



Istituto di Istruzione Superiore

Di Vittorio - Lattanzio

Roma

**EFFICIENZA DEI
SISTEMI ENERGETICI**

Prof. Marco Cecconi

cecconi.mar@gmail.com

Versione 10/01/2021

Obiettivo

- Conoscere il **funzionamento dei sistemi energetici**
- Conoscere ed utilizzare i concetti di **rendimento ed efficienza energetica**

Argomenti

1. Richiami di fisica

- Concetti di energia e potenza.
- Principi della termodinamica.
- Meccanismi di scambio termico.

2. Sistemi energetici

- Sistemi ideali e reali: definizione, caratteristiche.
- Fonti energetiche.
- Efficienza dei sistemi energetici.

3. Sistemi energetici edilizi

- Requisiti e tecnologie per la funzionalità ed il comfort.
- Caratteristiche dell'involucro e degli impianti.
- Rendimento dei principali generatori di calore.

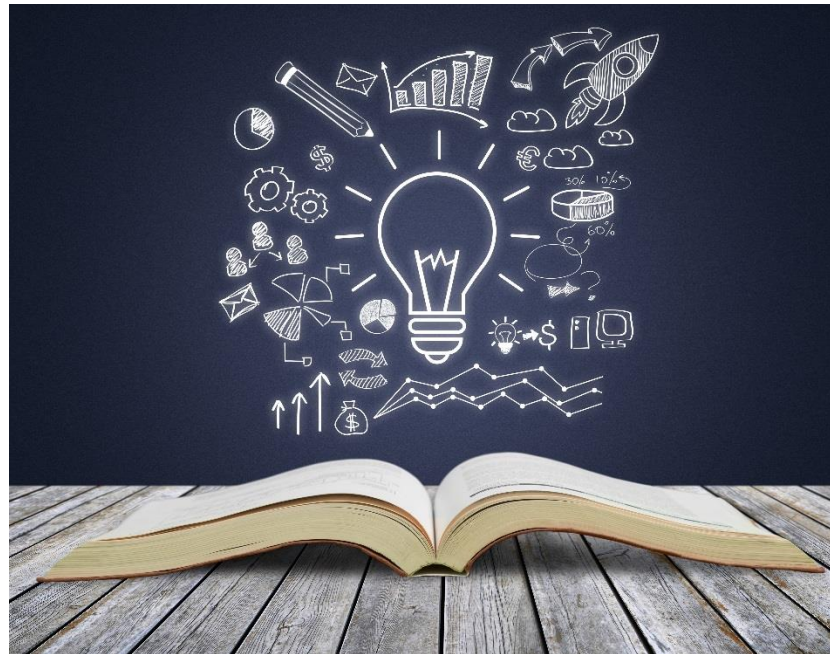
4. Sistemi energetici automobilistici

- Descrizione funzionale ed energetica auto a combustione ed elettriche
- Termico VS elettrico: valutazione del ciclo di vita



1

RICHIAMI DI FISICA



Energia e Potenza

ENERGIA

è una qualsiasi entità in grado di produrre cambiamenti in un sistema

- Unità di misura: Joule [J], Wattora [Wh], Calorie [cal]

Considerazioni:

“È importante comprendere che nella fisica non abbiamo nessuna idea di che cosa sia l'energia...”

Premio Nobel Richard Feynman

L'energia rimane un'entità astratta definibile solo dall'osservazione dei suoi effetti.

POTENZA

è la quantità di energia per unità di tempo

- Unità di misura: Watt [W] = $1\text{J}/1\text{s} = 1\text{Wh}/1\text{h}$

Energia e Potenza

ESEMPIO

Quanta energia eroga un'automobile da 100kW (136 cv) in un'ora?

- Ferma in "garage"



- In movimento al 50% della potenza



Considerazioni:

La potenza nominale di un macchinario è una sua caratteristica costruttiva.

L'energia erogata dipende dall'utilizzo.

La potenza si paga all'acquisto del macchinario, l'energia al rifornimento.

Potenza nominale (P_n) = 100 kW

Potenza erogata (P) = $0 \times 100 = 0$ kW

Tempo di osservazione (t) = 1 h

Energia erogata = $Pt = 0$ J = 0 Wh

Potenza nominale (P_n) = 100 kW

Potenza erogata (P) = $0,5 \times 100 = 50$ kW

Tempo di osservazione (t) = 1h = 3600s

Energia erogata = $Pt = 50$ kWh =

180'000 kJ = 180 MJ

Forme di energia e trasformazioni

CONSERVAZIONE DELL'ENERGIA E DELLA MASSA (1° PRINCIPIO TERMODIN.)

L'energia non si crea e non si distrugge, ma può trasformarsi in forme diverse

$$\sum E = \text{costante}$$

**Elettromagnetica a
bassa frequenza
(Corrente elettrica,
Onde radio)**

**Elettromagnetica ad
alta frequenza (IR, Luce,
UV, X, Gamma, ecc)**

Nucleare

Chimica

Meccanica

Termica

Forme di energia e trasformazioni

CONSERVAZIONE DELL'ENERGIA E DELLA MASSA (1° PRINCIPIO TERMODIN.)

Esempio

Un ragazzo in bici segue da vicino un camion per prenderne la “scia” e faticare di meno.

Chi “paga” l’energia risparmiata dal ciclista?

