



# **Sostenibilità energetica in ambito urbano: Metodologie di analisi**

**Ing. Novella TALA',  
Responsabile Scientifico Prof. Massimo SANTARELLI  
Dipartimento di Energetica, Politecnico di Torino  
Fondazione TELIOS**



## Aspetti generali (1)

“Lo **sviluppo sostenibile** fa fronte alle necessità del presente senza compromettere la capacità delle future generazioni di soddisfare le proprie esigenze”

Rapporto Brundtland, 1987

- **Principio del rendimento sostenibile**

la velocità di prelievo delle risorse dovrebbe essere pari alla velocità di rigenerazione delle stesse da parte della Natura

- **Principio della capacità di assorbimento**

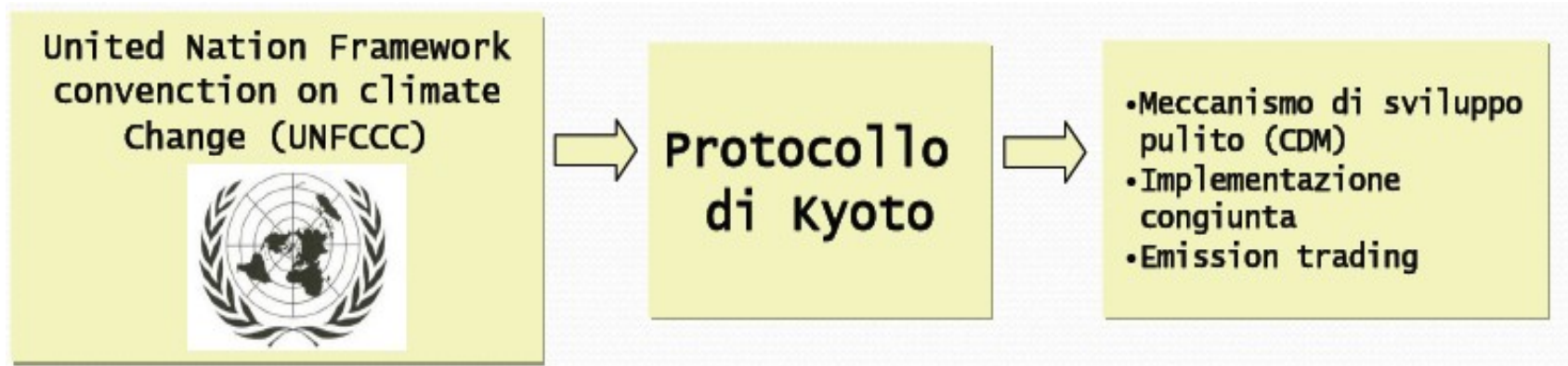
la velocità di produzione degli scarti o dei rifiuti dovrebbe essere uguale alle capacità naturali di assorbimento da parte degli ecosistemi in cui i rifiuti vengono immessi

Herman Daly, padre fondatore della Teoria della Sostenibilità



## Aspetti generali (2)

- Il protocollo di Kyoto



- Evoluzione protocollo di Kyoto



## Aspetti generali (3)

### Prospettive energetiche

Dinamiche della **domanda** di energia, scenari energetici

Variabili che influenzano la domanda:

- Reddito
- Andamento demografico
- Reddito pro capite
- Processi di urbanizzazione
- Mobilità
- Progresso tecnologico



# Aspetti generali (4)

## Prospettive energetiche

### Prospettive dell'**offerta**

- Fonti fossili
- Risorse rinnovabili



## “*Il millennio urbano*” (1)

**Nel 2030 1.5 miliardi** di individui proverrà da centri urbani

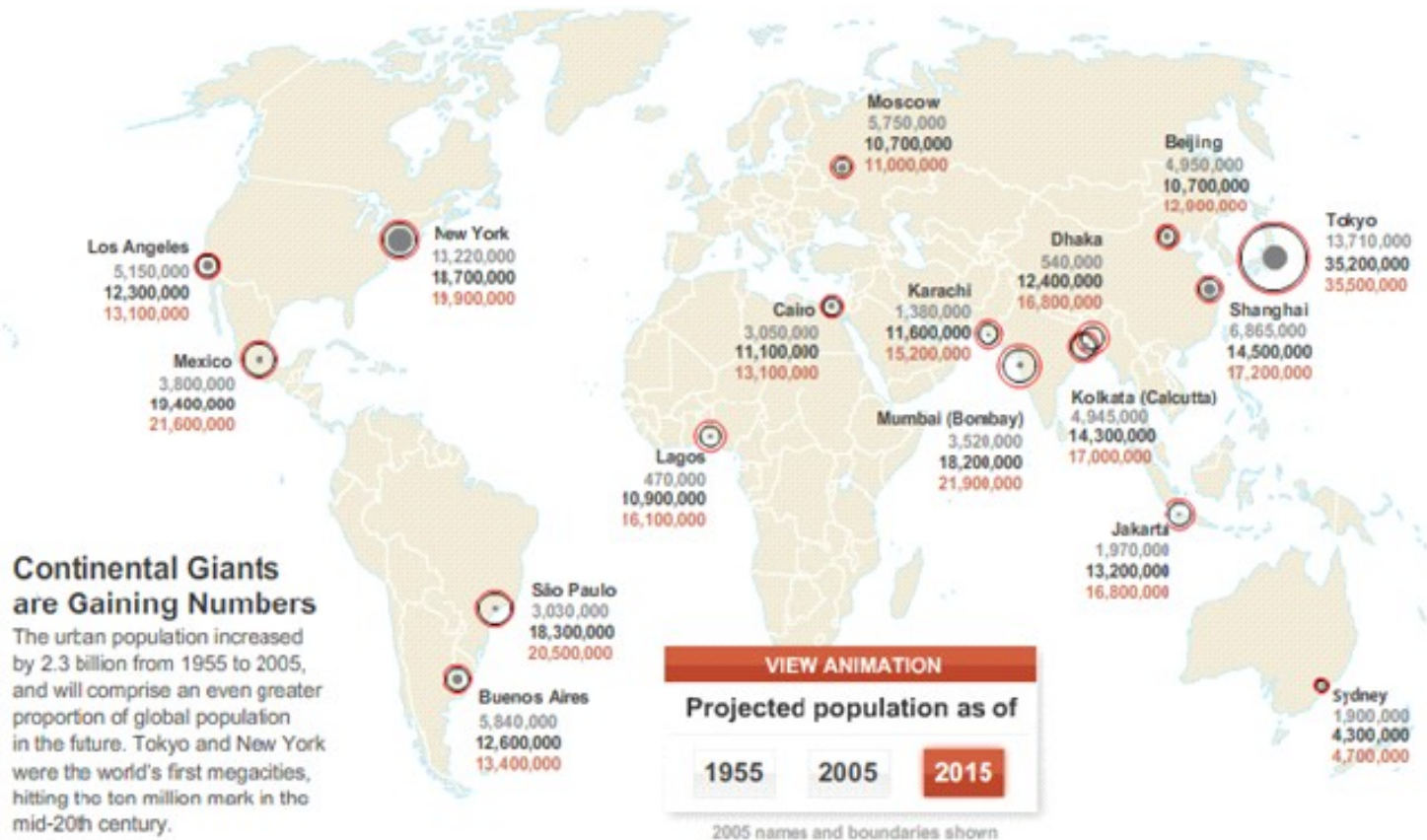
1/3 di tutta la popolazione urbana mondiale vive in condizioni di degrado

1/4 della popolazione urbana mondiale vive in città con oltre **5 milioni** di abitanti

1/2 della popolazione urbana mondiale vive in città con meno di **500 mila** abitanti

## “Il millennio urbano” (2)

Dal 1955 al 2005 la popolazione urbana è cresciuta di 2,3 miliardi soprattutto nei paesi più popolosi





## Il ruolo delle città (1)

L'energia in città:

Il **75%** del consumo energetico globale e **l'80%** delle emissioni di gas serra sono concentrati nelle città dove si trovano in prevalenza le attività di produzione e lavoro



## Il ruolo delle città (2)

**20 / 20 / 20**

Manifesto per l'indipendenza energetica dal petrolio  
produrre da fonti rinnovabili distribuire e consumare equamente  
(presentato e sottoscritto il 24 maggio 2008)

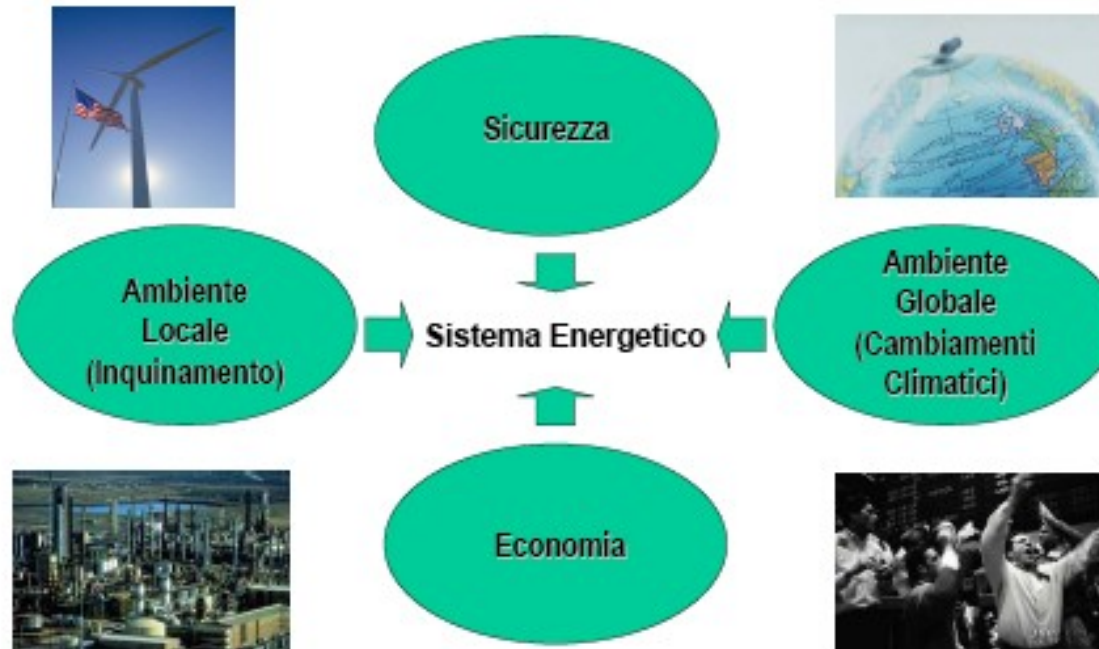
Il Piemonte accoglie l'impegno della Commissione Europea di ridurre  
entro il 2020:

