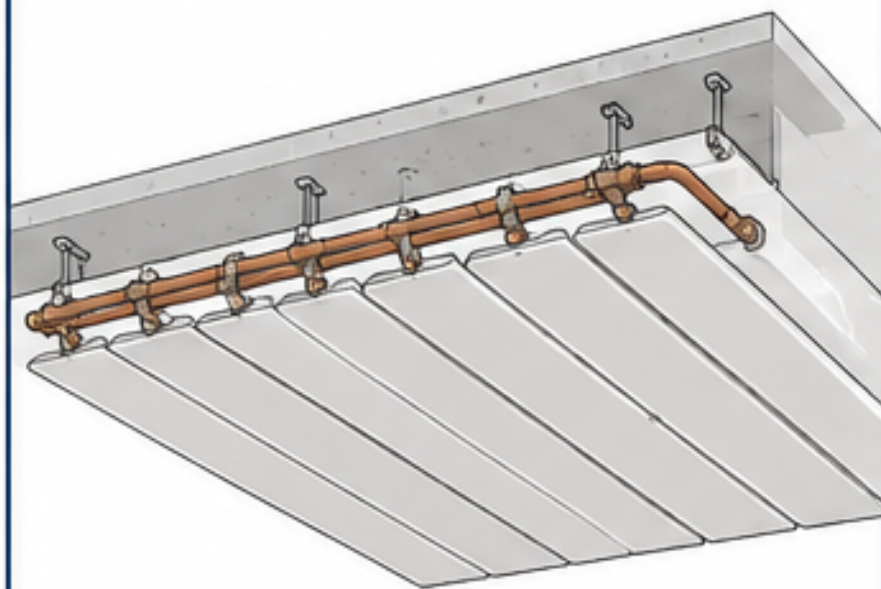
Pannello radiante a parete



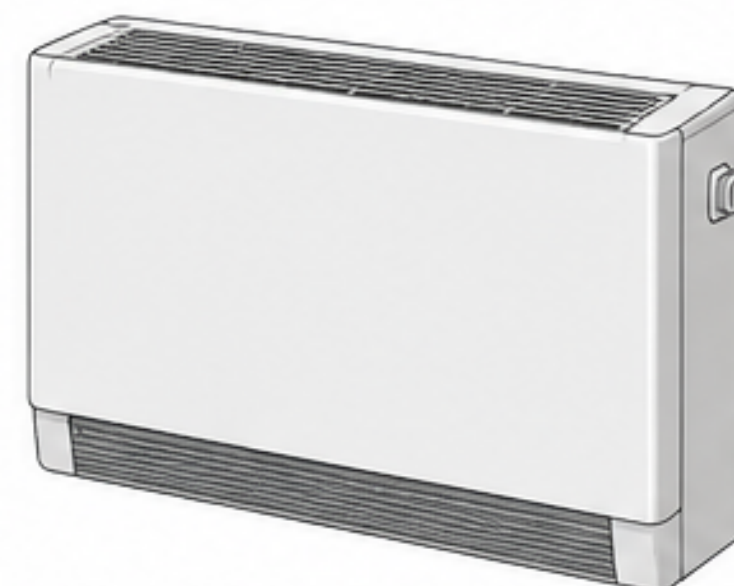
Pavimento radiante



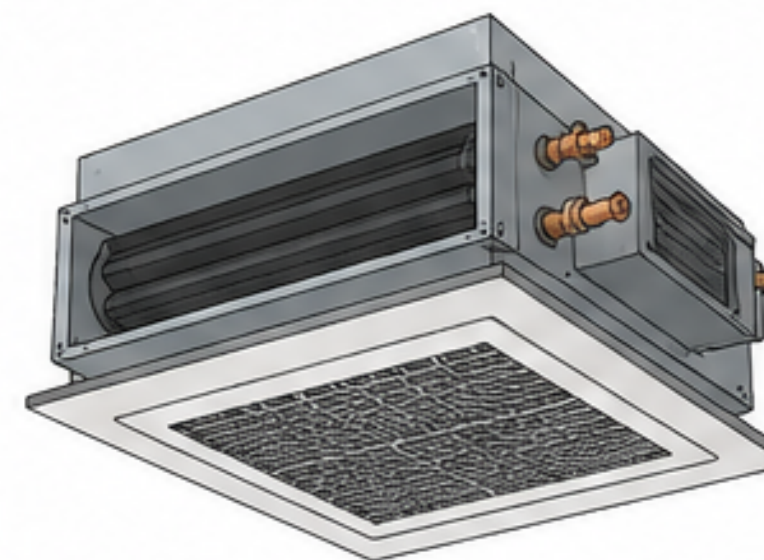
Soffitto radiante



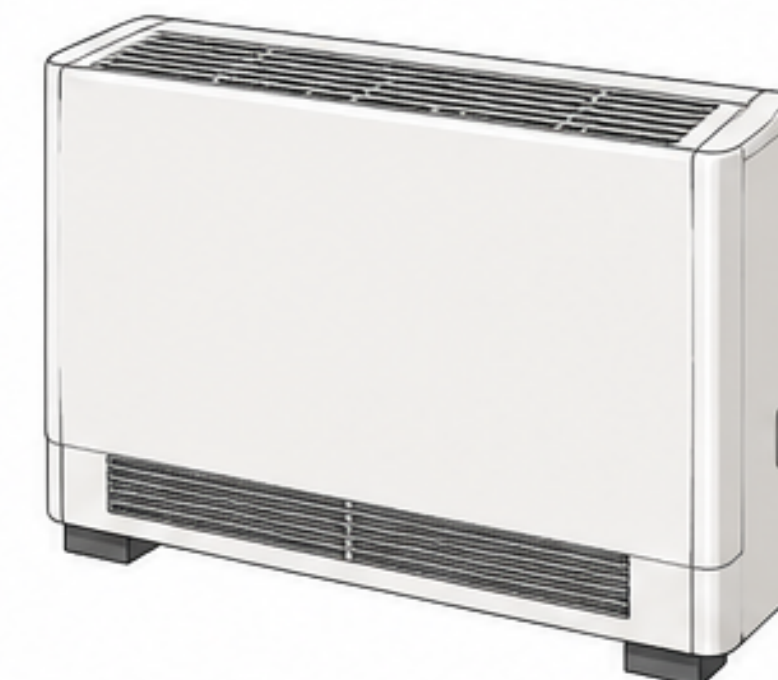
Convettori



Ventilconvettori



Fancoil

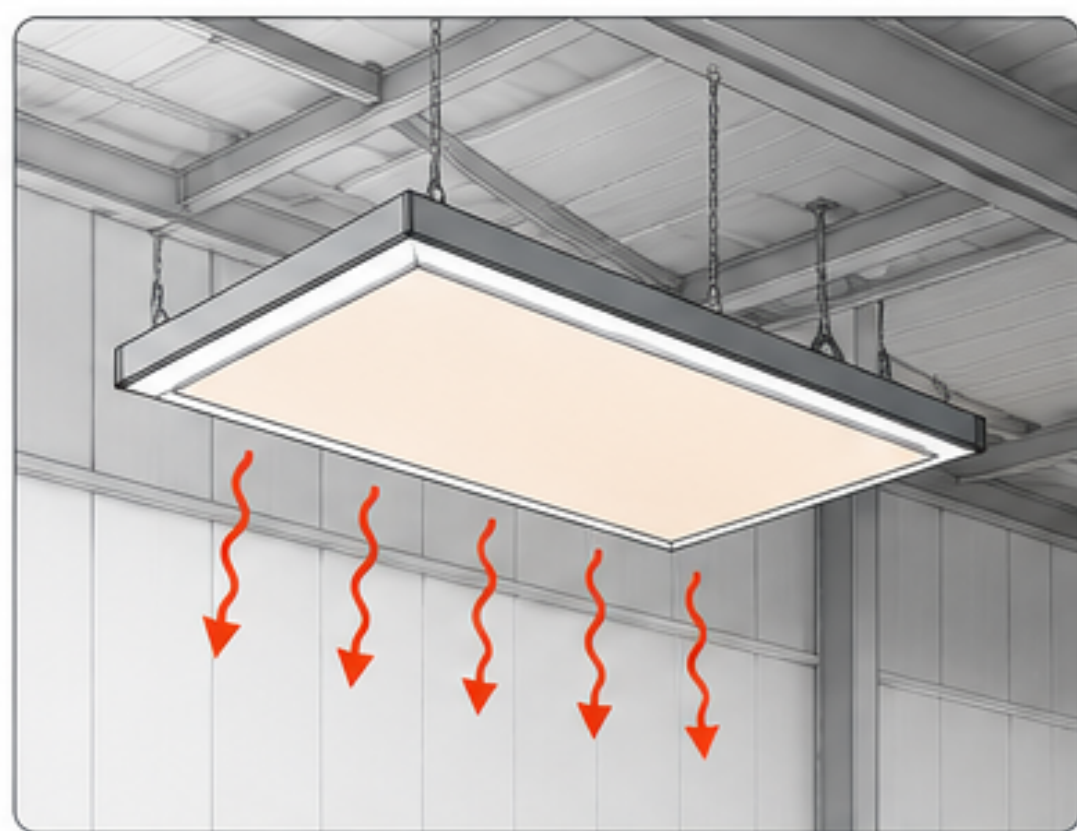


Riscaldamento industriale: terminali di emissione



Riscaldamento a irraggiamento

Soluzione particolarmente adatta per edifici industriali con grandi volumi e altezze elevate, dove è necessario riscaldare solo specifiche aree di lavoro. Il calore viene trasferito direttamente alle superfici e alle persone, riducendo la stratificazione dell'aria, le dispersioni termiche e i tempi di risposta dell'impianto.