La natura non regala energia, quindi **la fatica risparmiata dal ciclista la paga il camionista con un piccolo aumento dei consumi.**

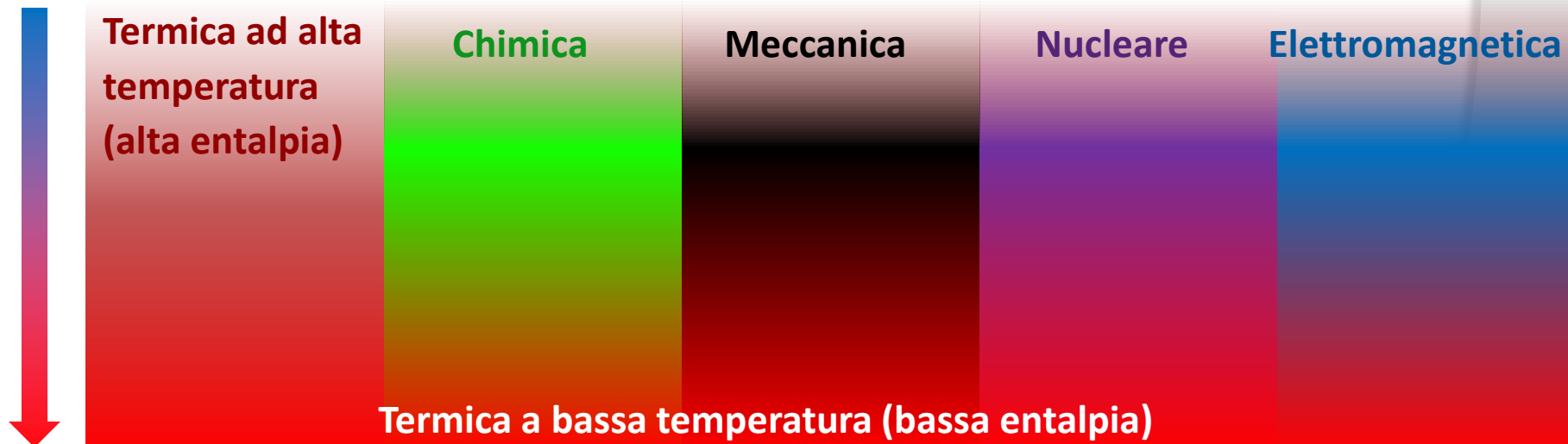


Forme di energia e trasformazioni

DIREZIONE DELLE TRASFORMAZIONI (2° PRINCIPIO TERMODINAMICA)

- Ogni sistema evolve **spontaneamente verso una situazione di maggiore disordine** (entropia).
- Ad ogni trasformazione il sistema perde progressivamente la possibilità di trasformarsi ulteriormente perché **le energie presenti tendono a degradarsi** verso una forma inutilizzabile (calore a bassa temperatura).
- **Ogni forma di energia può trasformarsi integralmente in calore, ma non viceversa.**

Alto pregio (bassa entropia)



Basso pregio (alta entropia)

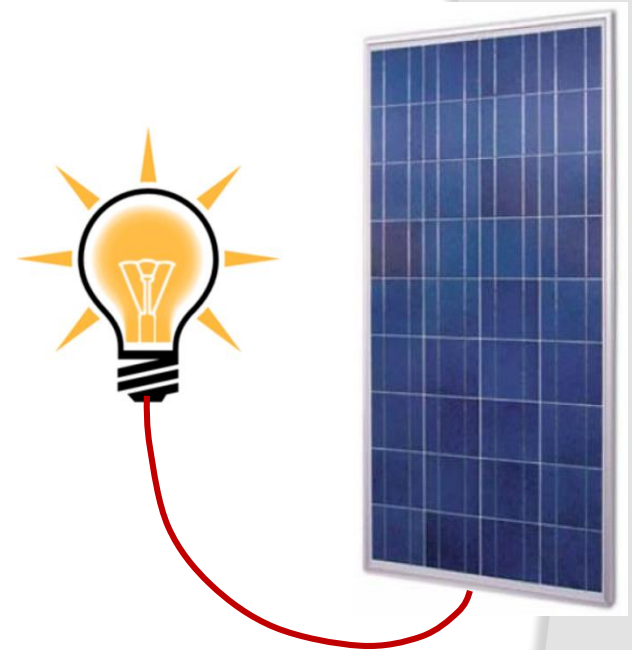
Forme di energia e trasformazioni

DIREZIONE DELLE TRASFORMAZIONI (2° PRINCIPIO TERMODINAMICA)

Esempio

Si collega una lampadina ad un pannello fotovoltaico. Avendo cura che tutta la luce della lampada colpisca il pannello, **si potrebbe permettere alla lampada di rimanere sempre accesa?**

NO!! Nei sistemi reali ci sono continue perdite di energia sotto forma termica (riscaldamento conduttori, riscaldamento lampadina, riscaldamento pannello, ecc) quindi **la lampadina si spegnerebbe quasi subito!**



Forme di energia e trasformazioni

FINE DI UN SOGNO

Il primo e il secondo principio della termodinamica dimostrano la non fattibilità di una forma di energia rinnovabile potenzialmente rivoluzionaria!

2

SISTEMI ENERGETICI



2.

SISTEMI ENERGETICI

Sistemi energetici ideali

CONFIGURAZIONE DI UN SISTEMA ENERGETICO IDEALE

- **Un sistema è un insieme di elementi interconnessi** tra di loro o con l'ambiente esterno tramite reciproche relazioni, ma che si comporta come un tutt'uno, secondo proprie regole generali
- **Un sistema energetico è un sistema in cui viene elaborata dell'energia** con la finalità di produrre un risultato utile
- **L'elaborazione si effettua attraverso un'apparecchiatura o un sottosistema** in grado di convertire l'energia della fonte in energia utile.
- **Nei sistemi ideali non vi sono perdite energetiche.**