- -20% emissioni di CO<sub>2</sub>
- -20% consumo di energia primaria (+20% risparmio energetico)
- +20% di produzione da fonti rinnovabili
- +20% di biocarburanti ricavata non da fonti alimentari, ma da cellulosa e residui legnosi

# Il sistema energetico di riferimento (1)

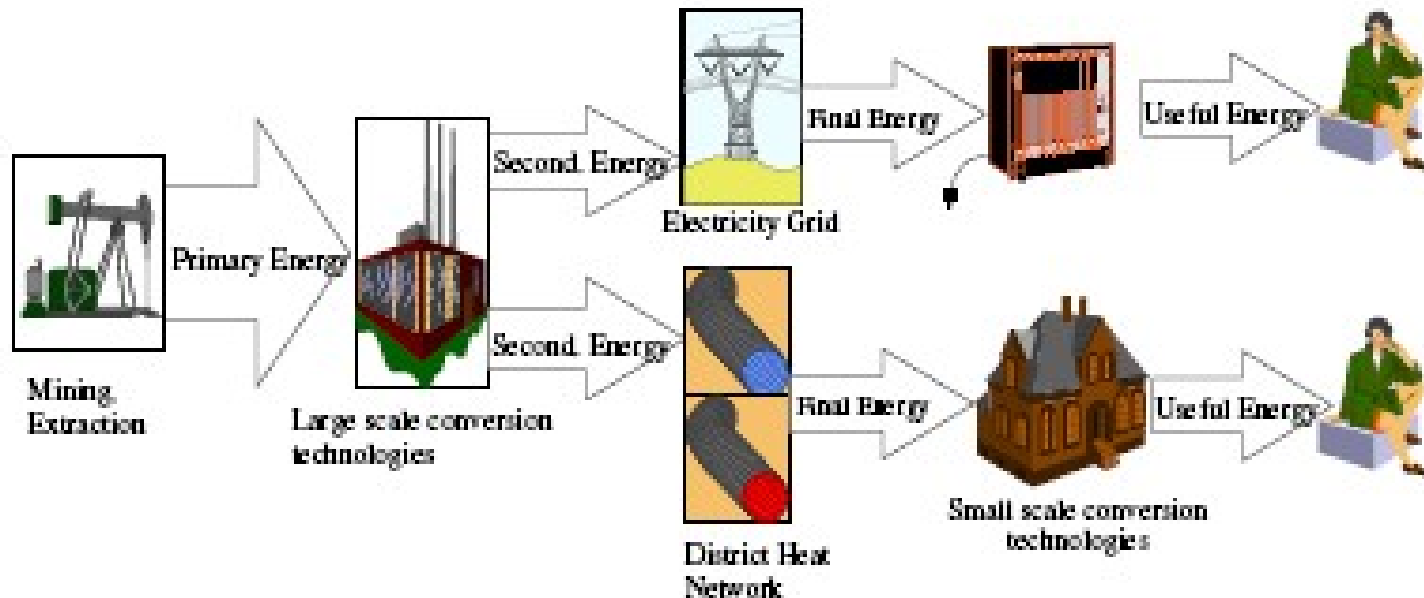
Gli ambiti urbani rappresentano dei **sistemi energetici complessi** in cui i flussi di energia e di materiale sono collegati da reti di tecnologie articolate, con singole componenti ugualmente complesse

Le leggi che regolano l'evoluzione di un sistema energetico esteso sono di tipo economico, sociale, tecnologico, ambientale



## Il sistema energetico di riferimento (2)

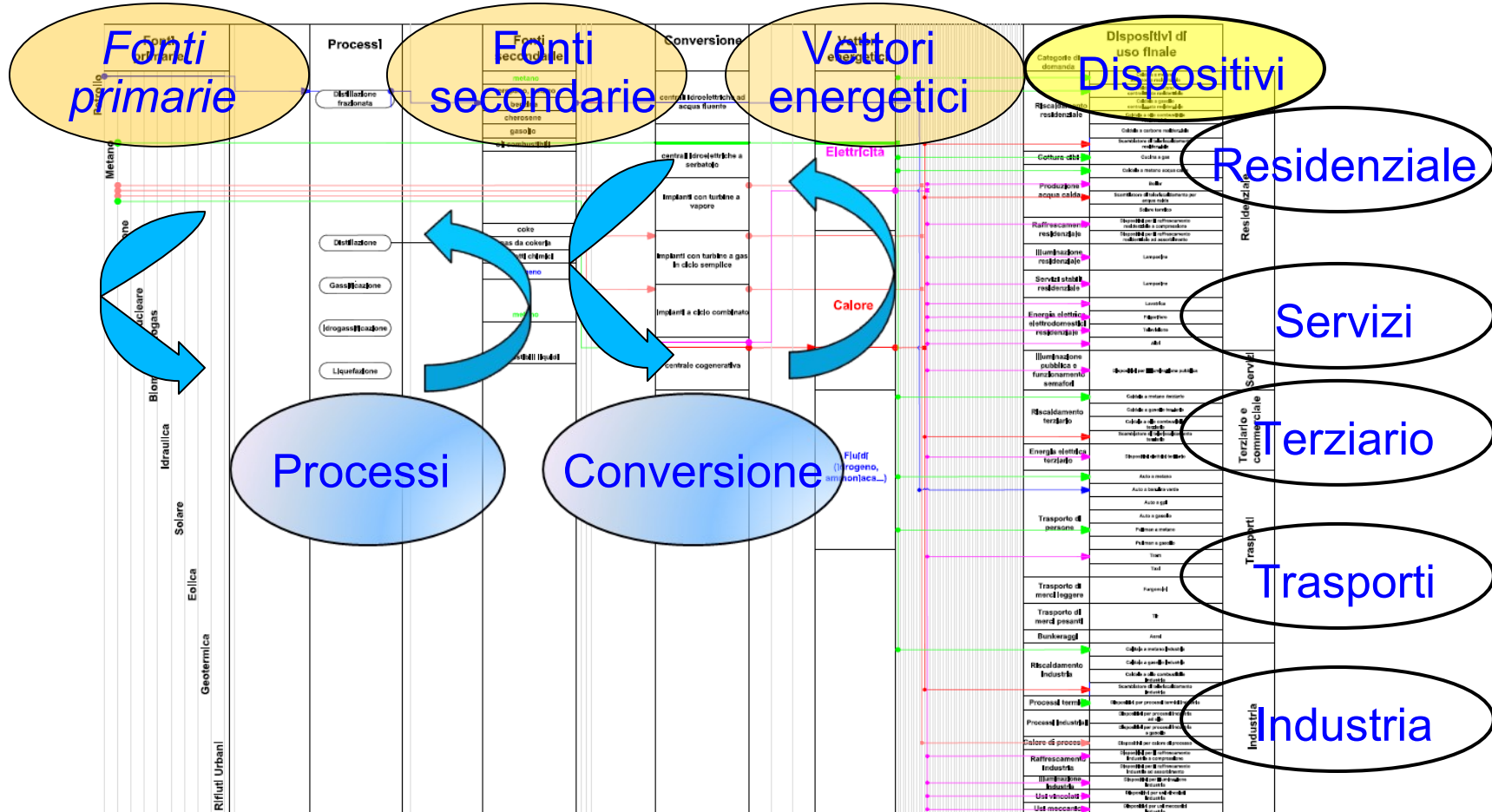
L'approccio modellistico permette rappresentare le realtà urbane traducendo in termini matematici i flussi energetici ed i costi economici e ambientali del sistema



Rappresentazione aggregata di un sistema energetico di riferimento

# Il sistema energetico di riferimento (3)

Diagramma energetico





# Metodi di analisi

**Obiettivo:** esplorazione metodologie utili alla comprensione delle trasformazioni dei flussi energetici;

Metodi di analisi adottati:

- Analisi ENergetica (Analisi WTW)
- Analisi Ambientale
- Analisi EXergetica



# Analisi energetica-ambientale

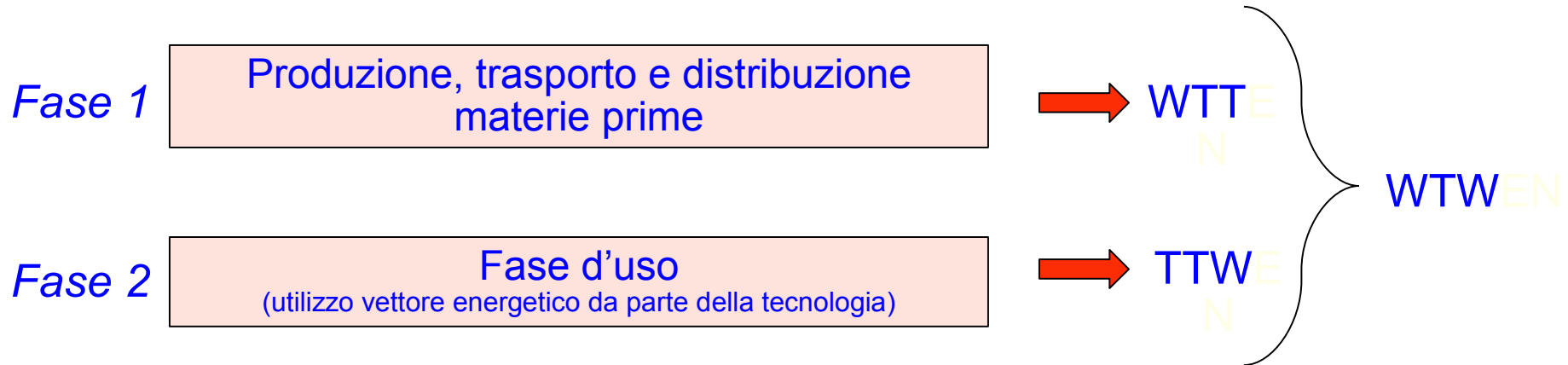
L'analisi WTW rappresenta una metodologia di valutazione energetico-ambientale specifica per autotrazione e costituisce un caso particolare della metodologia Life Cycle Assessment (LCA)

- L'indice **WTT** (Well-to-Tank) tiene conto dell'energia utilizzata per estrarre, lavorare e trasportare il combustibile sino al parco combustibili.
- L'indicatore **TTW** (Tank-to-Wheel) caratterizza le modalità con cui il combustibile è impiegato in una specifica tecnologia.
- L'indicatore composto **WTW** (Well-to-Wheel) permette di paragonare le diverse modalità di fornire energia e le tecnologie per utilizzarla.



