

# Dispensa del corso di “SISTEMI ENERGETICI”

Argomento: Sistemi Energetici (parte 3.1)

**Prof. Pier Ruggero Spina**  
Dipartimento di Ingegneria



università di ferrara  
DA SEICENTO ANNI GUARDIAMO AVANTI.

# Sistemi energetici cogenerativi



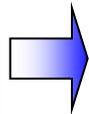
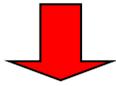
# Aspetti tecnico-energetici della cogenerazione



# La cogenerazione

*produzione combinata, in un unico processo, di energia elettrica/meccanica e calore*

combustibile



energia elettrica  
(meccanica)



autoconsumo AT/MT/BT

immissione in rete AT/MT/BT

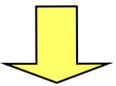


energia termica



per usi civili/terziari (riscaldamento, condizionamento, acqua sanitaria)

per usi industriali (sia calore che freddo per il processo produttivo)

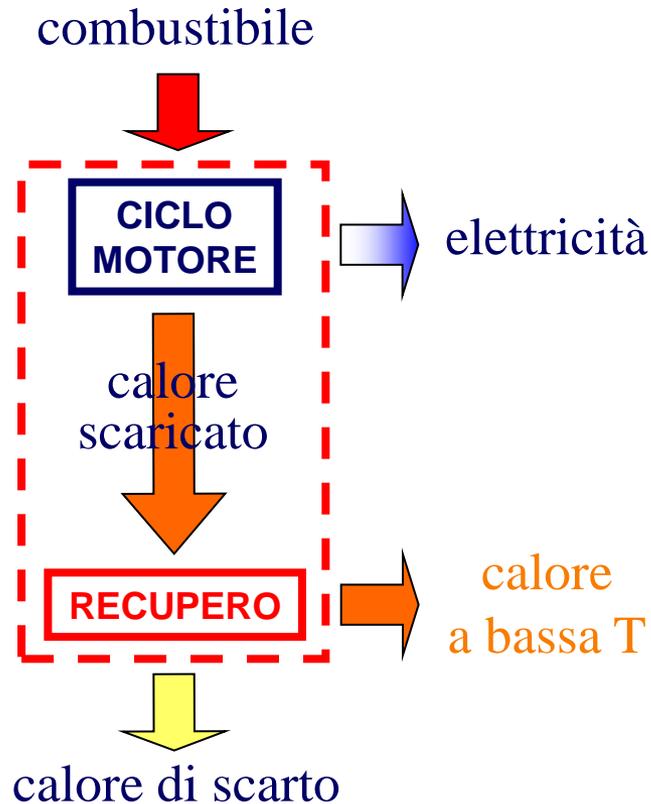


calore di  
scarto

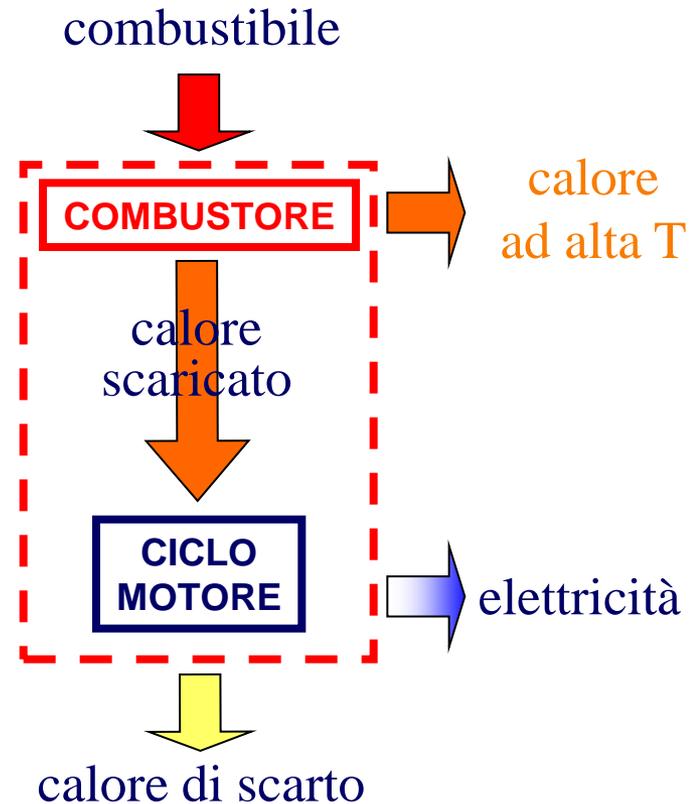


# Cogenerazione “topping” o “bottoming”

## TOPPING

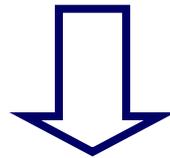


## BOTTOMING



# *Ubicazione del cogeneratore*

- ✓ I combustibili sono una fonte energetica “trasportabile” (anche se in taluni casi questo può risultare economicamente e/o energeticamente non conveniente)
- ✓ L’elettricità è un vettore energetico “trasportabile”
- ✓ Il calore non è trasportabile (se non a brevi distanze)



**IL COGENERATORE DEVE ESSERE UBICATO  
PRESSO L'UTENZA TERMICA**



# *Definizioni di generazione distribuita e di piccola e micro generazione*

*“Generazione distribuita (GD): insieme degli impianti di generazione di potenza nominale inferiore ai 10 MVA” (Delibera AEEG 328/07)*

*“Impianto di piccola/micro generazione un impianto per la produzione di energia elettrica, anche in assetto cogenerativo, con capacità di generazione non superiore a 1 MW o a 50 kW” (D.Lgs. n°20 del 8/2/2007 di recepimento della Direttiva Europea 2004/08/CE)*



# Applicazioni della generazione distribuita

- ✓ Generazione continua in parallelo con la rete elettrica nazionale (“*grid connected*”)
- ✓ Generazione continua “ad isola”
- ✓ “Stand-by” per garantire sicurezza nella fornitura elettrica
- ✓ “Peakshaving” per far fronte ad elevate richieste di potenza per periodi di tempo limitato
- ✓ “Power quality” per garantire tensione e frequenza costante a salvaguardia di un processo produttivo



# *I principali vantaggi*

## **Vantaggi di natura energetica**

- ✓ Impiego razionale dei combustibili fossili
- ✓ Sfruttamento di siti rinnovabili
- ✓ Riduzione delle perdite energetiche nel trasporto

## **Vantaggi di carattere ambientale**

- ✓ Riduzione delle grosse infrastrutture per il trasporto
- ✓ Mitigazione del problema legato all'elettrosmog
- ✓ Rimozione della sindrome *NIMBY*

## **Vantaggi per la sicurezza e la qualità**

- ✓ Riduzione del rischio di black-out
- ✓ Alleggerimento del carico di alcune reti elettriche