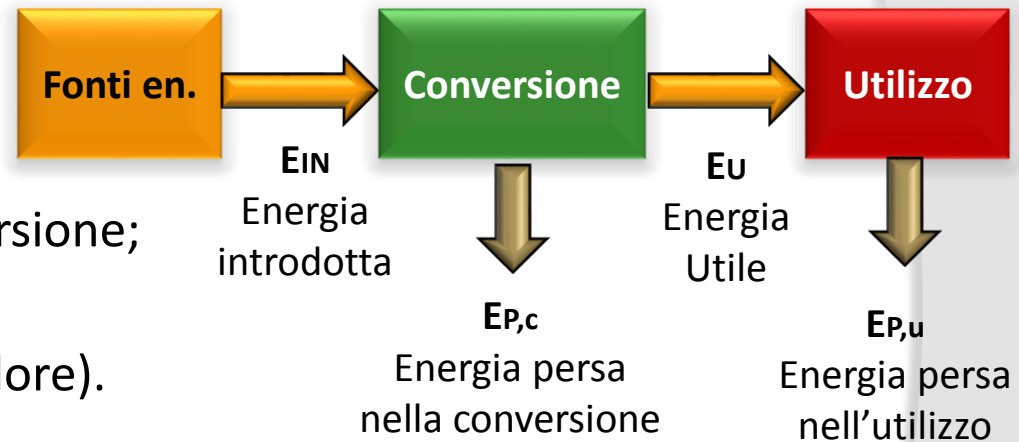
Sistemi energetici reali

CONFIGURAZIONE DI UN SISTEMA ENERGETICO REALE

- Nei sistemi reali **solo una parte dell'energia fornita è utile** ai fini del compito da svolgere, **il resto viene perso sotto forma di calore.**

In ogni sistema reale che utilizza energia essa viene:

- **assorbita** dalla fonte;
- **convertita** all'interno di uno o più impianti, con una perdita di conversione;
- **utilizzata** per lo scopo previsto;
- **dissipata** in forme inutilizzabili (calore).



L'energia non si distrugge, quindi alla fine tutta l'energia introdotta (e pagata) verrà persa sotto forma termica.

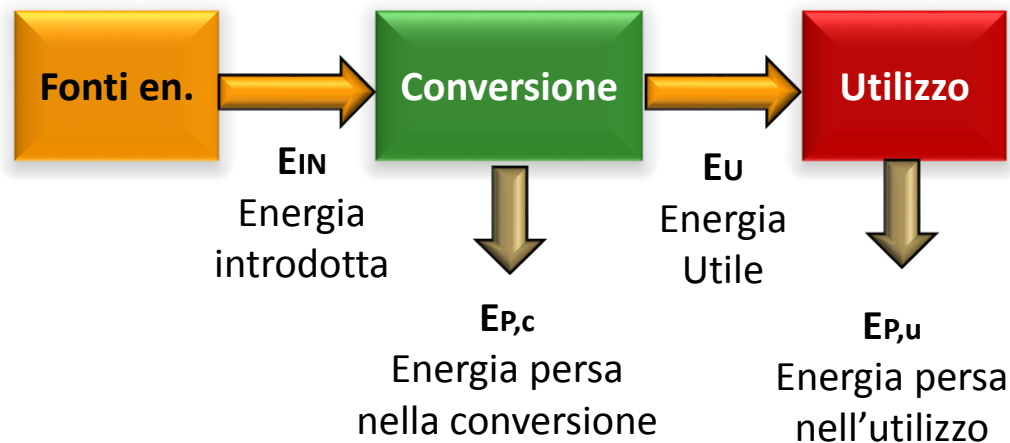
$$E_{IN} = E_{P,i} + E_U = E_{P,c} + E_{P,u}$$

Sistemi energetici reali

EFFICIENZA

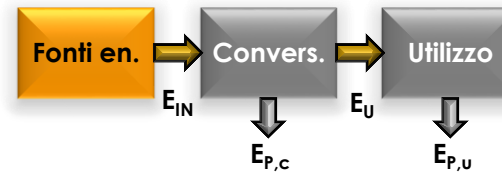
- L'efficienza energetica è indice della capacità di un sistema di produrre effetti utili col minor consumo di energia.

$$\text{efficienza} = \frac{\text{effetto utile}}{\text{energia fornita}}$$



- **Perseguire l'efficienza nei sistemi energetici significa ridurre al minimo le perdite.**
- **Concetto generale applicabile sempre** (ma non sempre calcolabile matematicamente).

Fonti energetiche



FONTI RINNOVABILI

Si tratta di fonti che si rigenerano almeno alla stessa velocità con la quale sono consumate e che non comportano un aumento di CO₂ in atmosfera.

Nota:

Il bilancio di CO₂ va considerato sull'intero ciclo di vita del materiale.

Esempio: La combustione di biomassa libera la stessa quantità di CO₂ che era stata assorbita in precedenza dalla pianta, perciò il bilancio è nullo.

Riferimenti:

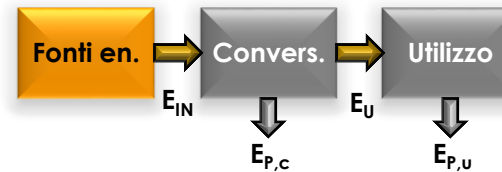
Le fonti rinnovabili sono elencate nella Direttiva 2003/54/CE e ratificate dal DL n°28 del 3/3/2011 (Decreto Romani)

Fonte energetica	Forma di energia
Eolica	Meccanica
Solare	Elettromagnetica ad alta frequenza (Radiazione)
Geotermica	Termica
Aerotermica	Termica
Idraulica	Meccanica
Marina	Meccanica
Biomasse e rifiuti (solo parte biodegradabile)	Chimica
Biogas	Chimica
Gas di discarica	Chimica
Gas residuati dai processi di depurazione	Chimica

Fonti energetiche

FONTI NON RINNOVABILI

Si tratta di fonti che non si rigenerano in tempi brevi e sono perciò destinate ad esaurirsi nel tempo. Le fonti non rinnovabili introducono nuova CO₂ in ambiente.

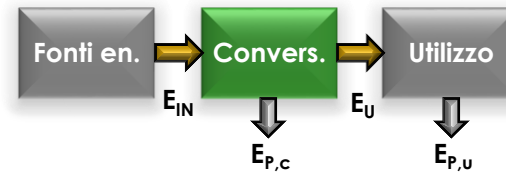


Nota:

La CO₂ assorbita dalla piante che poi si sono trasformate in petrolio risale ad ere lontane, perciò di fatto vi è un'immissione netta di CO₂ in atmosfera.