# Analisi energetica

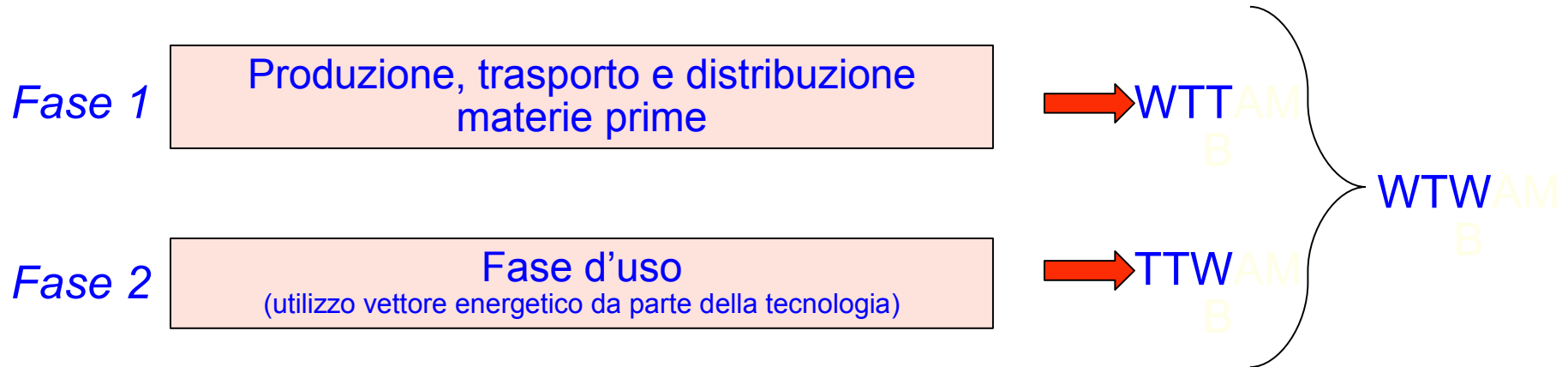
Schematicamente le fasi della sequenza WTW sono





# Analisi ambientale

Schematicamente le fasi della sequenza WTW sono





# Analisi eXergetica (1)

Fasi di realizzazione di un'analisi exergetica territoriale

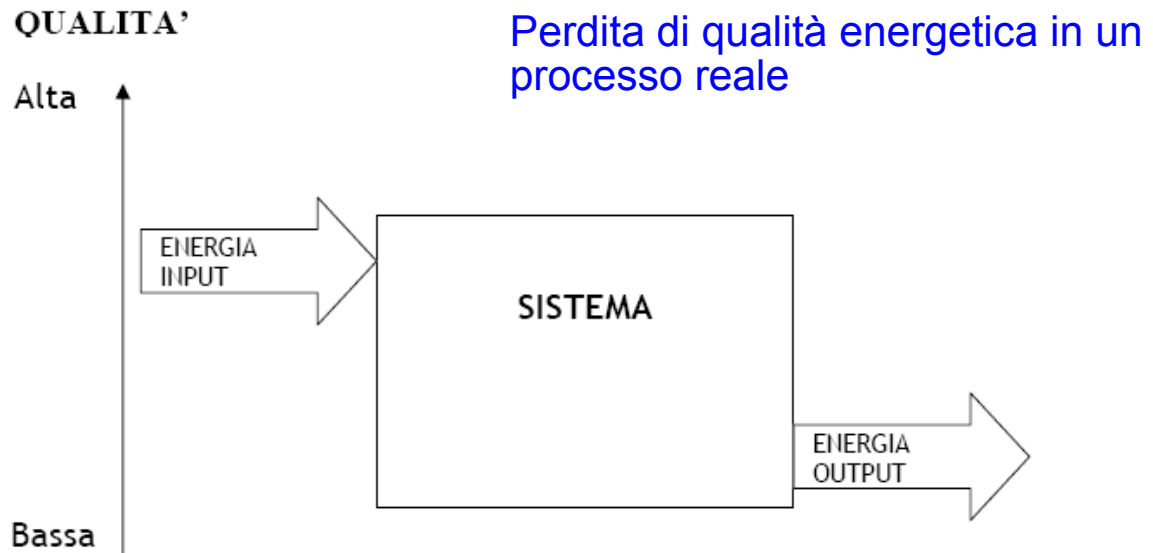




## Analisi eXergetica (2)

La conservazione dell'energia nel suo complesso enunciata dal **Primo Principio della Termodinamica** fornisce informazioni **quantitative**, ma non rende conto delle qualità intrinseche di una forma di energia rispetto ad un'altra.

Il **Secondo Principio della Termodinamica**, che introduce il concetto di entropia, permette di conoscere in termini anche **qualitativi** le energie in gioco.

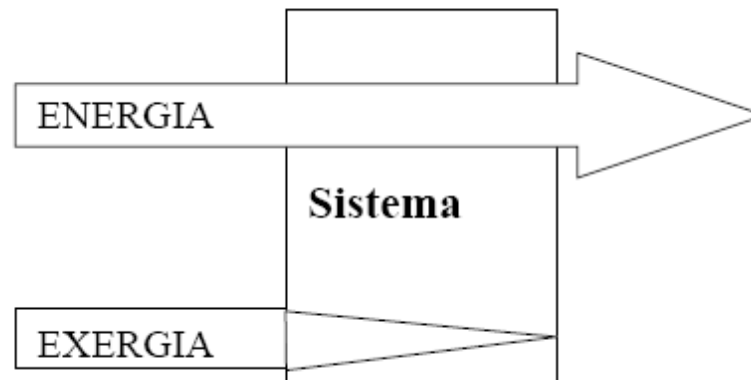




## Analisi eXergetica (3)

L' **eXergia** di un certo sistema è definita “come il massimo lavoro ottenibile da un sistema che interagisce con l'ambiente sino a portarsi in equilibrio con esso”.

L'**energia si conserva** sempre, non si può né distruggere, né creare. L'**eXergia** si conserva solamente in un processo reversibile; tutti i processi reali però sono di tipo irreversibile, per cui alla fine di ogni processo **è destinata a degradarsi**. In un sistema antropico l'energia in ingresso fluisce ed esce quantitativamente invariata, l'eXergia si consuma completamente all'interno del sistema.





## Analisi eXergetica (4)

L'**Analisi eXergetica** permette di analizzare le prestazioni di un sistema dal punto di vista di un utilizzo **razionale** delle **risorse** consumate.

L'**Analisi eXergetica** viene utilizzata per identificare i componenti in cui si sprecano le risorse energetiche del sistema, il **tipo** e l'**entità** di questo **spreco**, ed è quindi utile per sviluppare strategie per un miglior utilizzo delle risorse.

In sintesi serve a:

- quantificare come l'energia si degrada attraverso la grandezza eXergia ;
- confrontare diversi processi attraverso un ulteriore indice chiamato efficienza exergetica.

Questa analisi è applicabile sia per i singoli componenti che per il sistema globale



## Analisi eXergetica (5)

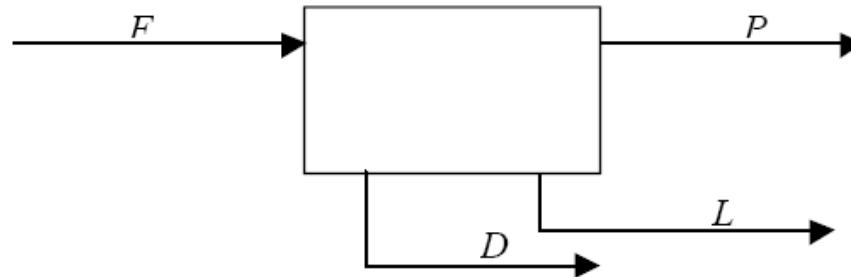
Il **diagramma di flusso** dell'eXergia nella trasformazione in esame identifica un generico processo come “black-box” nel quale confluiscono e si diramano i vari flussi exergetici.

In **ingresso** abbiamo i flussi:

- Risorsa ( $F$ )

Mentre in **uscita**:

- Prodotto utile ( $P$ )
- Prodotto non utilizzato ( $L$ )
- Irreversibilità ( $D$ ).