## **Vantaggi economici**

- ✓ Risparmi sui costi energetici (acquisto della materia prima “combustibile” invece del prodotto finito “energia elettrica”)



# *Le principali problematiche*

## *Per l'installatore*

- ✓ Iter autorizzativi
- ✓ Aspetti economici (elevato costo specifico delle soluzioni più innovative, scarsa valorizzazione dell'energia elettrica ceduta alla rete, ecc.)
- ✓ Conciliazione della domanda elettrica/termica/ frigorifera (scelta della taglia e della tipologia di impianto)

## *Per il sistema elettrico e del gas*

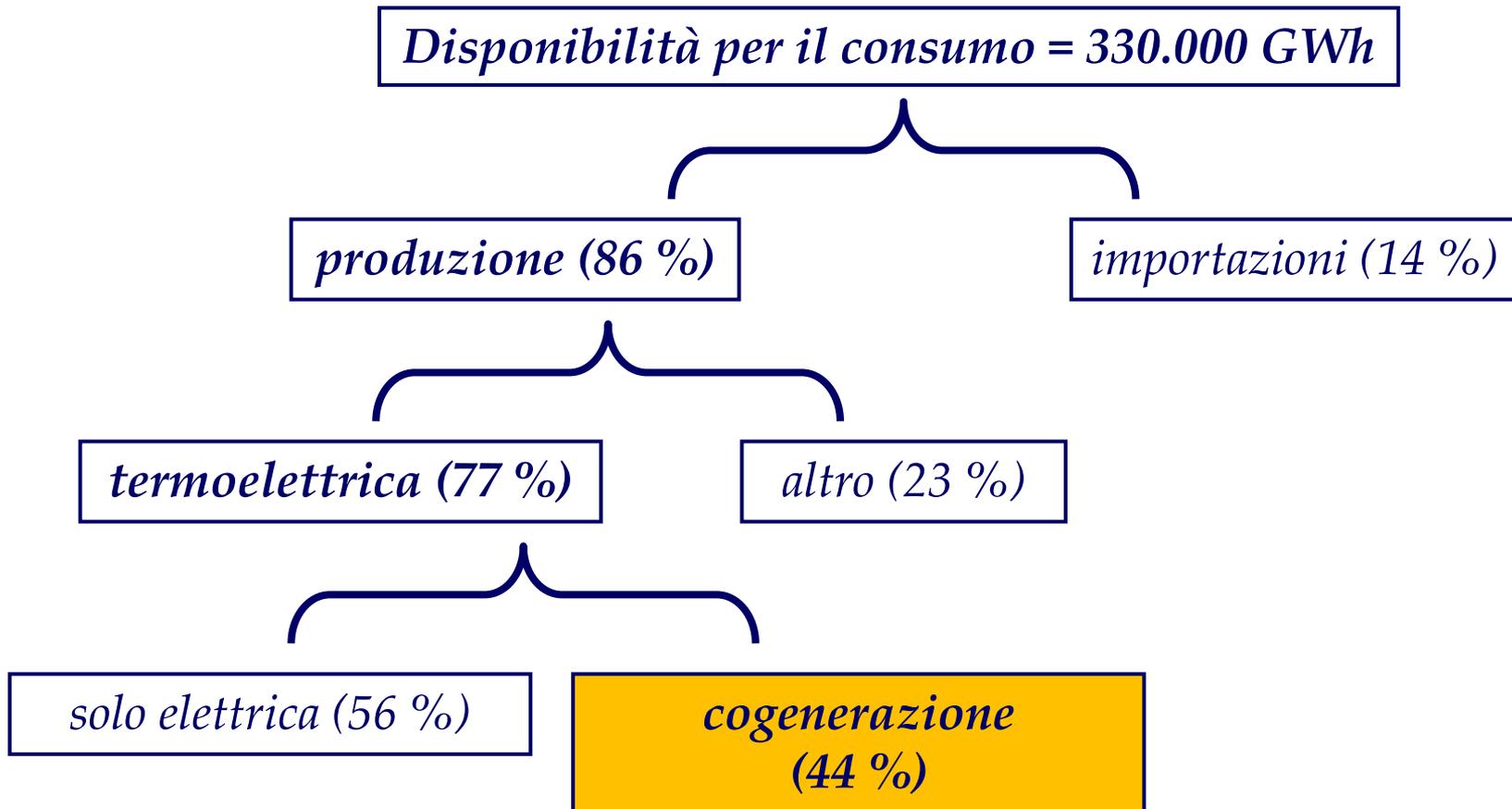
- ✓ Impatto sul sistema elettrico (utilizzo delle reti di distribuzione in maniera attiva e non più passiva)
- ✓ Necessità di potenziare reti di distribuzione del gas

## *Per gli enti locali*

- ✓ Introduzione di nuove sorgenti emissive in aree urbane o comunque densamente popolate