Riscaldatori a infrarossi

Pannelli radianti, elettrici o a gas, che emettono energia sotto forma di radiazione infrarossa. Consentono un riscaldamento rapido e localizzato, spesso supportato da sistemi di regolazione automatica che modulano la potenza in funzione della temperatura, degli orari di utilizzo o della presenza di persone.



Nastri (fasce) radianti

Sistemi generalmente alimentati a gas che trasferiscono il calore per irraggiamento attraverso tubi radianti dotati di bruciatore, riflettore e sistema di aspirazione dei fumi. Permettono di riscaldare grandi ambienti in modo efficiente e selettivo, evitando problemi di stratificazione e consentendo risparmi energetici significativi se correttamente progettati e gestiti.



Riscaldamento industriale: interventi di efficientamento



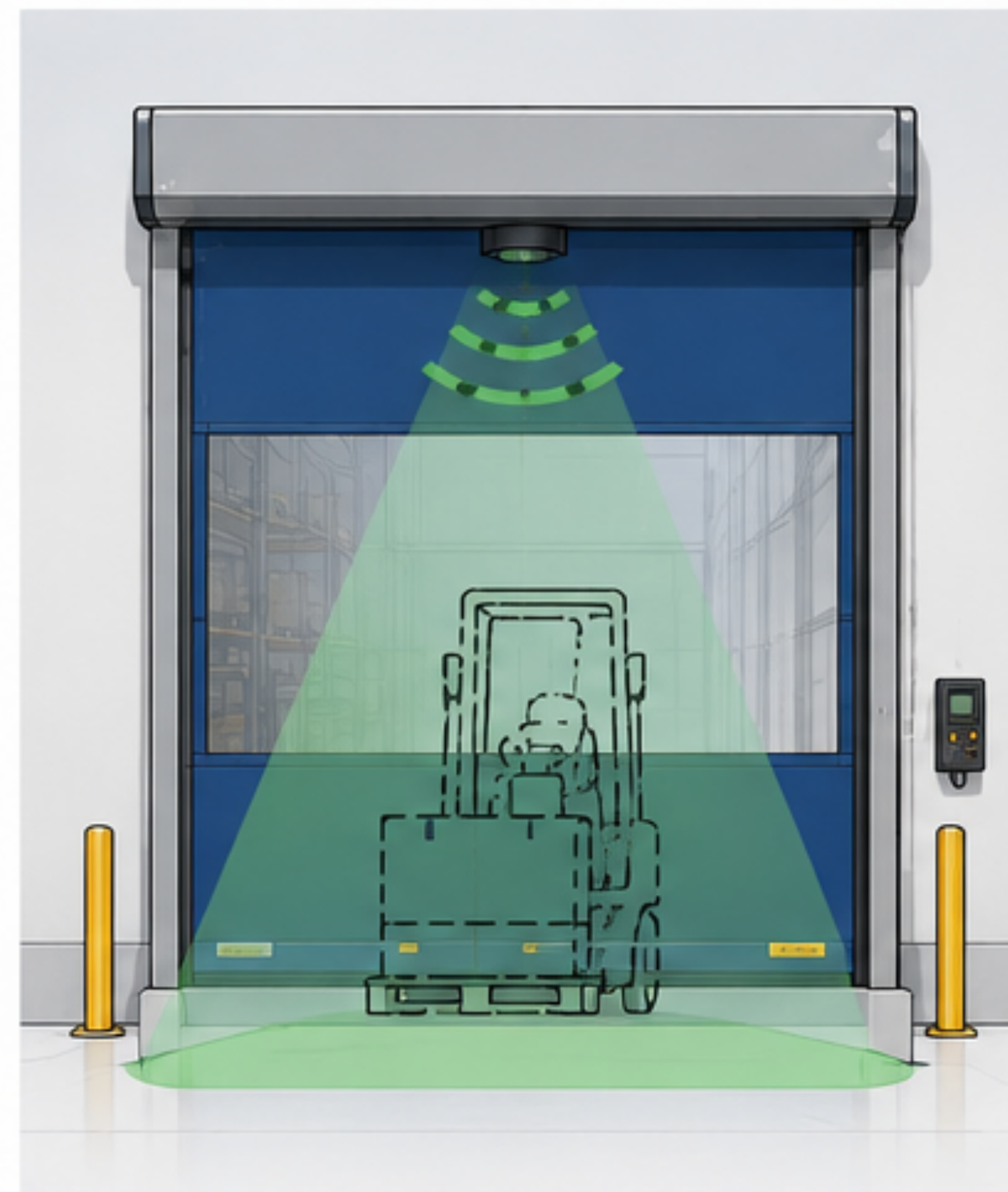
Una corretta **gestione dell'impianto di riscaldamento** è un requisito fondamentale per non rendere vano ogni intervento di efficientamento:

- Mantenere la temperatura all'interno degli edifici più vicina possibile a quella esterna compatibilmente con il comfort del personale;
- **Ridurre al minimo il volume da riscaldare**, regolando separatamente l'impianto e separando gli ambienti;
- **Regolare il tempo di accensione** degli impianti mediante sistema di gestione che permetta **accensioni differenziate**, eventualmente collegato a sonde di temperatura con algoritmi che auto regolino l'anticipo di accensione e spegnimento per garantire le condizioni di comfort e ridurre i consumi.



I portoni di ingresso dei capannoni, zone riscaldate/refrigerate sono una delle principali **fonti di dispersione** di energia termica e frigorifera.

Prevedere **chiusure automatiche** per entrate/uscite permette di ridurre tali dispersioni oltre a limitare i ricambi d'aria e ridurre i consumi di ventilazione!



Fonte: FIRE

Sistemi di riscaldamento: interventi di efficientamento



Produzione ad alta efficienza

- ▶ Pompe di calore
- ▶ Caldaie a condensazione
- ▶ Sistemi ibridi
- ▶ Gruppi frigoriferi efficienti

Distribuzione

- ▶ Coibentazione tubazioni
- ▶ Bilanciamento idraulico
- ▶ Pompe inverter
- ▶ Riduzione perdite

Regolazione e controllo

- ▶ Regolazione climatica
- ▶ Valvole termostatiche
- ▶ BMS
- ▶ Monitoraggio energetico

Emissione

- ▶ Pannelli radianti
- ▶ Ventilconvettori EC
- ▶ Sistemi a irraggiamento
- ▶ Nastri radianti

Recupero e rinnovabili

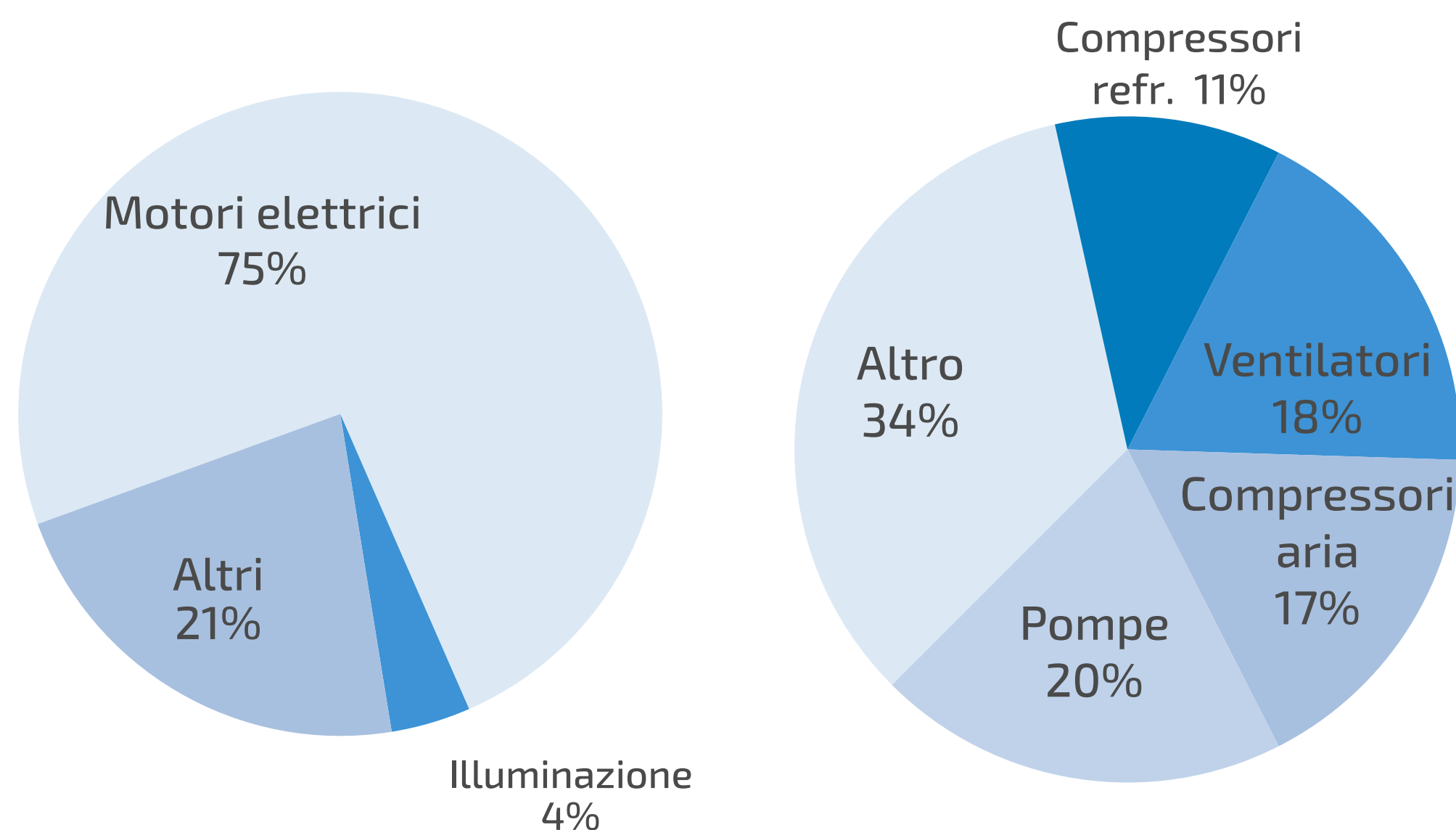
- ▶ Recuperatori di calore
- ▶ Free cooling
- ▶ Fotovoltaico + PDC
- ▶ Solare termico