## Analisi eXergetica (6)

### Parametri di valutazione

- Efficienza exergetica

$$\eta_{\text{ex}} = \frac{\text{exergia dei prodotti utili}}{\text{exergia netta spesa}}$$

- Difetto di efficienza (rivela la perdita relativa di exergia nei diversi componenti del sistema)

$$\delta = \frac{\text{exergia distrutta nel componente}}{\text{exergia spesa}}$$



## Caso studio

### Il Quartiere:

Superficie: 100.000 m

Popolazione: 2.500 abitanti

Fabbisogni termici: 7000 MWh/y

Fabbisogni elettrici: 2000 MWh/y



# Caso studio: Scenario base (1)

## Il modello ed i suoi componenti

### Componente 1:

una caldaia a condensazione e due caldaie a gas;

### Componente 2:

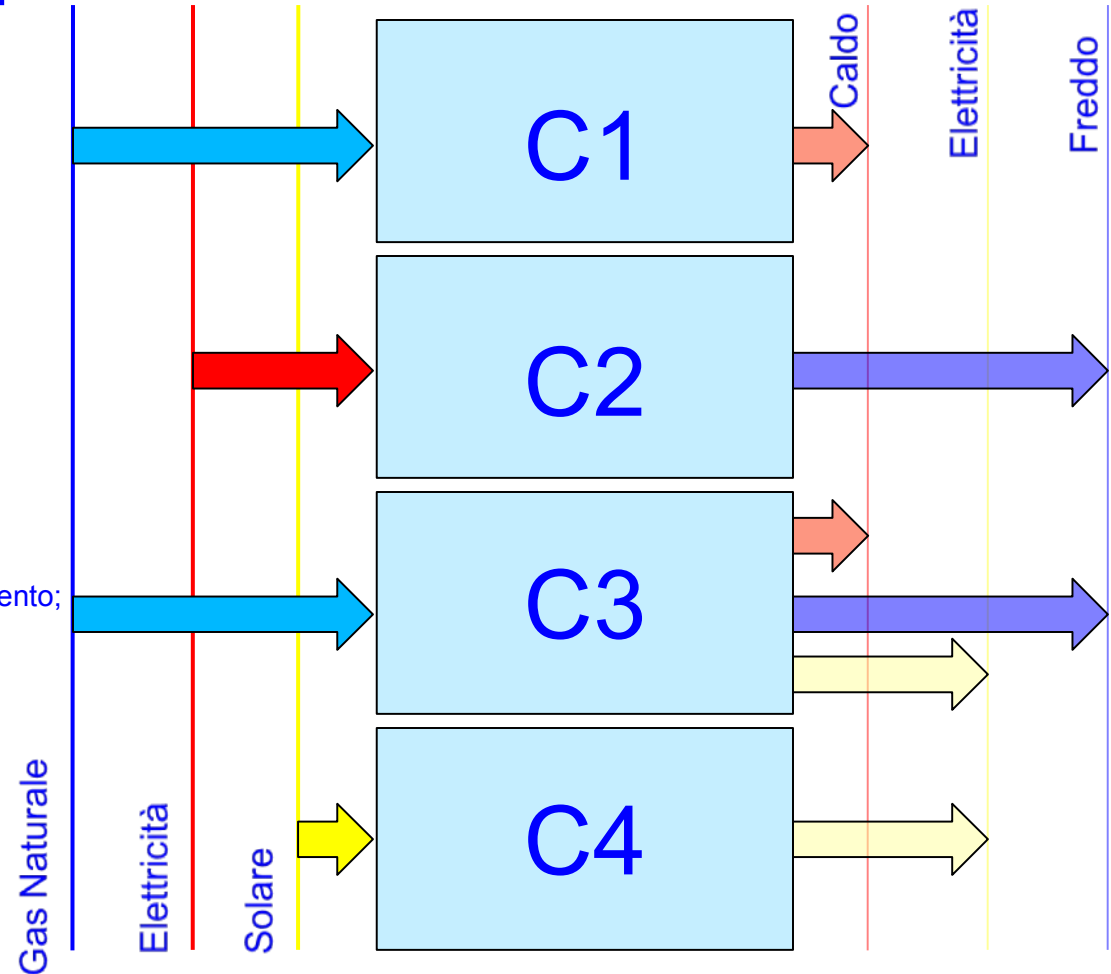
chiller a compressione

### Componente 3:

co-generatore accoppiato ad un chiller ad assorbimento;

### Componente 4:

Moduli fotovoltaici





## Caso studio: Scenario base (2)

### Descrizione dei flussi

#### Flussi in entrata:

##### Gas Naturale:

La conversione in flusso exergetico avviene utilizzando il suo potere calorifico inferiore (p.c.i.)

#### Flussi in uscita:

##### Flusso di Calore:

L'exergia termica associata ad un flusso di calore è proporzionale al flusso secondo un fattore funzione della temperatura

##### Energia Elettrica:

Il flusso di exergia è identico al flusso di energia trattandosi di una energia di tipo meccanico

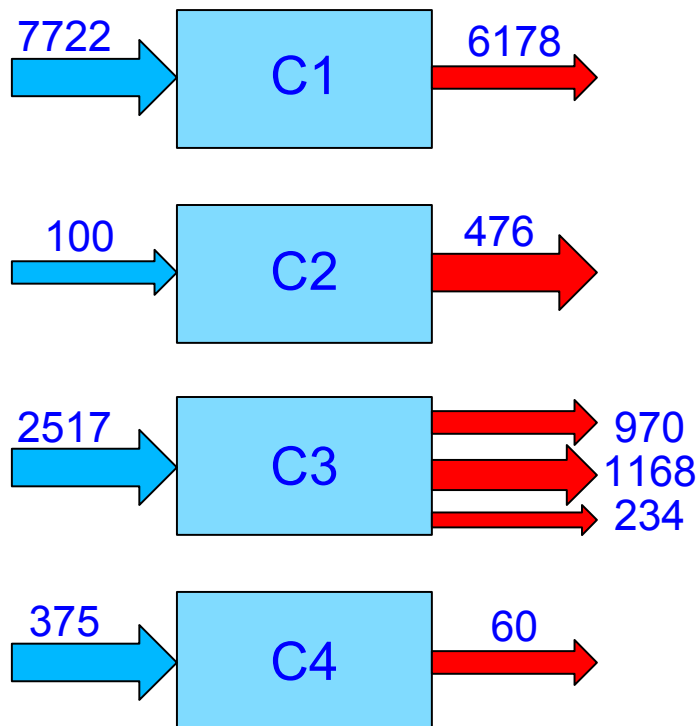




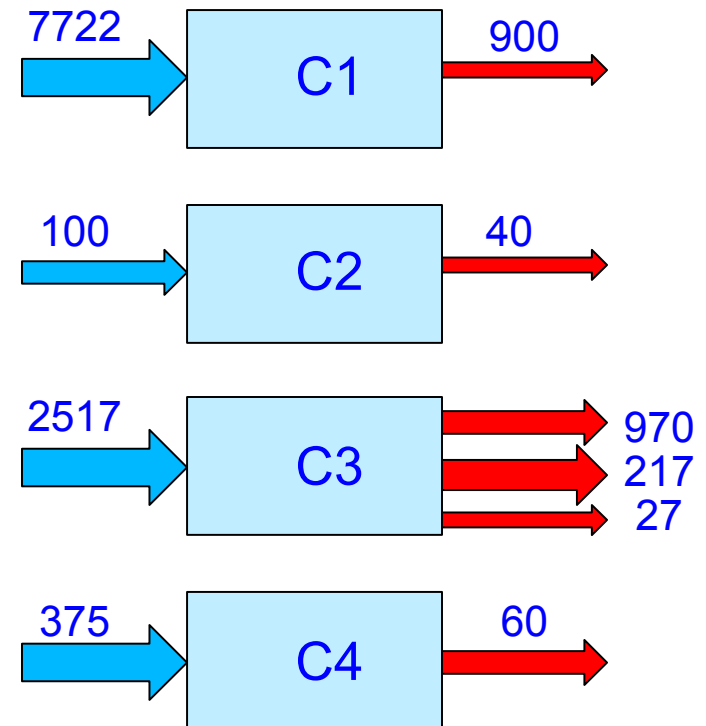
## Caso studio: Scenario base (3)

Flussi energetici ed exergetici in entrata e in uscita per tutti i componenti

Flussi eNergetici entrata/uscita (kW)



Flussi eXergetici entrata/uscita (kW)





## Caso studio: Scenario base (4)

### Rendimenti energetici ed exergetici

➤ Efficienza energetica

$$\eta_{en} = \frac{\text{energia in uscita con il prodotto}}{\text{energia in ingresso}}$$

➤ Efficienze exergetiche

$$\eta_{ex} = \frac{\text{exergia dei prodotti utili}}{\text{exergia netta spesa}}$$

➤ Perdite exergetiche

exergia distrutta = exergia risorse – exergia prodotti

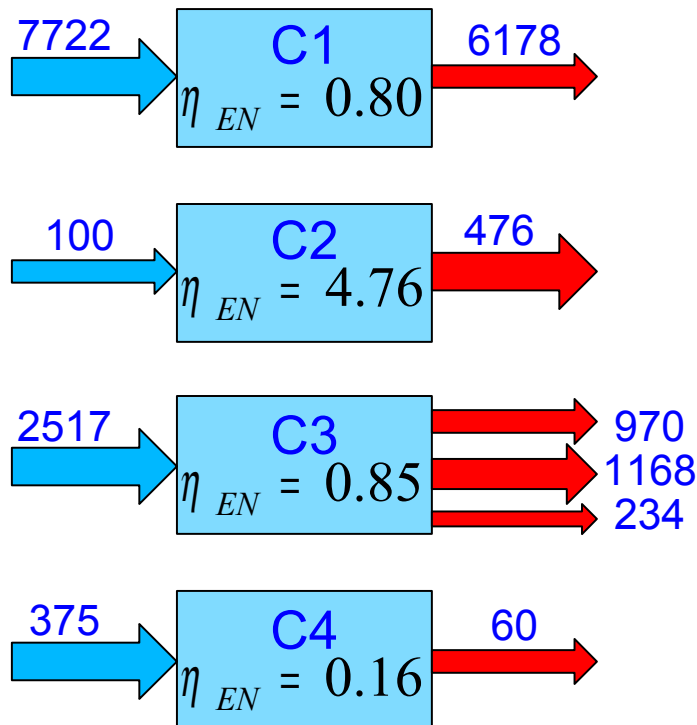
Componente	$\eta_{en}$	$\eta_{ex}$
1	0.80	0.12
2	4.76	0.37
3	0.85	0.48
4	0.16	0.17