# I numeri italiani della produzione elettrica (2011)

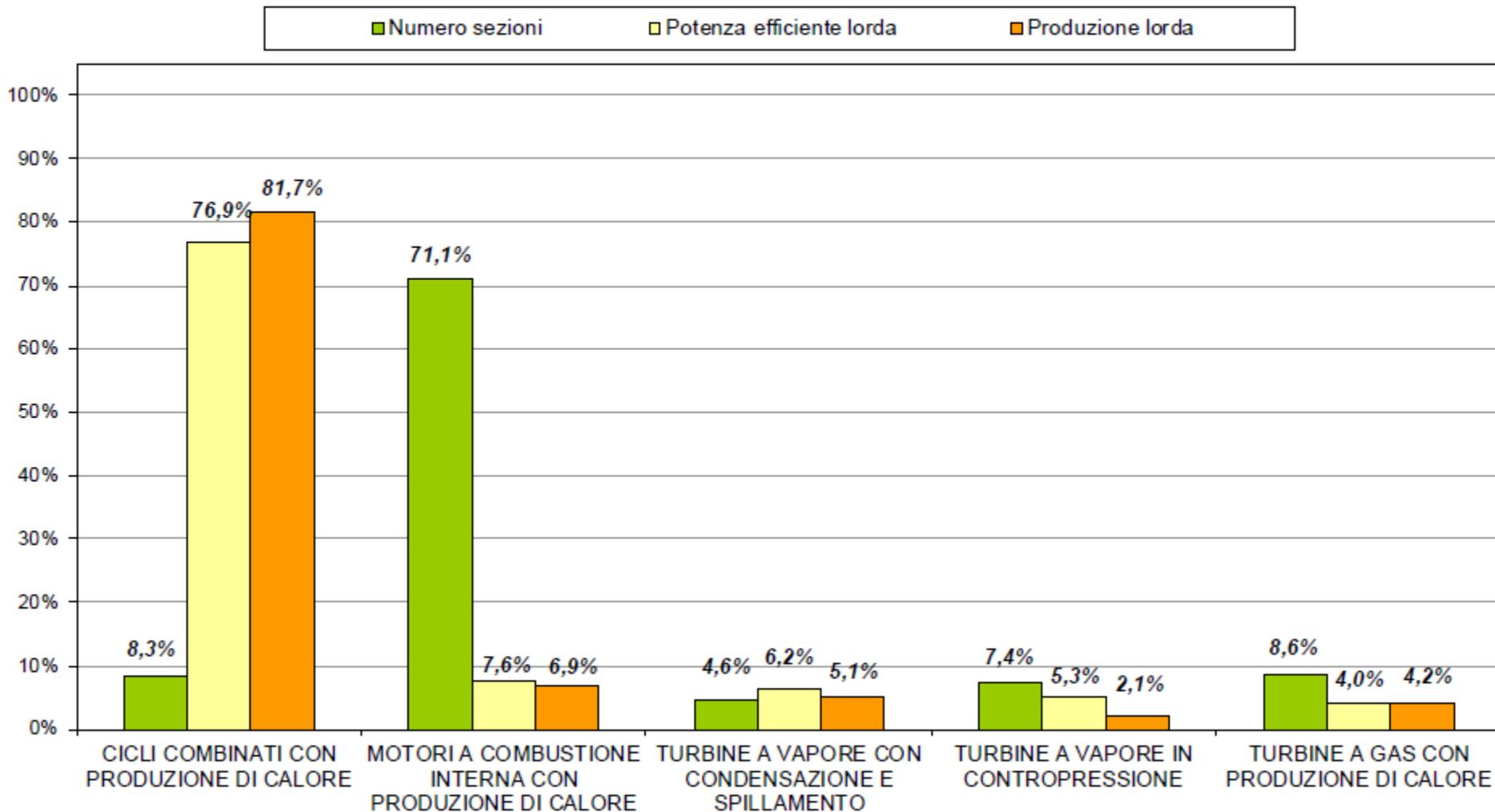


## Sezioni, potenza e produzione impianti di cogenerazione in funzione della tecnologia utilizzata (dati AEEG, anno 2011)

Numero totale sezioni: 1.980

Potenza efficiente lorda: 23.850 MW

Produzione lorda: 101.509 GWh

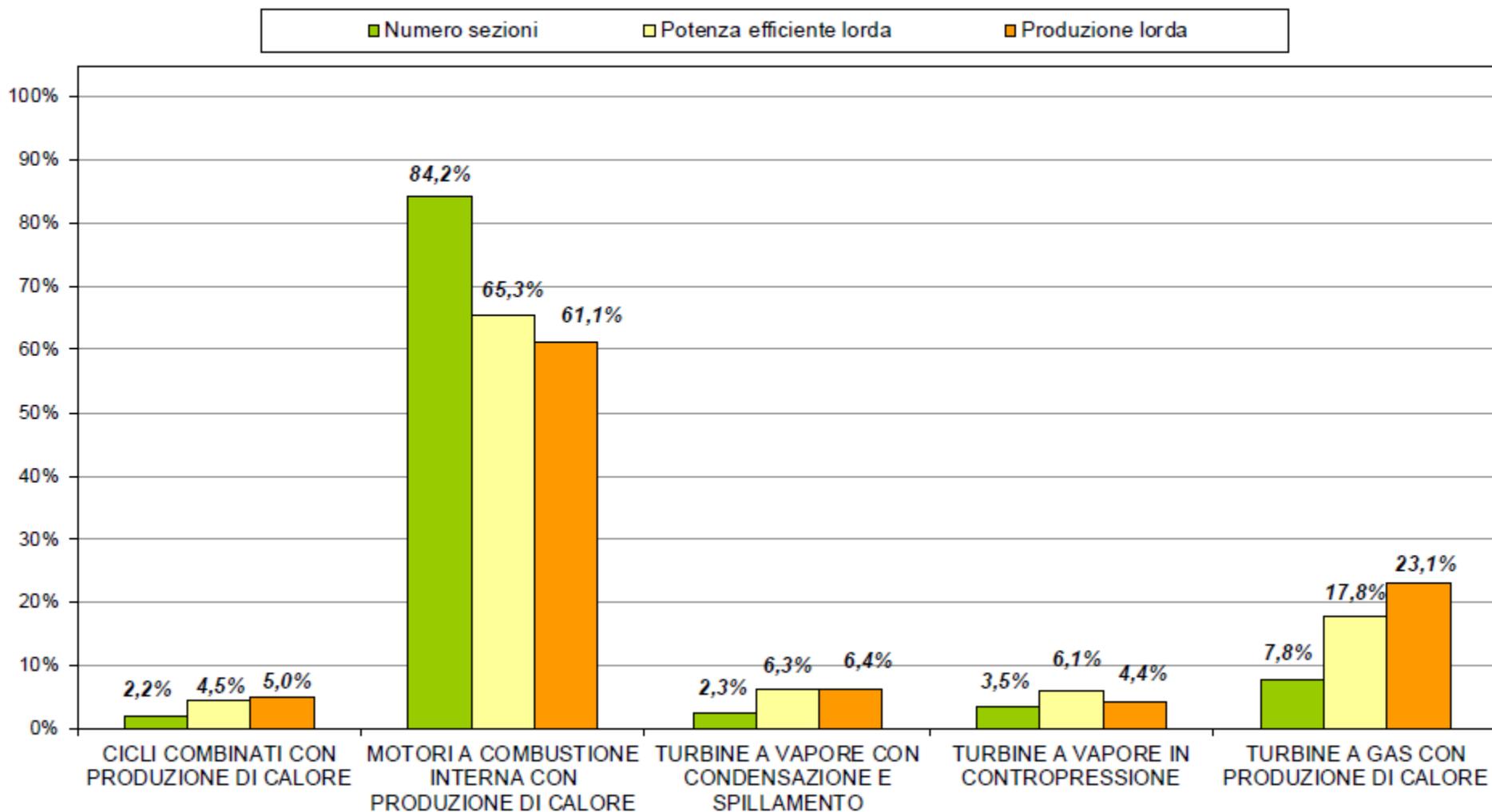


## Sezioni, potenza e produzione impianti di cogenerazione GD in funzione della tecnologia utilizzata (dati AEEG, anno 2011)