Fonte energetica	Forma di energia
Petrolio e derivati	Chimica
Metano	Chimica
Carbone	Chimica
Rifiuti (parte non biodegradabile)	Chimica
Uranio, plutonio, ecc	Nucleare
Altro...	

Conversione dell'energia



PERCHE?

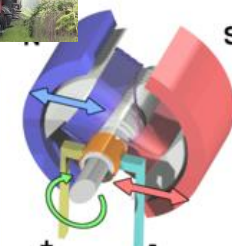
- **L'energia viene convertita in altra forma per renderla fruibile ai fini degli utilizzi prescelti.**

COME SI ATTUA?

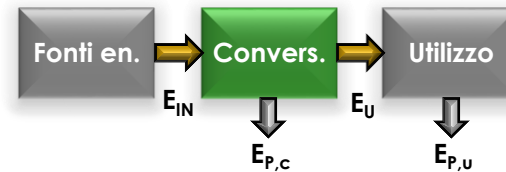
- La conversione può essere molto **semplice se segue trasformaz. spontanee** (che seguono la direzione dell'entropia crescente) **oppure necessita di macchine sofisticate se il risultato utile si oppone all'entropia.**

LE TAPPE DELL'EVOLUZIONE NELLA CONVERSIONE ENERGETICA..

- Da sempre: conversione dell'energia gravitazionale in energia cinetica (reaz. spontanea senza bisogno di macchine)
- Da 2 milioni di anni: conversione dell'energia chimica in energia termica attraverso il fuoco (reaz. indotta e poi spontanea)
- Da 260 anni: conversione dell'energia termica in energia meccanica attraverso il motore a vapore (trasf. non spontanea, strum. avanzati)
- Da 140 anni: conversione dell'energia meccanica in energia elettrica attraverso la dinamo (trasf. non spontanea, strum. avanzati)
- Da 100 anni: utilizzo di energia meccanica per lo spostamento di energia aerotermica nei frigoriferi (trasf. non spontanea, strum. avanzati)



Conversione dell'energia



RENDIMENTO

L'efficienza energetica in un sistema di conversione dell'energia assume il nome di rendimento ed è esprimibile matematicamente.

$$\eta = \frac{E_U}{E_{IN}} = 1 - \frac{E_{P,c}}{E_{IN}}$$



$$E_{IN} = \frac{1}{\eta} E_U$$

E_U = Energia utile

E_{IN} = Energia introdotta

$E_{P,c}$ = Energia persa
nella conversione

η = Rendimento

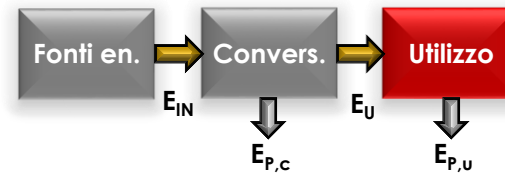
Il rendimento è sempre < 1

Più il rendimento si avvicina ad 1, più la conversione è efficiente.

NOTA:

Per alcune macchine (es. pompe di calore) non si parla di rendimento ma di efficienza, che di solito è >1. Questo non viola le leggi della termodinamica ma è dovuto ad un calcolo differente che non prende in considerazione tutta l'energia in ingresso, ma solo quella elettrica.

Utilizzi dell'energia



UTILIZZO

Presso gli utilizzatori finali l'energia fornita (E_U) viene utilizzata per lo scopo prefissato e poi integralmente dissipata sotto forma di calore a bassa temperatura.

Utilizzo finale	Settore		
	Residenziale	Terziario	Commerciale Industriale Altro
Energia meccanica (trazione, movimento di macchinari, processi industriali, ecc)	●	●	●
Energia termica (riscaldamento, produzione acqua calda, essiccazione, processi industriali, ecc)	●	●	●
Energia frigorifera (raffrescamento, refrigerazione, ecc)	●	●	●
Energia radiante (illuminazione, visualizzazione, riscaldamento, laser, raggi x, ecc)	●	●	●
Energia chimica (sintesi di sostanze, materiali, ecc)			●
Altro..	●	●	●