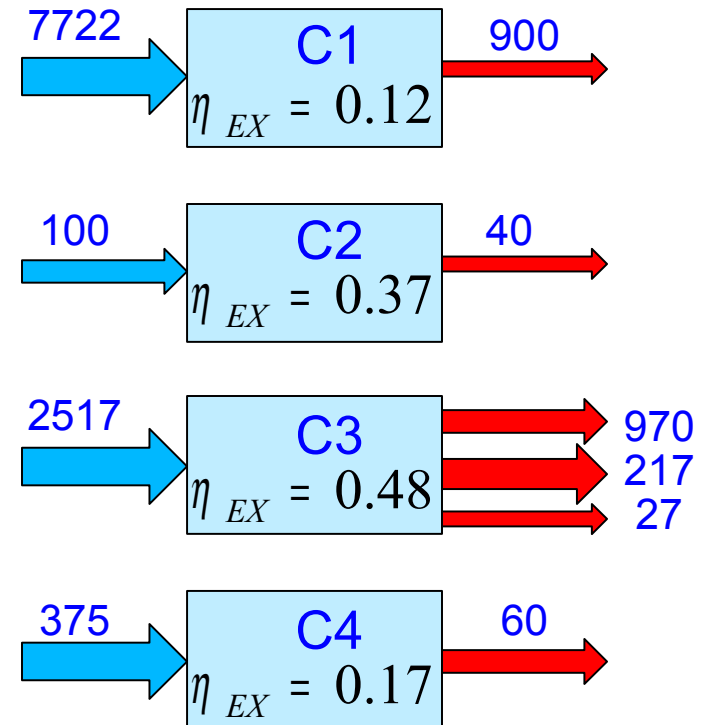
## Caso studio: Scenario base (5)

Flussi energetici ed exergetici in entrata e in uscita per tutti i componenti

Flussi eNergetici entrata/uscita (kW)



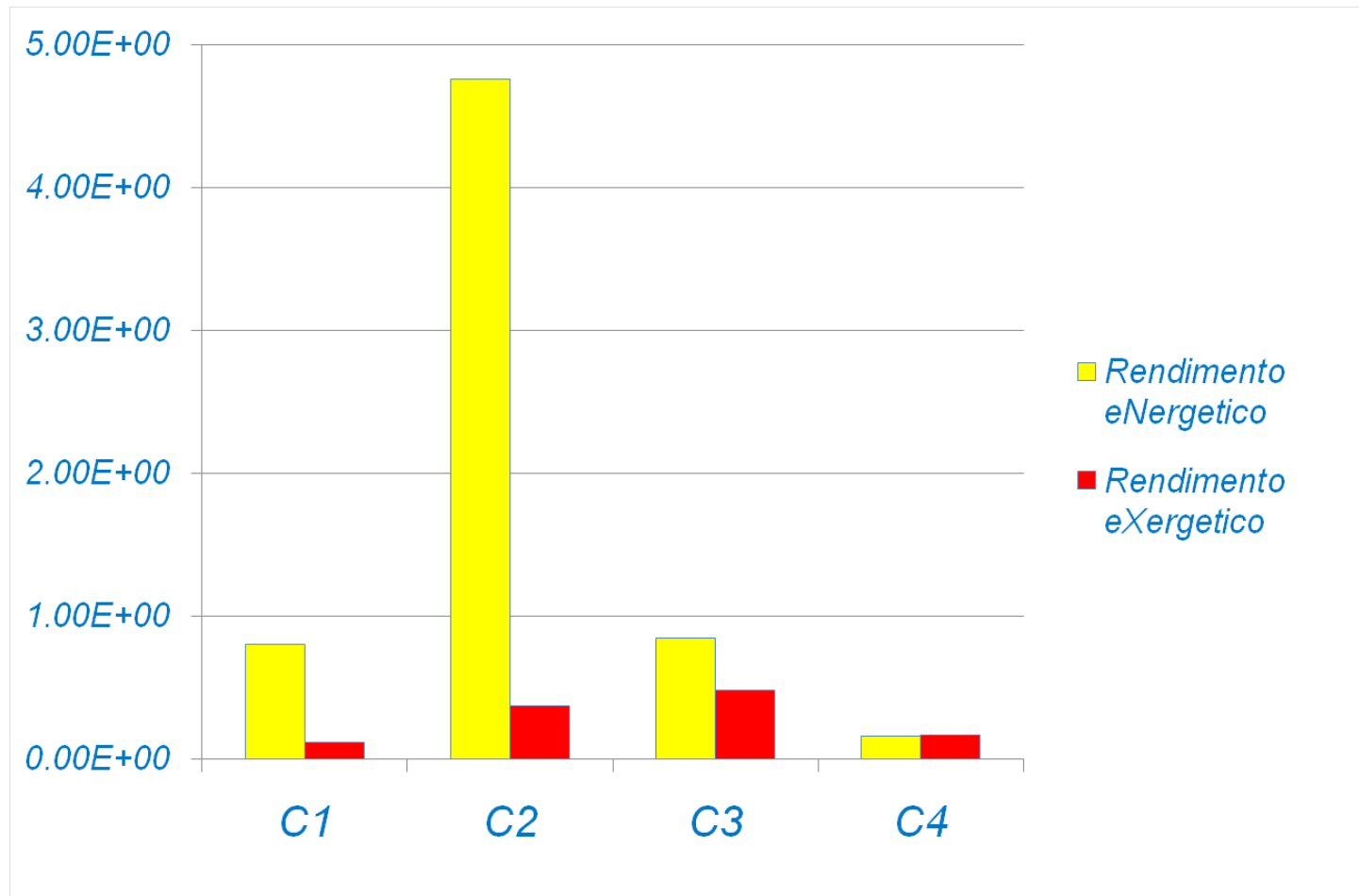
Flussi eXergetici entrata/uscita (kW)





## Caso studio: Scenario base (5)

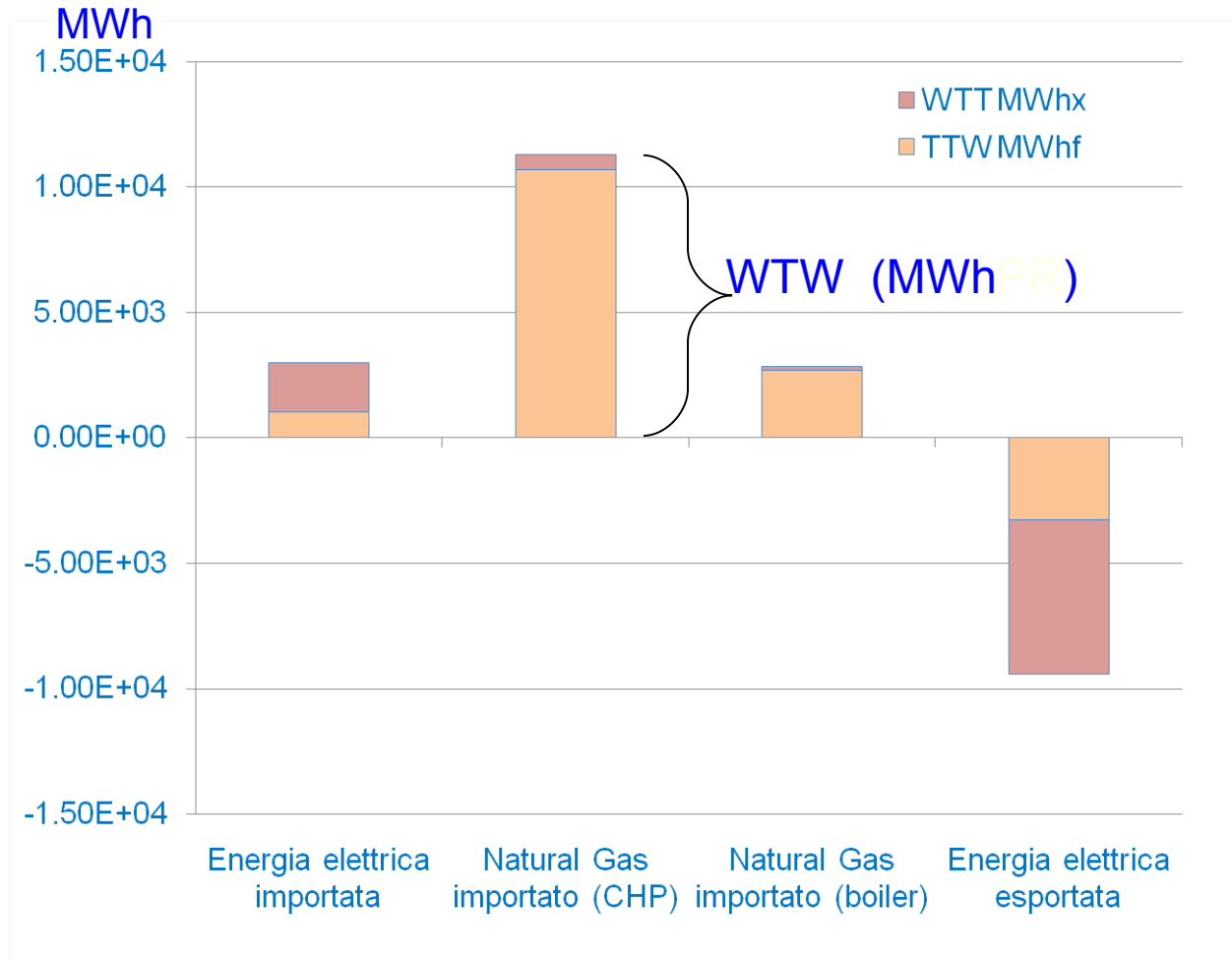
Efficienze energetiche ed exergetiche dei componenti