Numero totale sezioni: 1.534

Potenza efficiente lorda: 1.852 MW

Produzione lorda: 6,86 TWh



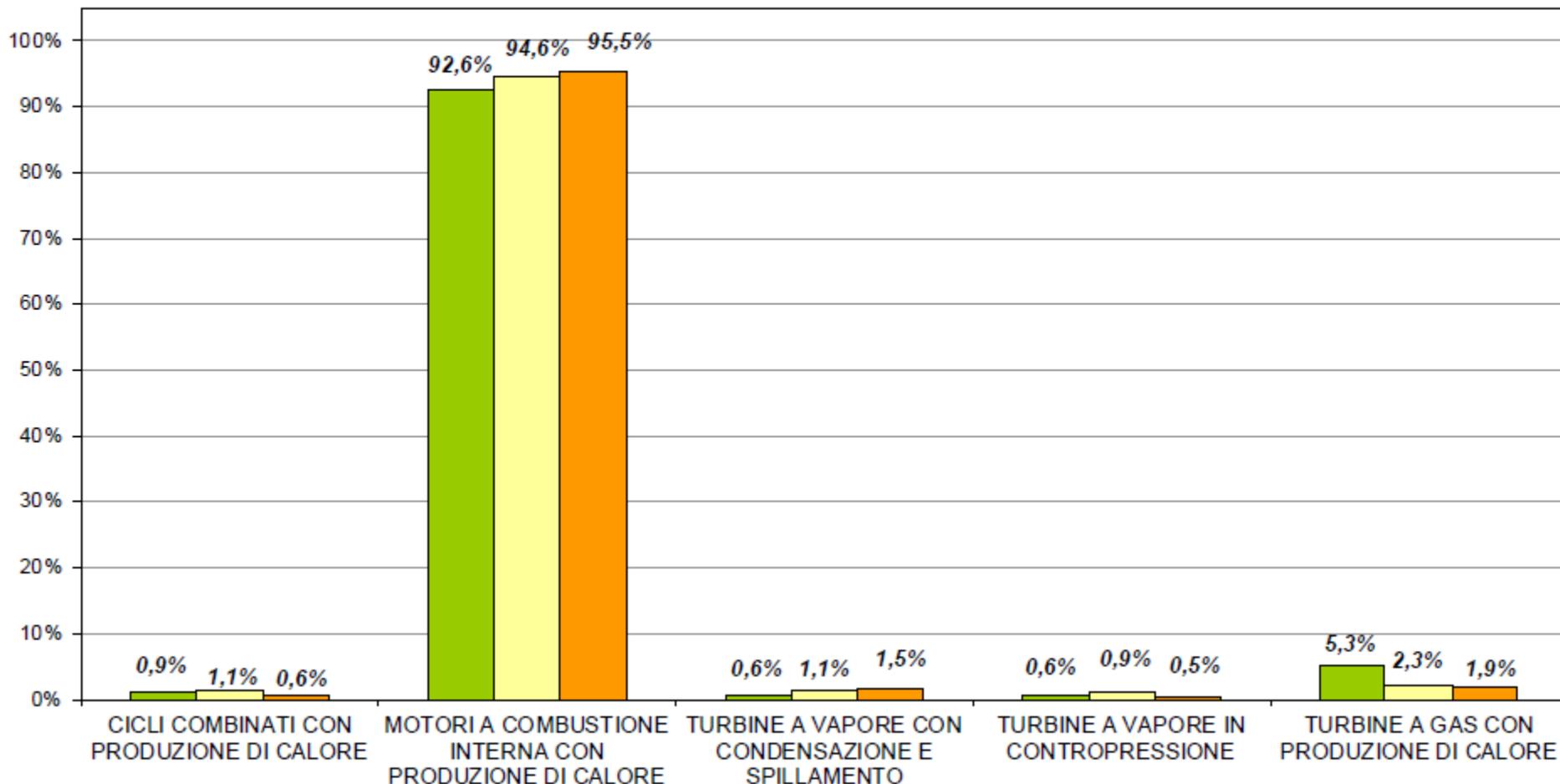
## Sezioni, potenza e produzione impianti di cogenerazione PG in funzione della tecnologia utilizzata (dati AEEG, anno 2011)