Motori, pompe e azionamenti elettrici



Il 75% dell'energia elettrica consumata nel settore industriale italiano è attribuibile ai sistemi motore.



(dati ENEA)



E fino al 98% del costo di vita di un motore è rappresentato dall'energia che consuma.

98,4% energia elettrica consumata

1,3% acquisto

0,3% manutenzione

(dati Motorchallenge)

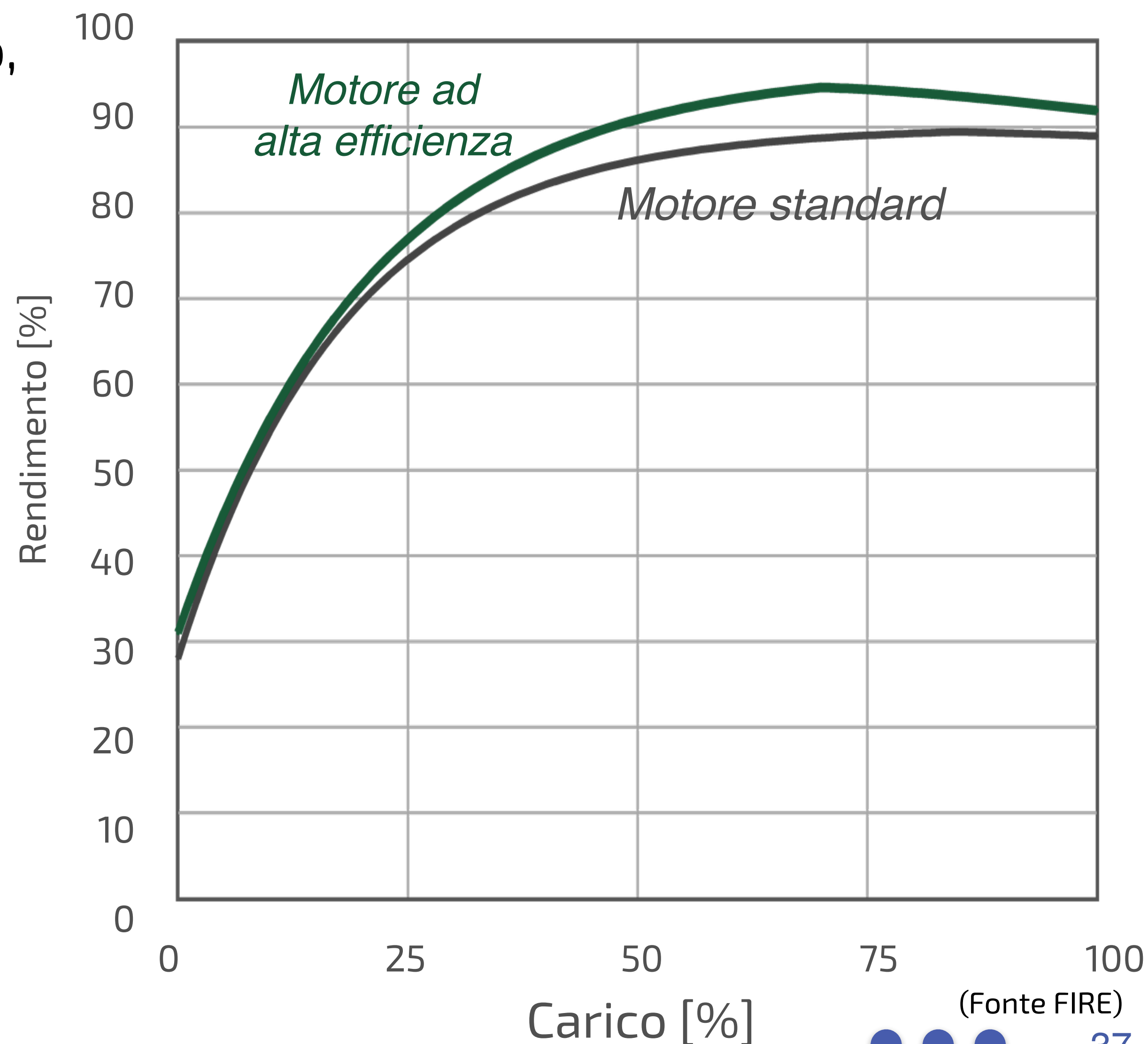