# Caso studio: Scenario base (6)

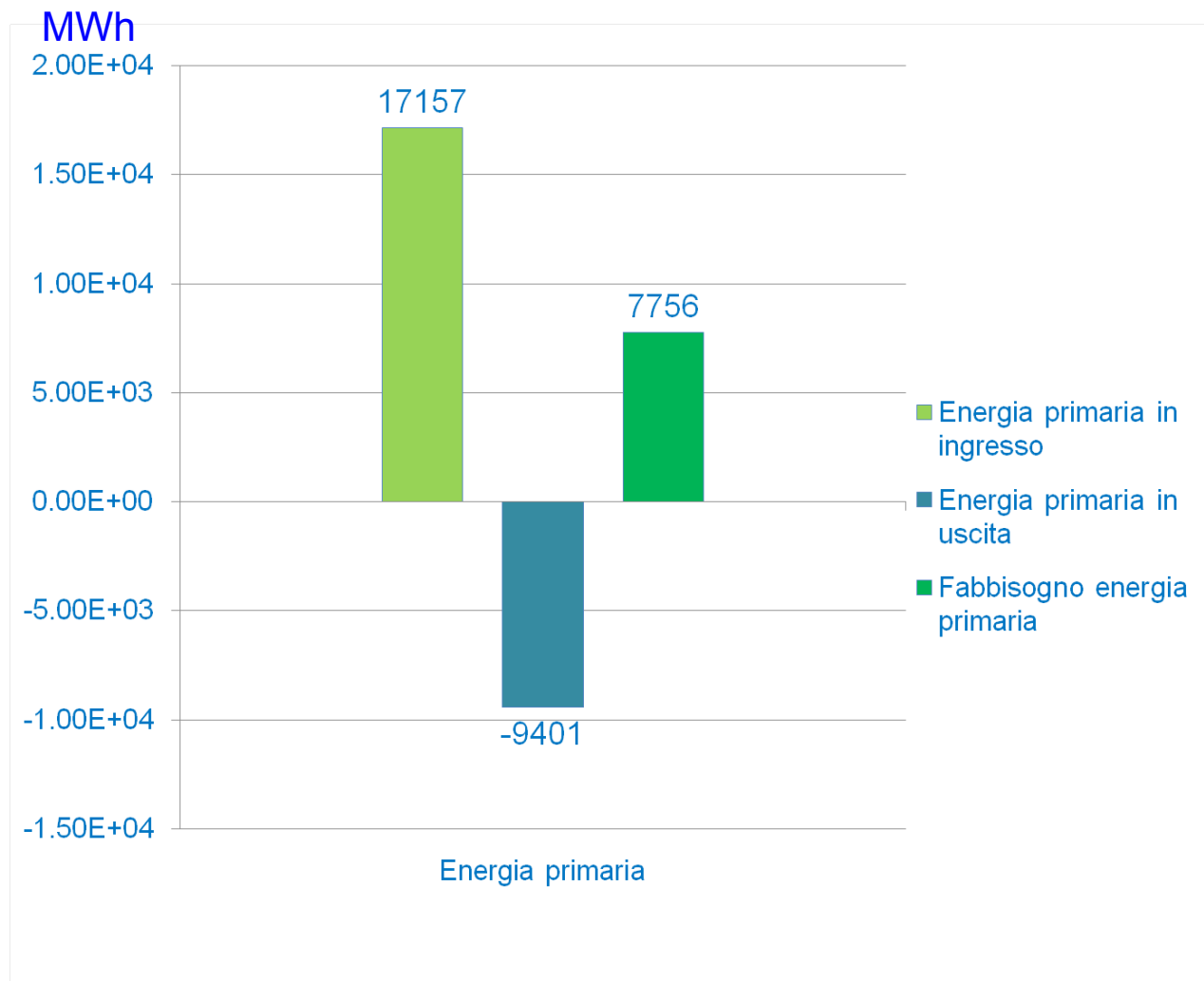
## Analisi WTW **ENERGETICA**





# Caso studio: Scenario base (6)

## Analisi WTW ENERGETICA

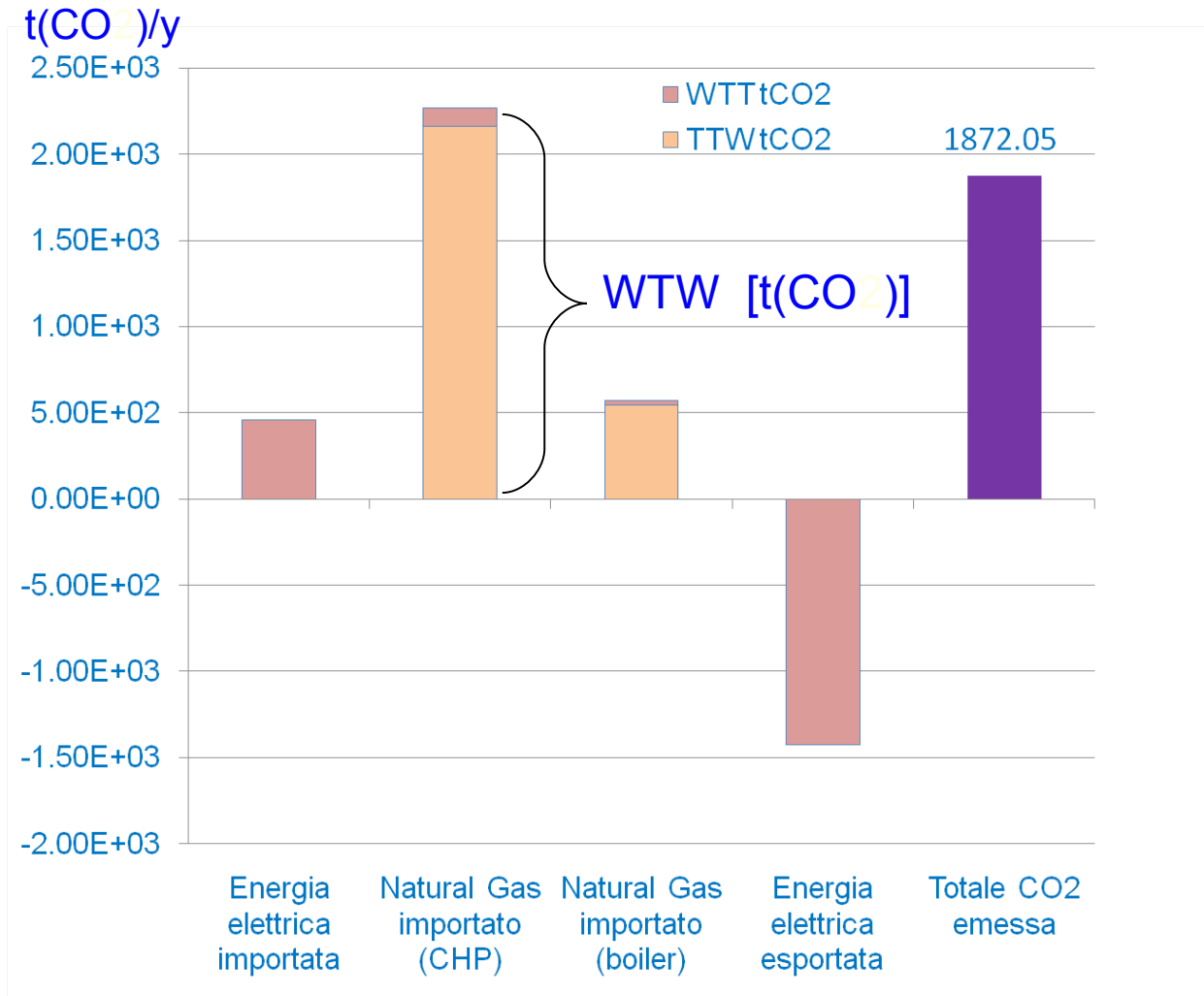


Cavour, 6 Marzo 2009



# Caso studio: Scenario base (7)

## Analisi WTW AMBIENTALE



Cavour, 6 Marzo 2009



## Caso studio: Scenario base (8)

Considerazioni scenario base:

L'analisi dello scenario di riferimento (indicatore scelto, rendimento exergetico) suggerisce la sostituzione del componente costituito dalla caldaia con uno nuovo costituito da pompe di calore.

Si propone uno scenario alternativo



# Caso studio: Scenario alternativo (1)

## Il modello ed i componenti

**Componente 1:**

Co-generatore;