Numero totale sezioni: 854

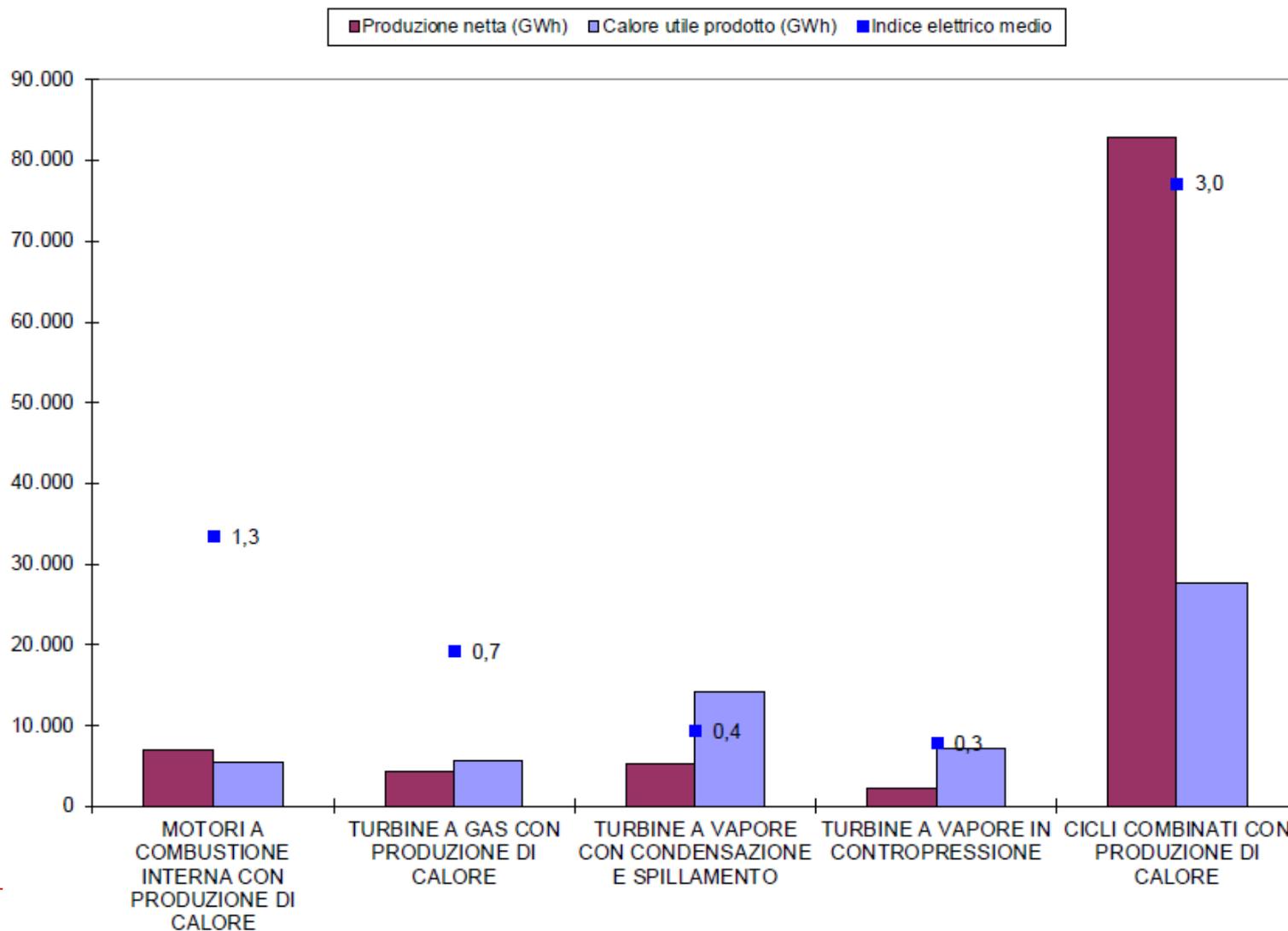
Potenza efficiente lorda: 405 MW

Produzione lorda: 1521 GWh

■ Numero sezioni    ■ Potenza efficiente lorda    ■ Produzione lorda



## Produzione elettrica e termica e indice elettrico degli impianti di cogenerazione in funzione della tecnologia utilizzata (dati AEEG, anno 2011)



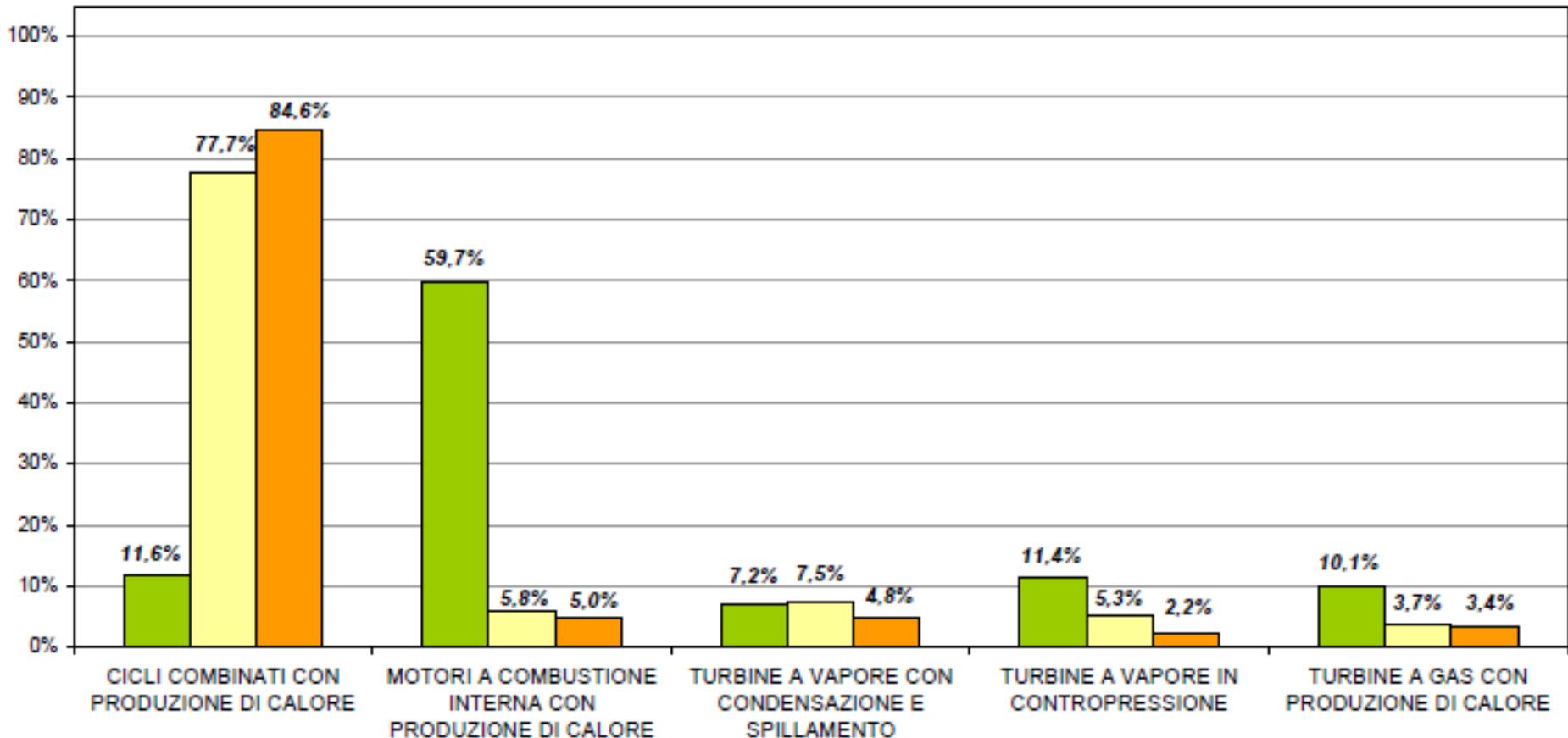
## Sezioni, potenza e produzione impianti di cogenerazione in funzione della tecnologia utilizzata (dati AEEG, anno 2010)