3

SISTEMI ENERGETICI EDILIZI



Sistemi energetici in edilizia

REQUISITI E TECNOLOGIE

Cottura dei cibi

Controllo
dell'umidità

Illuminazione

Ventilazione

Riscaldamento




Alimentazione

apparecchi elettrici

Raffrescamento

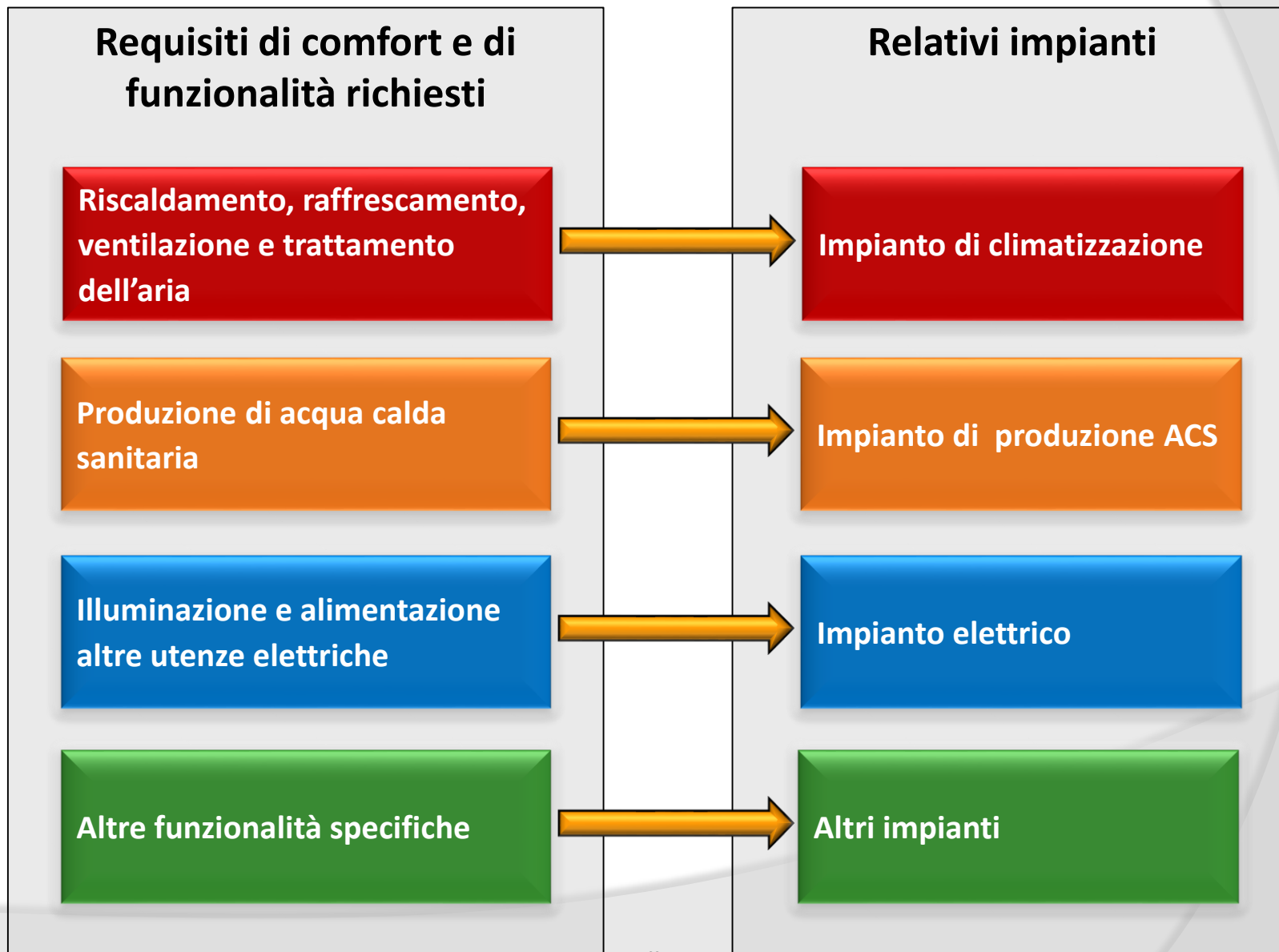
Acqua calda

EFFICIENZA ENERGETICA

REQUISITI	
TECNOLOGIA	
CONSUMI	

Sistemi energetici in edilizia

REQUISITI E TECNOLOGIE



Struttura impianto e flussi energetici

RISCALDAMENTO INVERNALE



E_{int}
Apporti interni

E_{imp}
Dispersioni degli
impianti

**Fonti
energetiche**

E_{in}
Energia
introdotta
100%

Generatore
termico

E_u
Energia utile



E_s
Apporti solari

E_{tr}
Dispersioni per
trasmissione
dell'involucro

E_v
Dispersioni per
infiltrazioni e
ventilazione

Involucro edilizio

CARATTERISTICHE, FUNZIONI, PRESTAZIONI

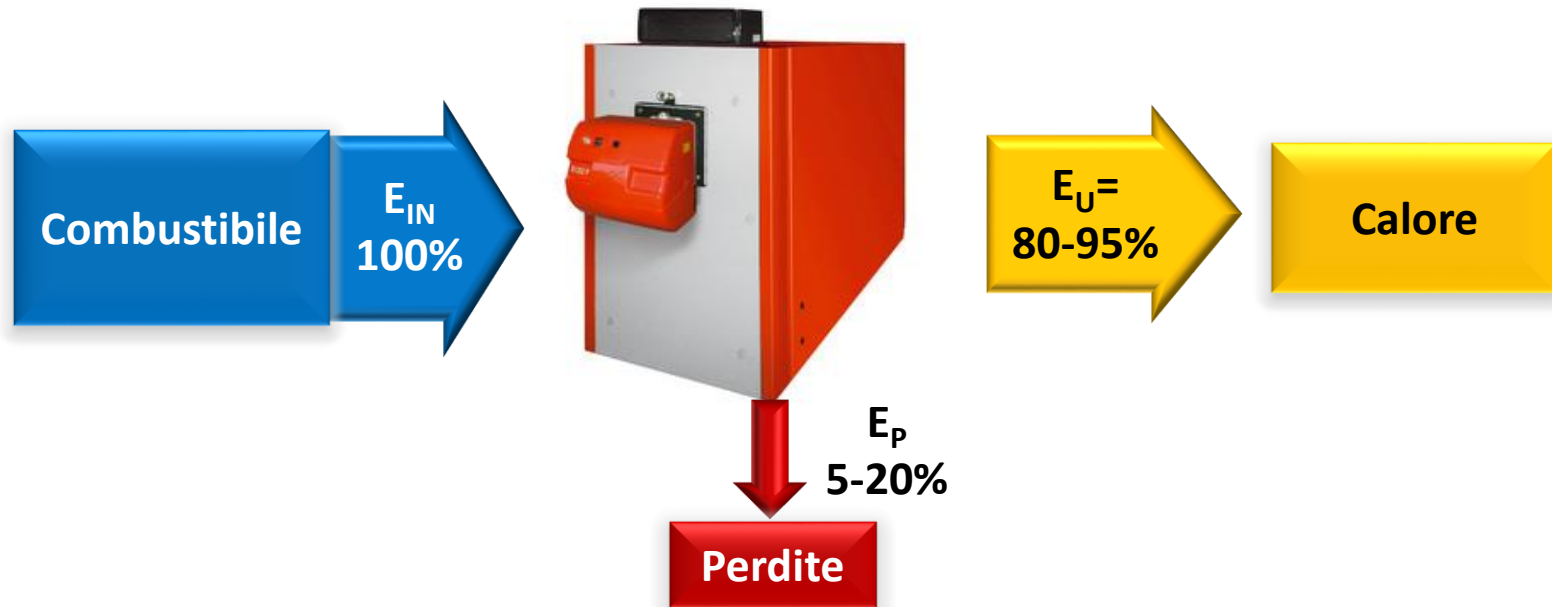
- L'involucro è l'insieme degli elementi architettonici che delimitano gli spazi interni da quelli esterni, ossia il **confine tra interno ed esterno**.
- L'involucro costituisce l'**ultima barriera che ostacola la trasmissione del calore** dagli spazi climatizzati a quelli esterni.
- **Un buon involucro fornisce una elevata resistenza al flusso di calore e riduce $E_{p,u}$ l'energia persa nell'utilizzo.**