Motori elettrici ad elevata efficienza



Le perdite, che vanno a influenzare il rendimento, sono di tre tipi:

- perdite meccaniche
- perdite nel ferro e a vuoto
- perdite per effetto Joule

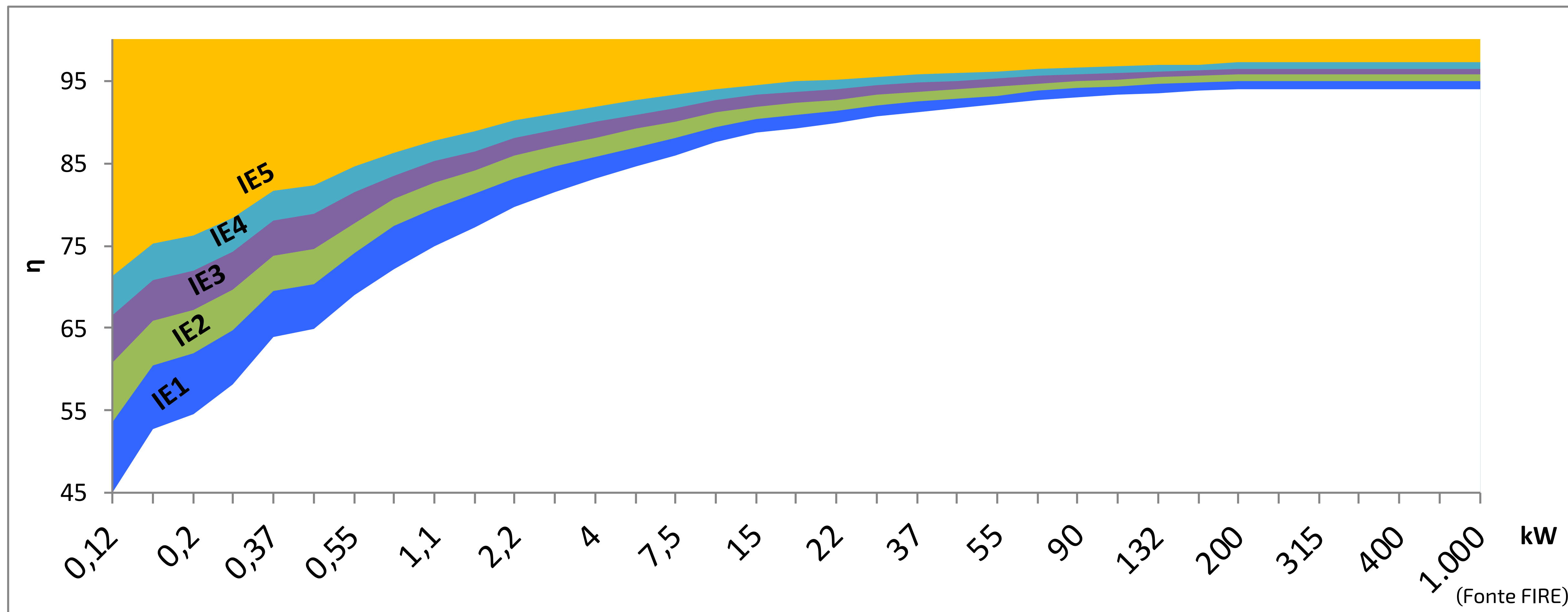
Oltre ad avere rendimenti più elevati, i motori ad alta efficienza presentano una curva di rendimento più piatta al variare del carico!