Numero totale sezioni: 1.391  
2011 1.980

Potenza efficiente lorda: 24.376 MW  
23.850

Produzione lorda: 111.468 GWh  
101.509

■ Numero sezioni    ■ Potenza efficiente lorda    ■ Produzione lorda

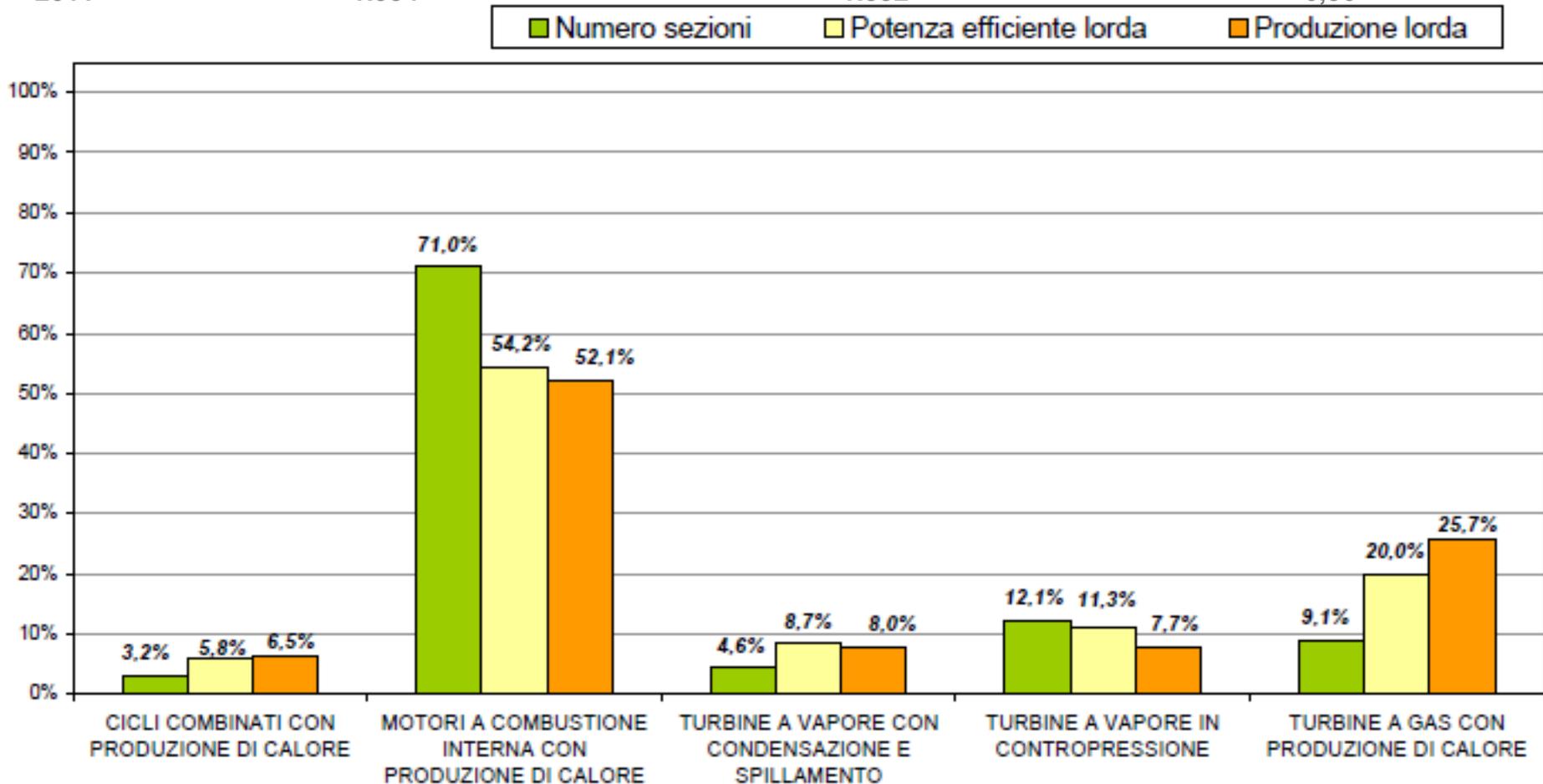


## Sezioni, potenza e produzione impianti di cogenerazione GD in funzione della tecnologia utilizzata (dati AEEG, anno 2010)

Numero totale sezioni: 1.038  
2011 1.534

Potenza efficiente lorda: 1.554 MW  
1.852

Produzione lorda: 5,63 TWh  
6,86



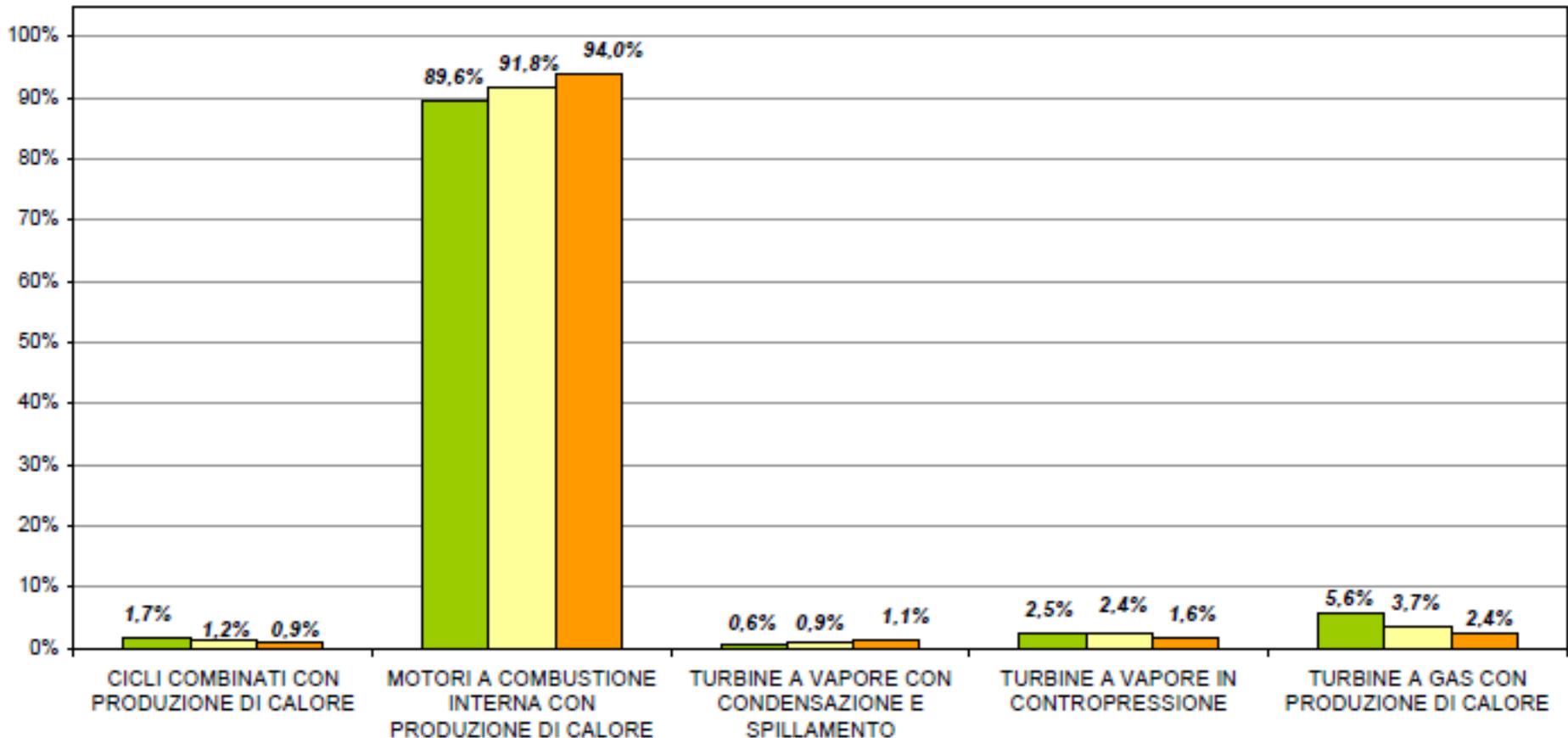
## Sezioni, potenza e produzione impianti di cogenerazione PG in funzione della tecnologia utilizzata (dati AEEG, anno 2010)