Focus sui generatori

CALDAIA TRADIZIONALE

- Produzione di calore mediante combustione



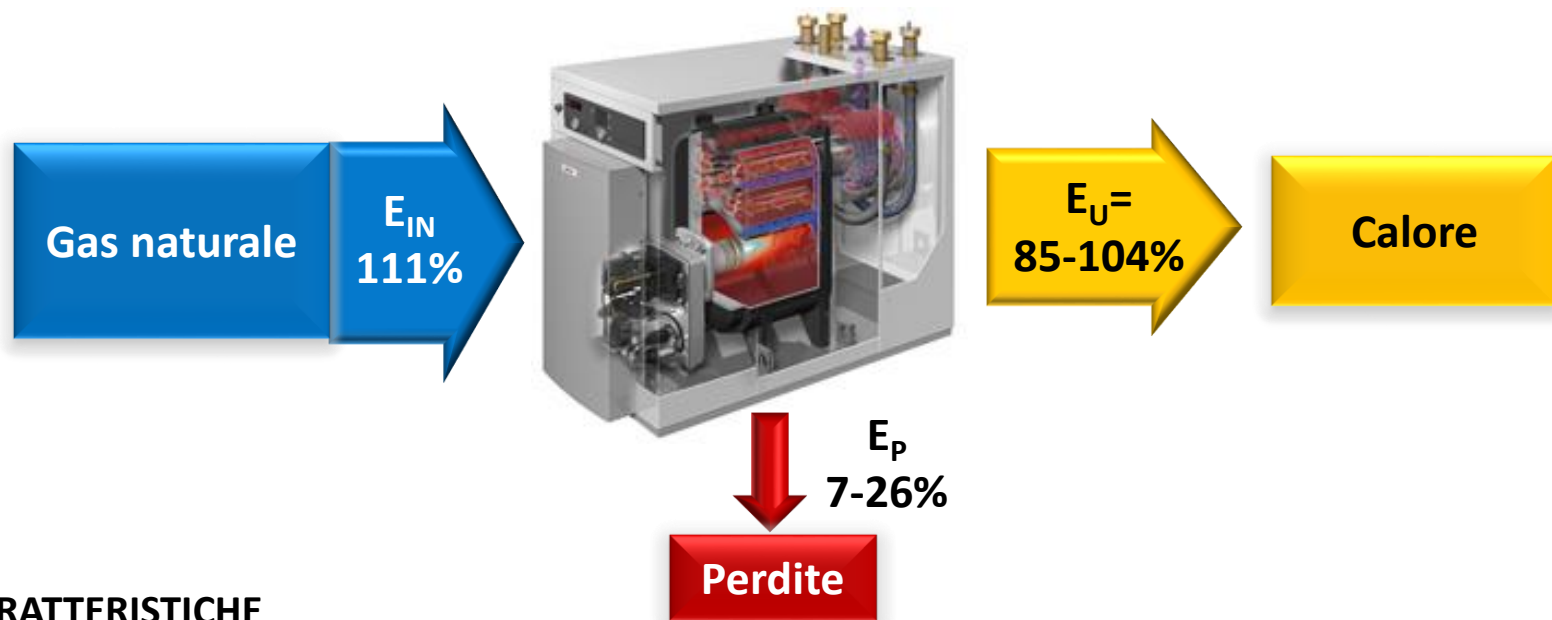
CARATTERISTICHE

- Produzione di calore anche ad alte temperature, utile sia per riscaldamento che per preparazione di **acqua calda sanitaria**.
- Possibilità di bruciare **combustibili diversi** e biomasse liquide o gassose.
- Sistema **affidabile e economico ma non molto efficiente**.

Focus sui generatori

CALDAIA A CONDENSAZIONE

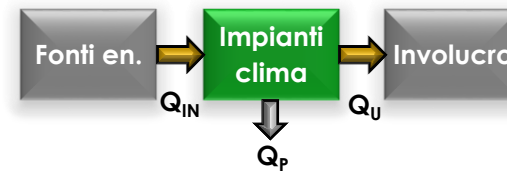
- Produzione di calore mediante combustione con recupero di calore latente



CARATTERISTICHE

- Ha un **rendimento maggiore** perché sfrutta anche il calore latente contenuto nel vapore acqueo generato dalla combustione del metano che viene fatto condensare (viene utilizzato il potere calorifico superiore del combustibile anziché quello inferiore).
- Produzione di calore anche ad alte temperature ma **rendimento massimo per basse temperature (inferiori a 60°)** perché ad alte temp. il vapore non può condensare.
- Sistema **più costoso** delle caldaie tradizionali.
- Ha necessità di uno **scarico per la condensa**.

Focus sui generatori



POMPA DI CALORE AEROTERMICA

- Spostamento di calore grazie alla compressione ed espansione di gas refrigerante (funzionamento simile al frigorifero)



ULTIME CONSIDERAZIONI

- L'efficienza decade all'aumentare della differenza di temperatura interno-esterno: funziona bene nei **climi temperati** dove l'aria esterna non raggiunge temperature estreme.
- Non è possibile produrre aria a temperature molto basse/alte a meno di non utilizzare macchine specifiche.
- Sistema pratico e abbastanza economico.