**Componente 2:**

Pompe di calore

**Componente 3:**

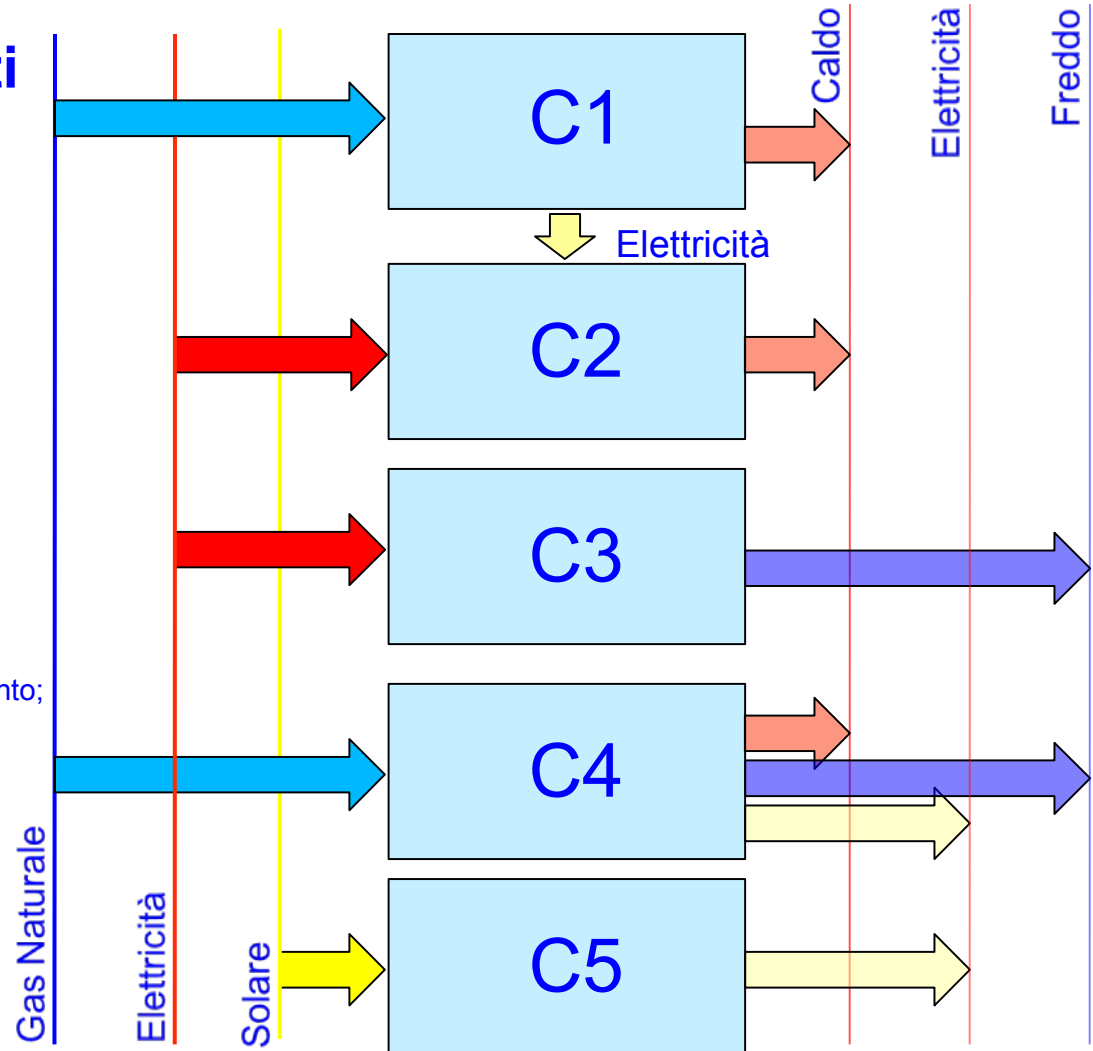
chiller a compressione

**Componente 4:**

co-generatore accoppiato ad un chiller ad assorbimento;

**Componente 5:**

Moduli fotovoltaici





## Caso studio: Scenario alternativo (2)

Flussi energetici ed exergetici in entrata e in uscita per tutti i componenti

Componente	$\Phi_F$ (kW)	$\Phi_P$ (kW)	$\Psi_F$ (kW)	$\Psi_P$ (kW)
1	2517	1168 970	2517	970 217.2
2	1138	5014	1.1380	356.9
3	100	476	100	367
4	2517	970 1168 234	2517	970 217.2 27.4
5	375.5	59.6	356.5	59.6



## Caso studio: Scenario alternativo (3)

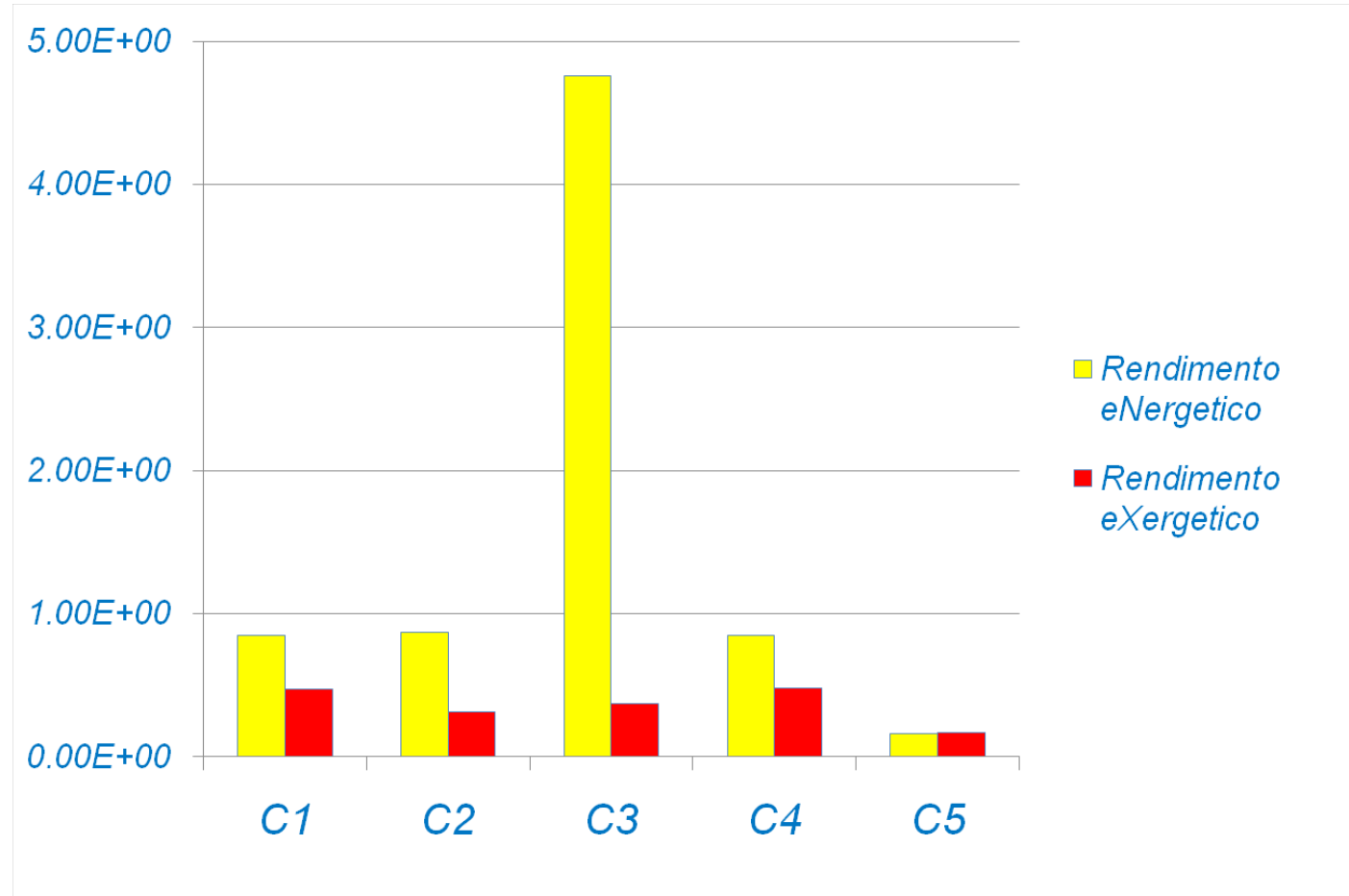
Efficienze energetiche ed exergetiche

Componente	$\eta_{en}$	$\eta_{ex}$
1	0.85	0.47
2	0.87	0.31
3	4.76	0.37
4	0.85	0.48
5	0.16	0.17