Numero totale sezioni: 355  
2011 854

Potenza efficiente lorda: 170 MW  
405

Produzione lorda: 549 GWh  
1.521

■ Numero sezioni    ■ Potenza efficiente lorda    ■ Produzione lorda



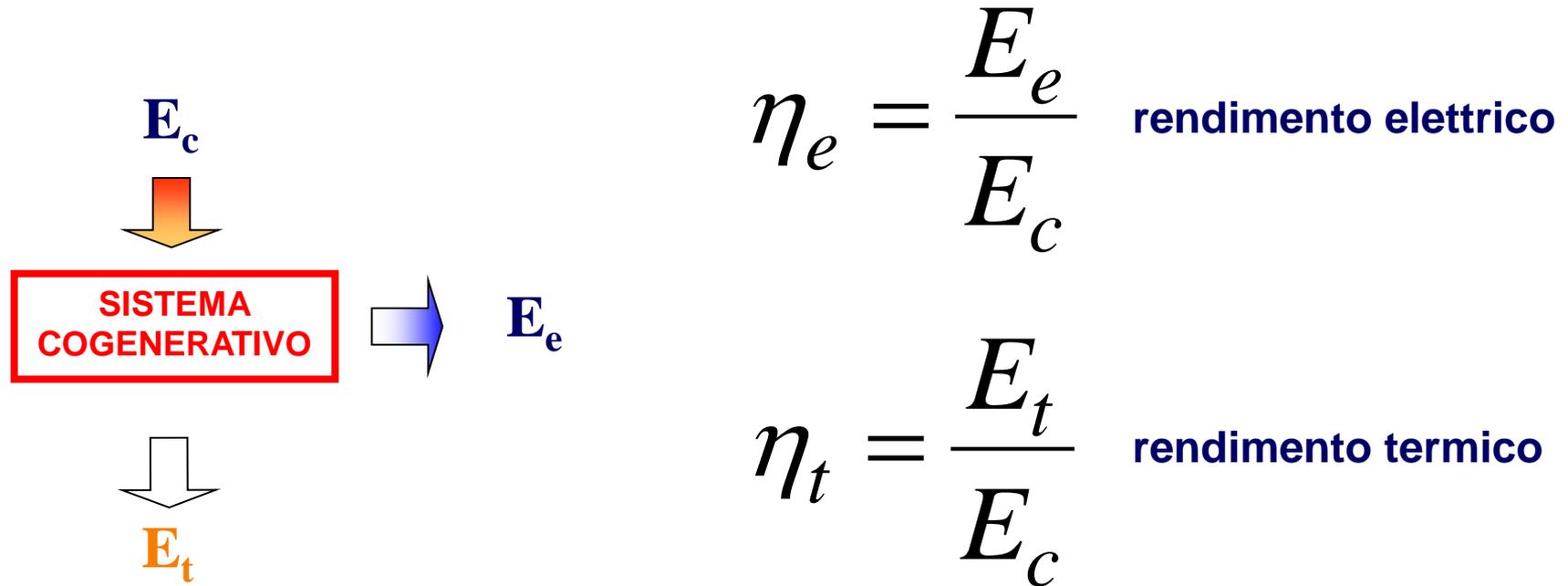
# *Le applicazioni della cogenerazione*

Taglia media delle sezioni CAR per settore di attività (dati GSE, anno 2006)

Attività	taglia media (MWe)	Potenza installata (MWe)
Industria chimica e petrolchimica	114.3	2972
Raffinazione petrolio	136.6	2459
Industria cartaria	16.7	835
Industria siderurgica	185.0	370
Industria alimentare	11.9	202
Industria automobilistica	23.1	162
Industria ceramica	3.9	74
Riscaldamento e teleriscaldamento	12.5	997
Impianti sportivi, alberghi e ristoranti	0.1	
Commercio	0.5	
Ospedali	1	
Case di riposo e simili	1.5	
Concerie	2.0	529
Industria tessile, gomma e plastiche	3.0	
Industria elettronica	9.0	
Trasporti aerei	30.5	



# Prestazioni di un cogeneratore



$$\eta_e = \frac{E_e}{E_c} \quad \text{rendimento elettrico}$$

$$\eta_t = \frac{E_t}{E_c} \quad \text{rendimento termico}$$

$$\eta_U = \eta_{tot} = \frac{E_e + E_t}{E_c} = \eta_e + \eta_t \quad \text{coefficiente di utilizzo del combustibile o rendimento totale}$$



## Coefficiente di utilizzo del combustibile

Se calcolato con riferimento al potere calorifico inferiore (PCI) il limite superiore non è 100%

$$\eta_U < \frac{PCS}{PCI}$$

Combustibile	PCS [kJ/kg]	PCI [kJ/kg]	PCS/PCI
idrogeno	144 000	121 000	119%
metanolo	22 513	19 700	114%
gas naturale	55 765	50 140	111%
gpl	50 071	46 100	109%
gasolio	45 785	42 860	107%
carbone (antracite)	34 378	33 500	103%
olio vegetale (colza)	40 033	37 400	107%
biodiesel	39 800	37 100	107%
olio vegetale (palma)	39 133	36 500	107%
olio combustibile	43 700	41 000	107%
olio vegetale (soia)	39 343	36 800	107%
biogas	19 679	17 699	111%
gas d'altoforno	6 725	6 050	111%



# *Prestazioni di un cogeneratore*

**Primo principio termodinamica**

**ENERGIA TERMICA = ENERGIA MECCANICA**

**Secondo principio termodinamica**

**ENERGIA TERMICA  $\neq$  ENERGIA MECCANICA**

**1 kJ di ACQUA CALDA  $\neq$  1 kJ di VAPORE  $\neq$  1 kJ di ELETTRICITA'**



# Prestazioni di un cogeneratore

## Rendimento di primo principio

$$\eta_I = \eta_U = \frac{\textit{produzione utile}}{\textit{consumo combustibile}}$$

## Rendimento di secondo principio

$$\eta_{II} = \frac{\textit{produzione utile pesata "termdinamicamente"}}{\textit{consumo combustibile}}$$