Motori elettrici ad elevata efficienza



Norma IEC 60034-30:2025 contiene i valori minimi per motori a 2, 4, 6 e 8 poli



Regolamenti 640/2009/CE e 2019/1781/CE



Il regolamento 640/2009/CE, adottato il 22 luglio 2009, stabilisce che:

- dal 16 giugno 2011 i motori immessi sul mercato devono avere classe di efficienza IE2,
- dal 1 Gennaio 2015 i motori con potenza tra 7,5 e 375 kW devono essere in classe di efficienza IE3 oppure IE2 se accoppiati ad inverter e
- dal 1 Gennaio 2017 i motori con potenza tra 0,75 e 375 kW devono essere in classe di efficienza IE3 oppure IE2 se accoppiati ad inverter.

Il regolamento 2019/1781/CE, adottato il 1 luglio 2021, stabilisce che:

- dal 1 luglio 2021 i motori con potenza tra 0,75 e 1000 kW devono essere in classe di efficienza IE3.
- dal 1 luglio 2021 i motori con potenza tra 0,12 e 0,75 kW devono essere in classe di efficienza IE2.

Vanno anche ricordati i motori brushless o a commutazione elettronica, di solito per applicazioni di piccola potenza ($<<1\text{kW}$). Necessitano di elettronica di controllo, che li rende più costosi, ma che consente una regolazione accurata di velocità, posizione e coppia. Non avendo spazzole non necessitano di manutenzione e sono più efficienti.

Le applicazioni più diffuse dei motori brushless riguardano i sistemi di ventilazione (regolazione velocità, minori apporto termico, efficienza), ma si stanno diffondendo anche negli azionamenti, etc.



Una nota a margine va dedicata alla manutenzione dei motori elettrici la quale, se svolta correttamente, permette di ridurre ulteriormente i consumi energetici. Alcuni passi da seguire sono:

- corretta lubrificazione: se non è adeguata, i consumi possono crescere del 4%-8%;
- evitare l'allentamento dei collegamenti elettrici: aumenta la temperatura e, di conseguenza, la resistenza ohmica. Da prevenire soprattutto nei grandi utilizzatori;
- garantire l'allineamento meccanico: in caso contrario il consumo di energia può aumentare fino al 6%, la durata del cuscinetto diminuire di 8 volte e la manutenzione a guasto aumentare del 50%;
- controllare e regolare le trasmissioni: per esempio per quelle a cinghia si può risparmiare il 5%-10% grazie alla riduzione degli slittamenti;
- pulizia del motore: evitando il surriscaldamento si ottiene un risparmio del 2%-4% rispetto al caso di un motore sporco.

Azionamenti a velocità variabile



Spesso i motori elettrici nell'industria sono sovradimensionati rispetto alle reali necessità, erogando potenza molto minore a quella di massimo rendimento.

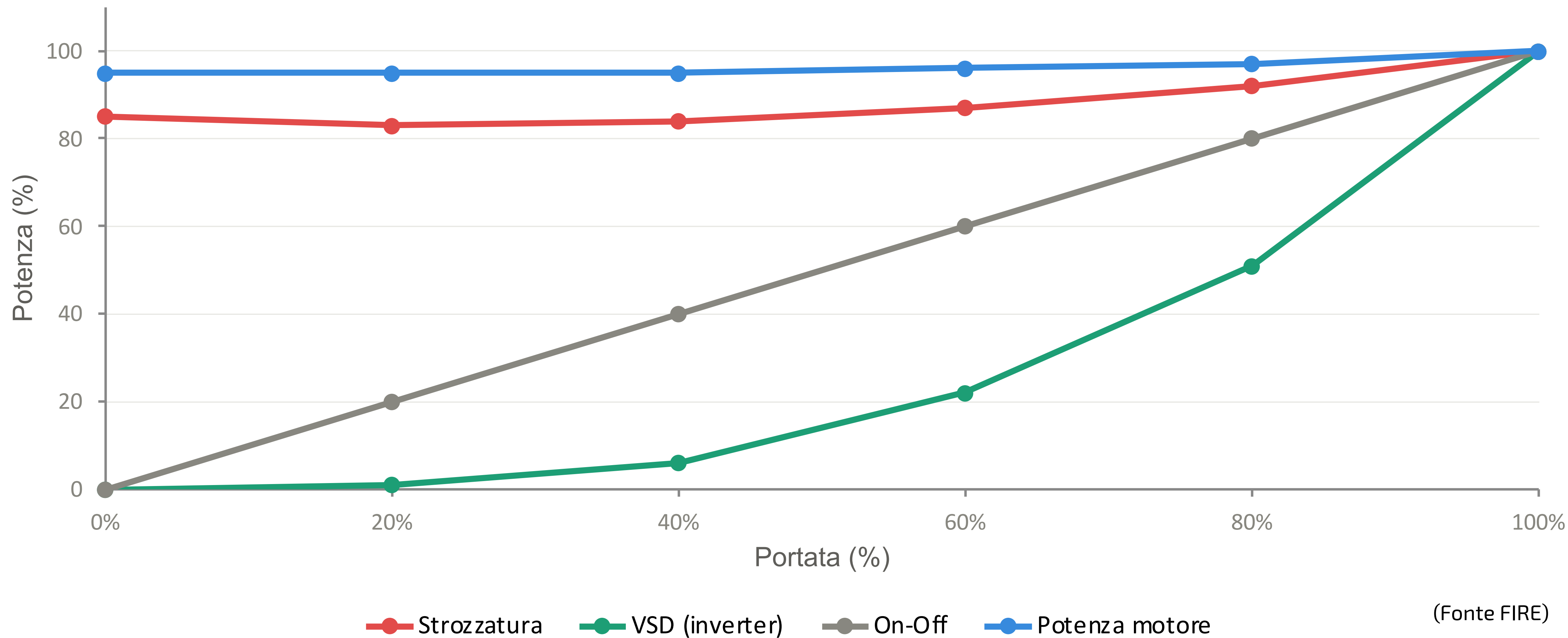
L'azionamento a velocità variabile (VSD) permette di modulare la frequenza di alimentazione di un motore elettrico (e quindi la sua velocità) in funzione delle effettive esigenze del carico.