## Caso studio: Scenario alternativo (4)

Efficienze energetiche ed exergetiche dei componenti





# Caso studio: Scenario alternativo (5)

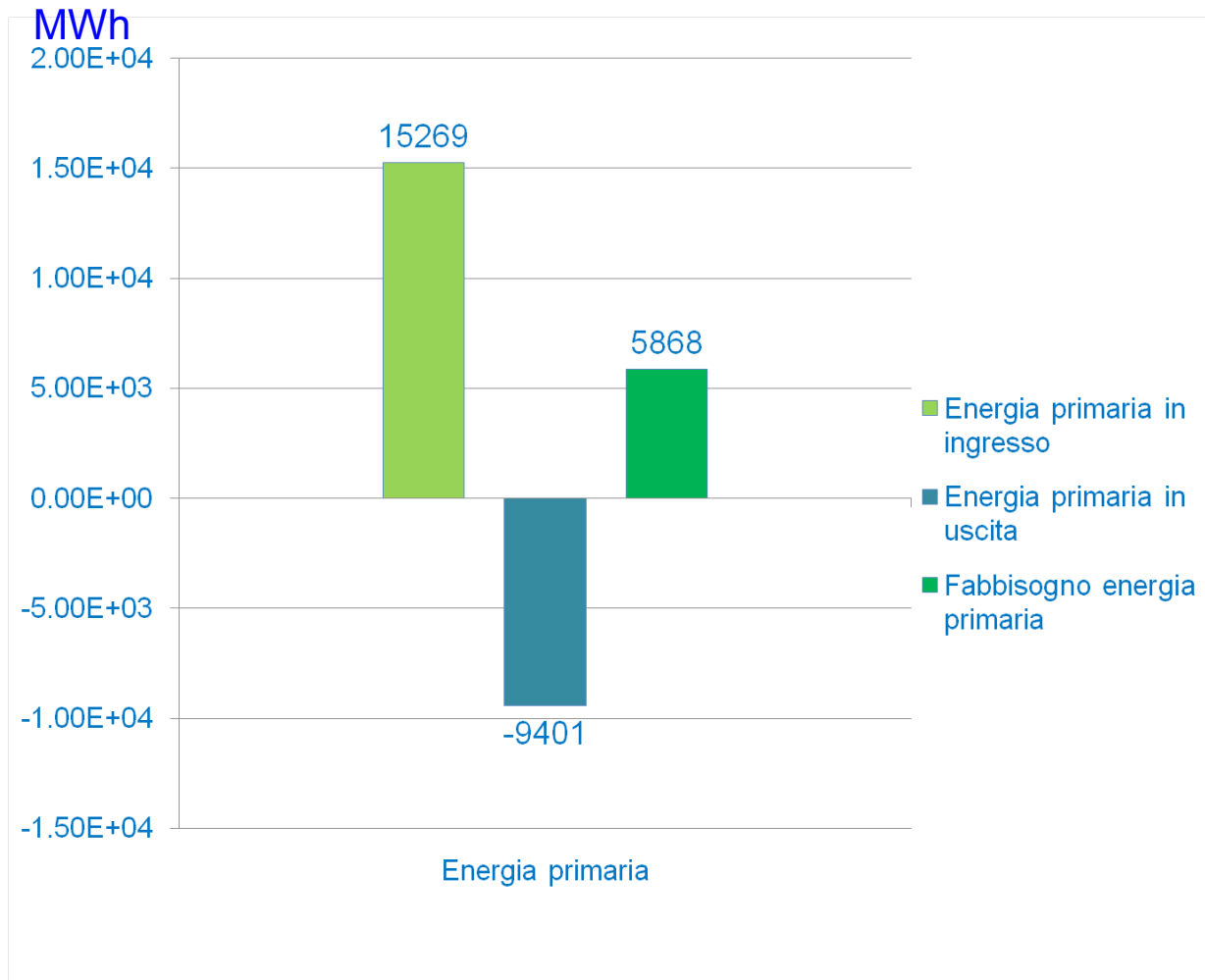
## Analisi WTW ENERGETICA





# Caso studio: Scenario alternativo (6)

## Analisi WTW **ENERGETICA**



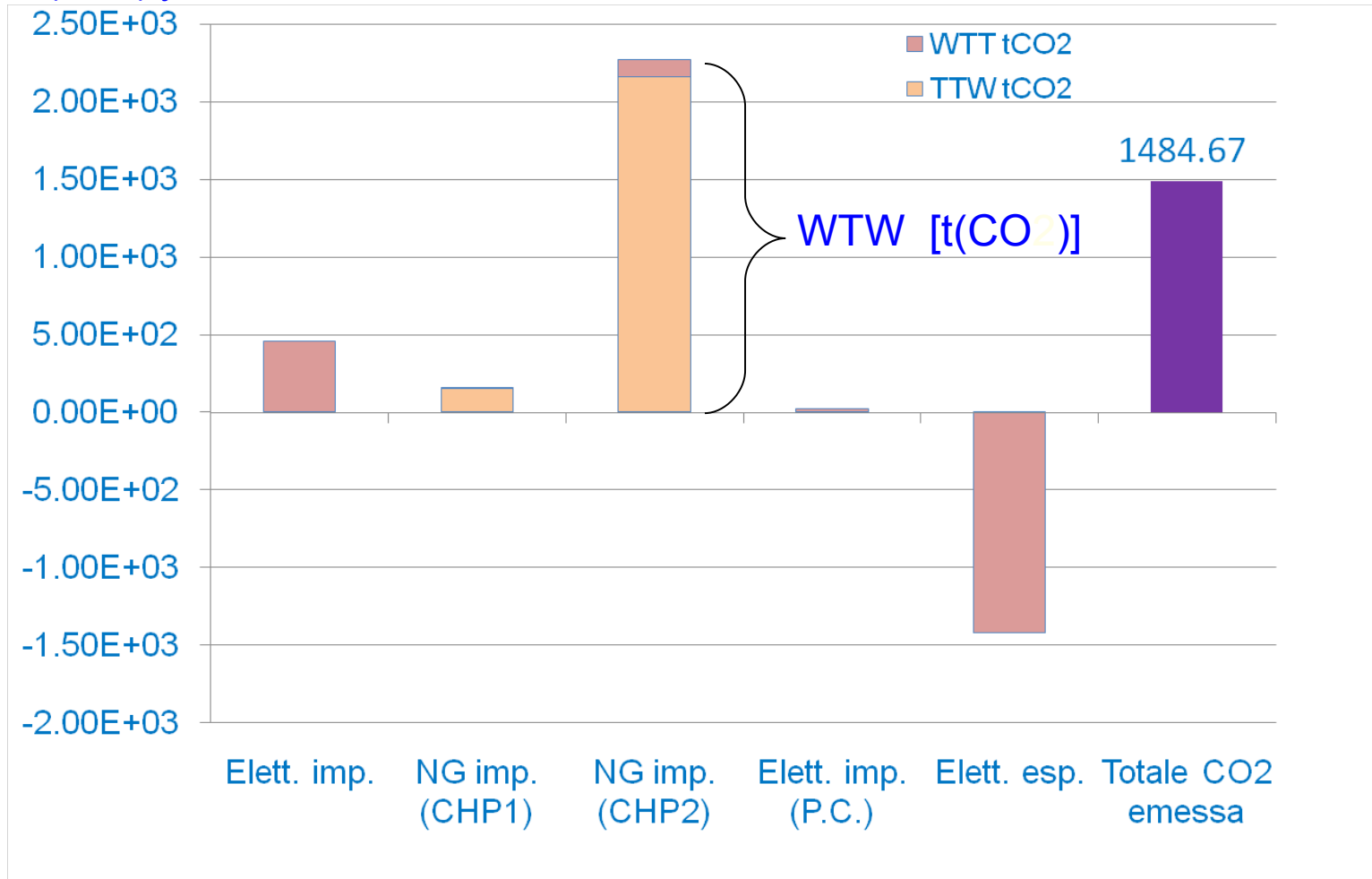
Cavour, 6 Marzo 2009



# Caso studio: Scenario alternativo (7)

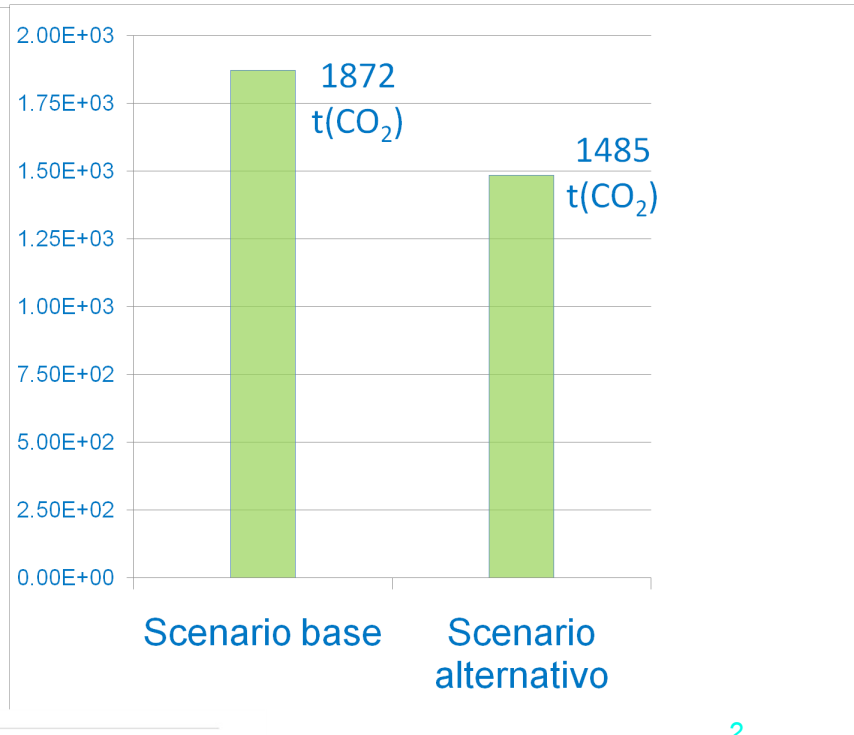
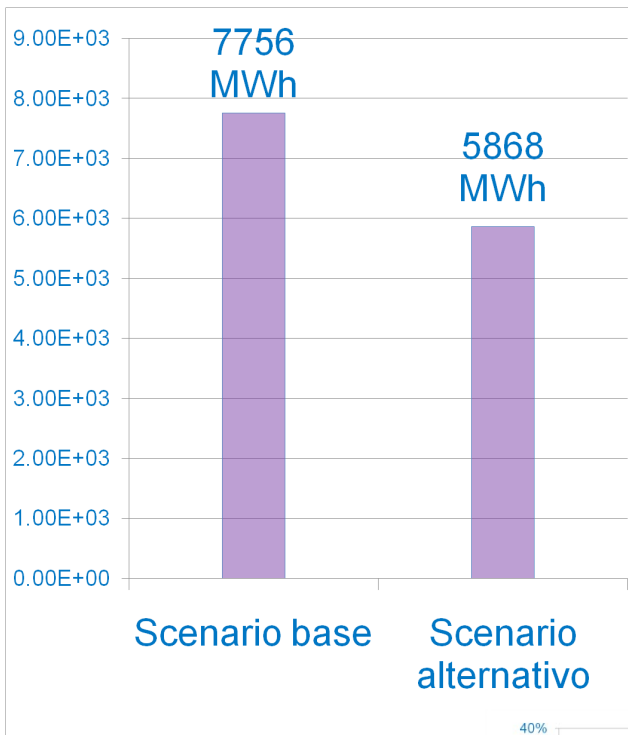
## Analisi WTW AMBIENTALE

t(CO<sub>2</sub>)/y

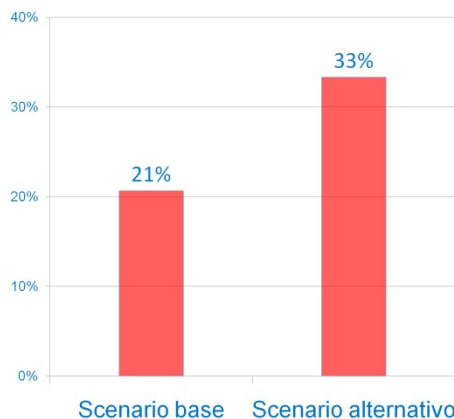




# Confronto scenari



*Fabbisogno finale energia primaria*



*Totale CO emessa*

*Rendimento eXergetico totale*



## Conclusioni e obiettivi dello studio

- Il lavoro mira a fornire indicazioni di tutela ambientale e indirizzi per il governo del territorio tramite suggerimento di interventi nei processi di produzione e gestione sostenibile dell'energia
- La scelta del sistema oggetto di studio, la città, appare la più appropriata in quanto centro utile alla ricerca e alla applicazione di soluzioni atte a ridurre il nostro impatto ambientale e diminuire le emissioni da gas serra
- Lo studio si propone di evidenziare i punti di forza e di debolezza di sistemi energetici urbani di grandi dimensioni al fine di identificare le necessità, i rischi e le opportunità per il futuro degli stessi