## Il rendimento di secondo principio

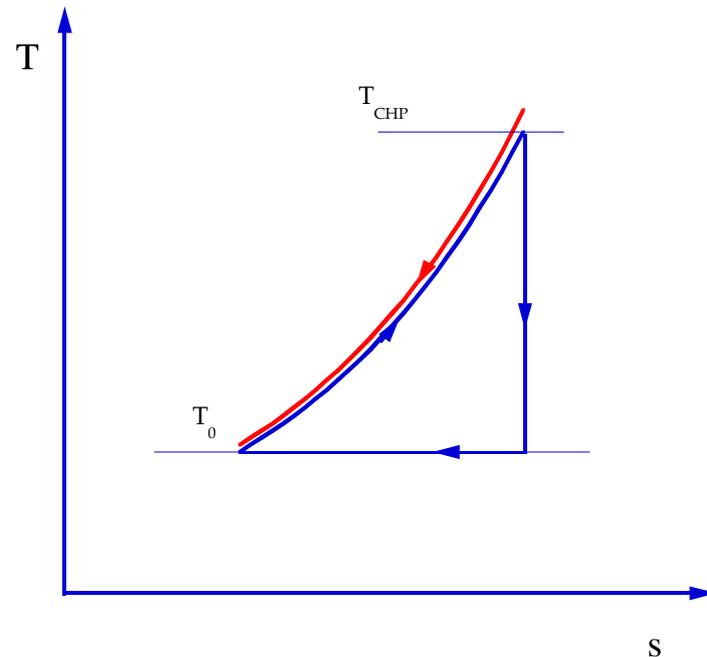
$$\eta_{II} = \frac{\text{produzione utile pesata "termodinamicamente"}}{\text{consumo combustibile}}$$

$$\eta_{II} = \frac{E_e + \varepsilon E_t}{E_c}$$

$$\varepsilon = \eta_{rev} \eta'$$

$$\eta_{rev} = 1 - \frac{T_0}{T_{ml,CHP}}$$

$$T_{ml,CHP} = \frac{T_{CHP} - T_0}{\ln(T_{CHP}/T_0)}$$



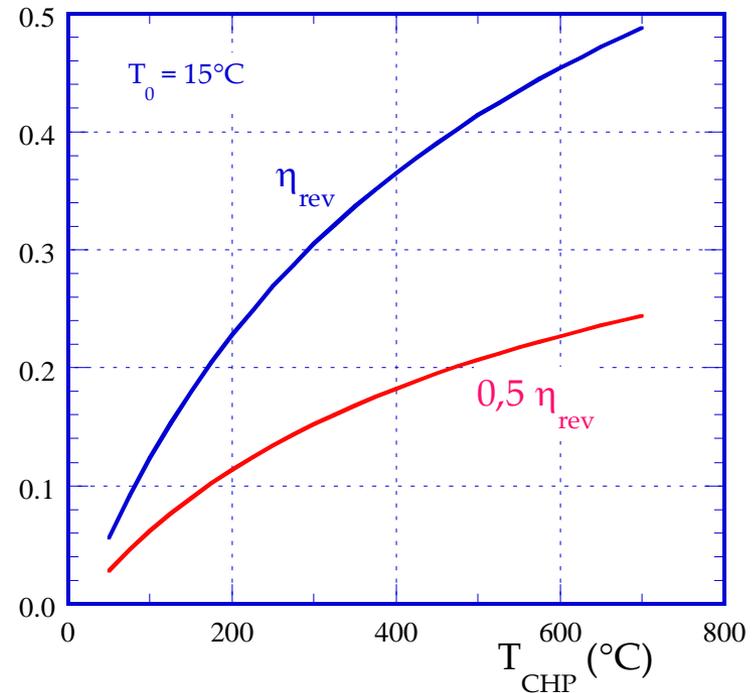
# Il rendimento di secondo principio

$$\eta_{II} = \frac{E_e + \varepsilon E_t}{E_c}$$

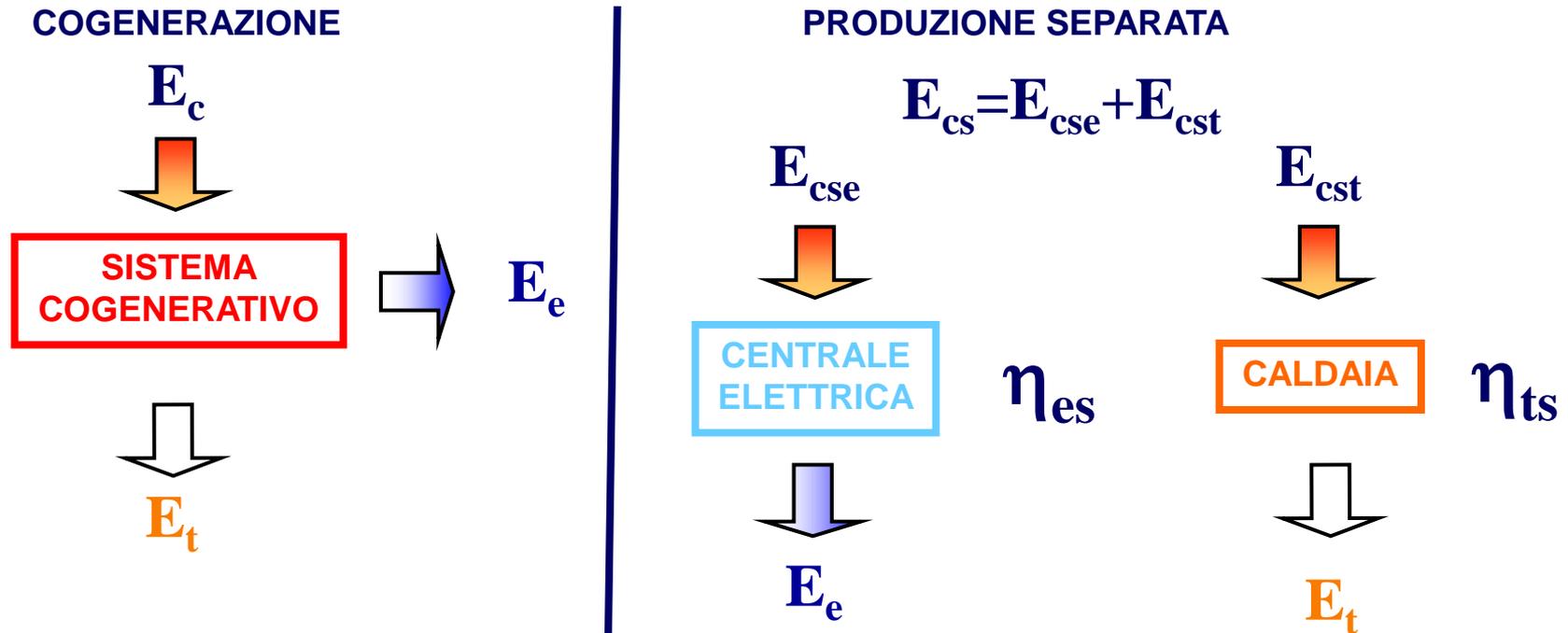
$$\varepsilon = \eta_{rev} \eta'$$

$$\eta_{rev} = 1 - \frac{T_0}{T_{ml,CHP}}$$

$$T_{ml,CHP} = \frac{T_{CHP} - T_0}{\ln(T_{CHP}/T_0)}$$



# Il confronto con la produzione separata



$$IRE = PES = \frac{E_{cs} - E_c}{E_{cs}} = 1 - \frac{E_c}{\frac{E_e}{\eta_{es}} + \frac{E_t}{\eta_{ts}}} = 1 - \frac{1}{\frac{\eta_e}{\eta_{es}} + \frac{\eta_t}{\eta_{ts}}}$$



## Il piano rendimento elettrico - termico