Parzializzazione di pompe, ventilatori, etc.

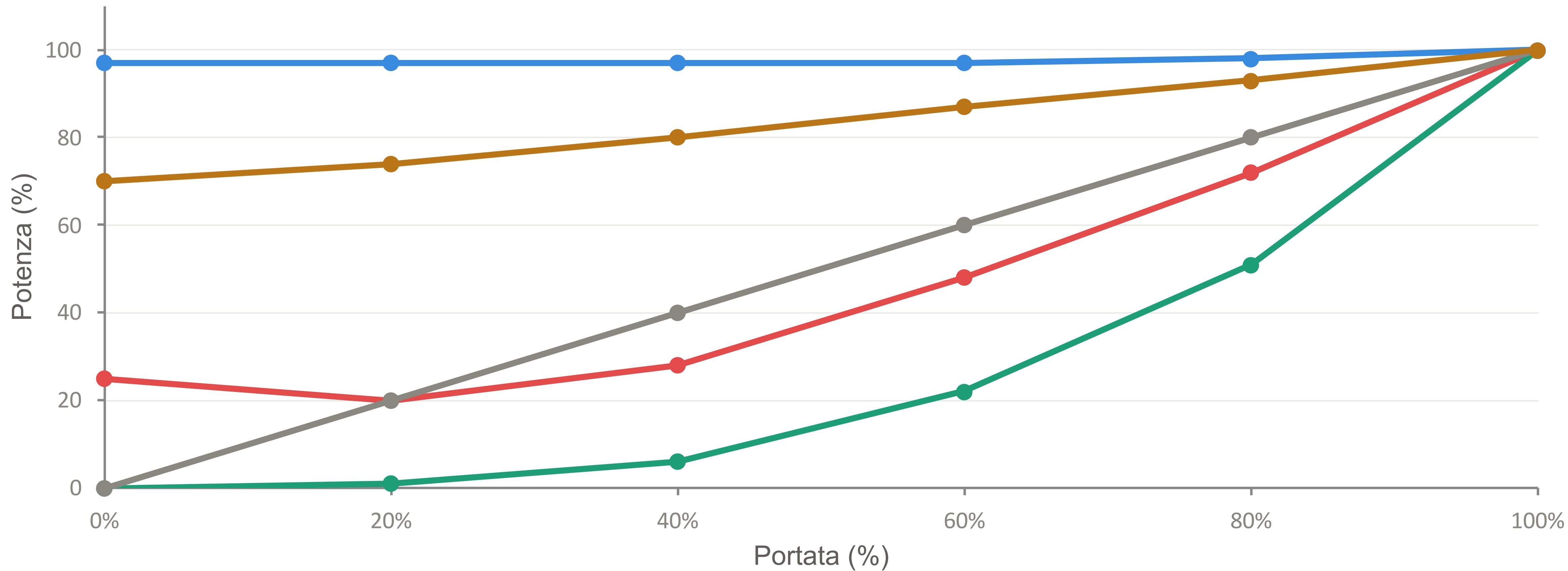
Applicazione	Applicabilità (%)	Risparmio medio (%)
Pompe	50	30
Ventilatori	40	30
Compressori d'aria	30	13
Compressori frigoriferi	40	19
Trasportatori	60	10
Altro	60	15

(FIRE da dati Fraunhofer ICT/CEMEP 2023, Fraunhofer ICT/CEMEP 2025, European Commission/CORDIS)

Regolazione pompe



Regolazione ventilatori



(Fonte FIRE)

—●— Serranda (aspirazione) —●— VSD (inverter) —●— On-Off —●— Potenza motore —●— Serranda (mandata)