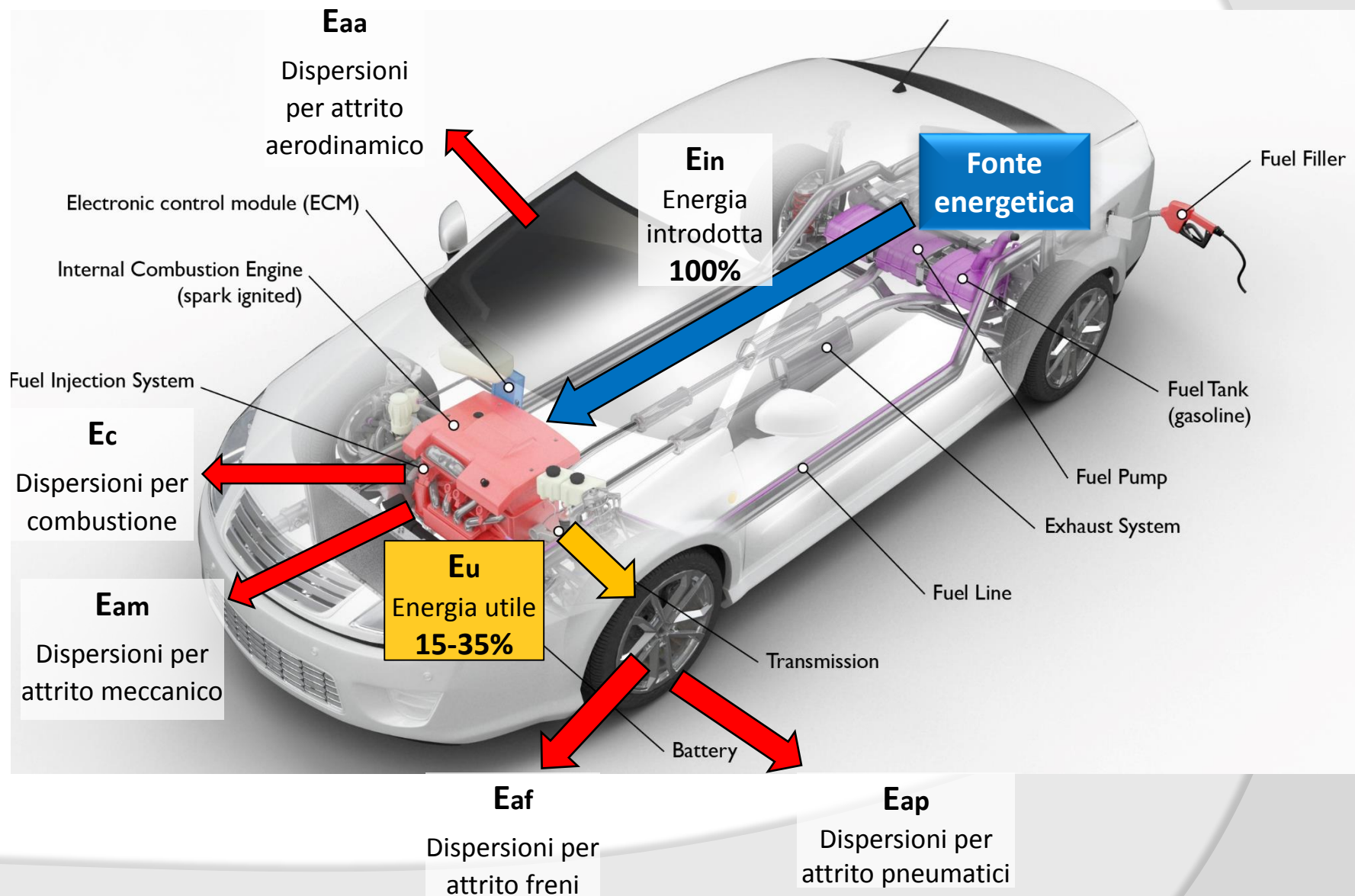
4

SISTEMI ENERGETICI AUTOMOBILISTICI



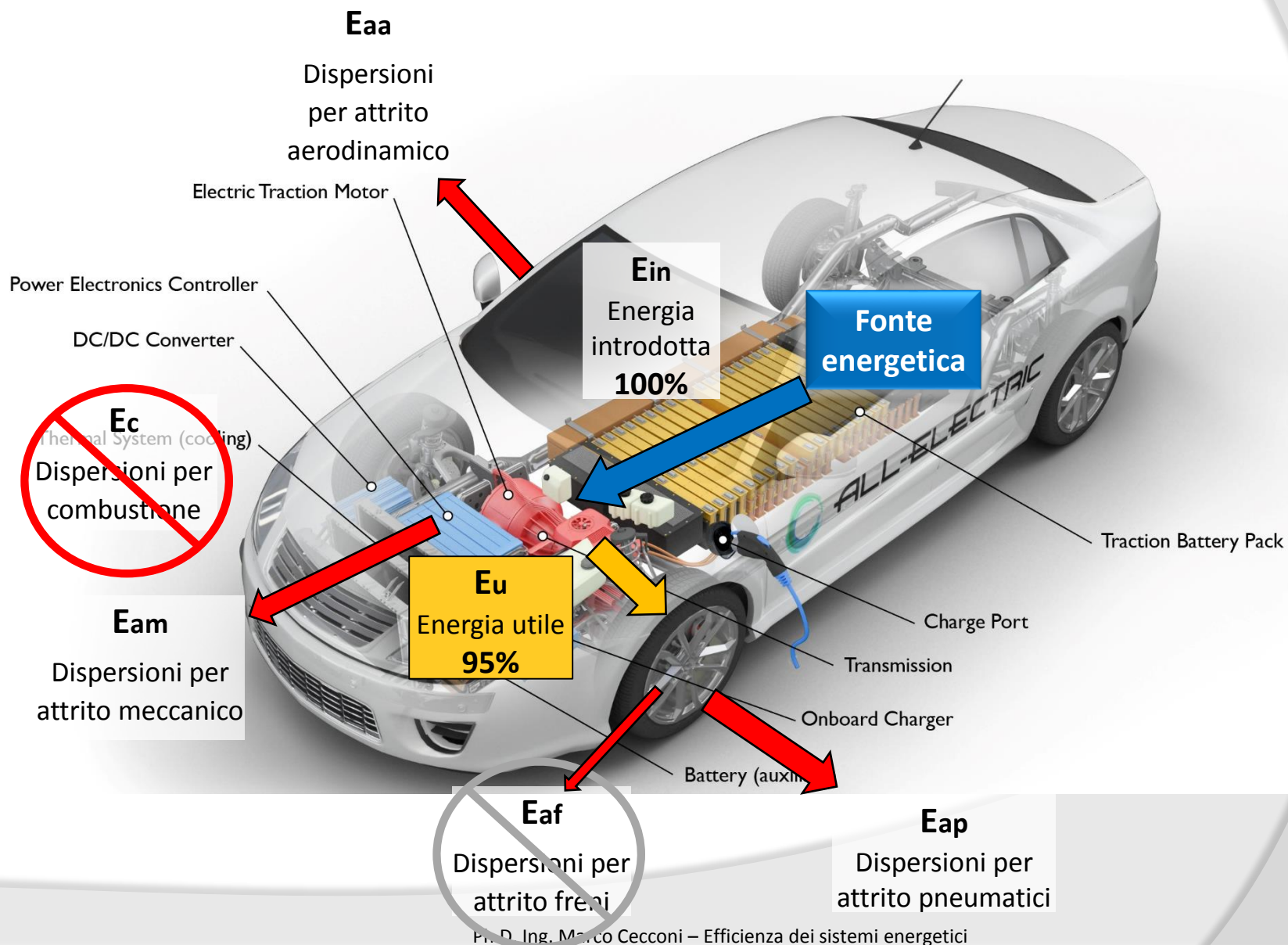
Flussi energetici nelle auto

AUTOMOBILE A COMBUSTIONE INTERNA



Flussi energetici nelle auto

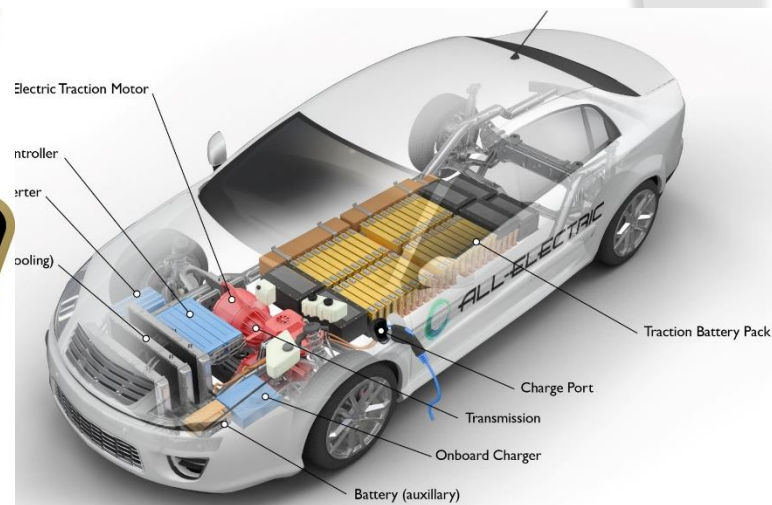
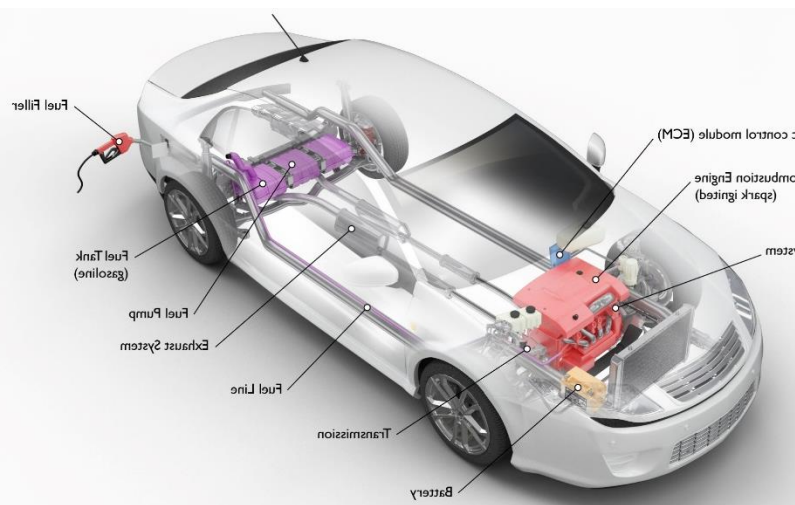
AUTOMOBILE ELETTRICA



Termica VS elettrica

DOMANDONA

- L'auto elettrica è estremamente più efficiente di quella termica... ma l'energia elettrica va prodotta nelle centrali (alcune delle quali a combustibili fossili) e poi per realizzare le batterie ci vuole molta energia...
- **SIAMO SICURI CHE L'AUTO ELETTRICA SIA EFFETTIVAMENTE PIU' EFFICIENTE DI QUELLA TERMICA?**



Valutazione del ciclo di vita (LCA)

CONSUMI "DALLA CULLA ALLA TOMBA" ("from cradle to grave")

- Per rispondere bisogna eseguire la **VALUTAZIONE DEL CICLO DI VITA** (in inglese "Life Cycle Assessment" o **LCA**) delle due tecnologie.

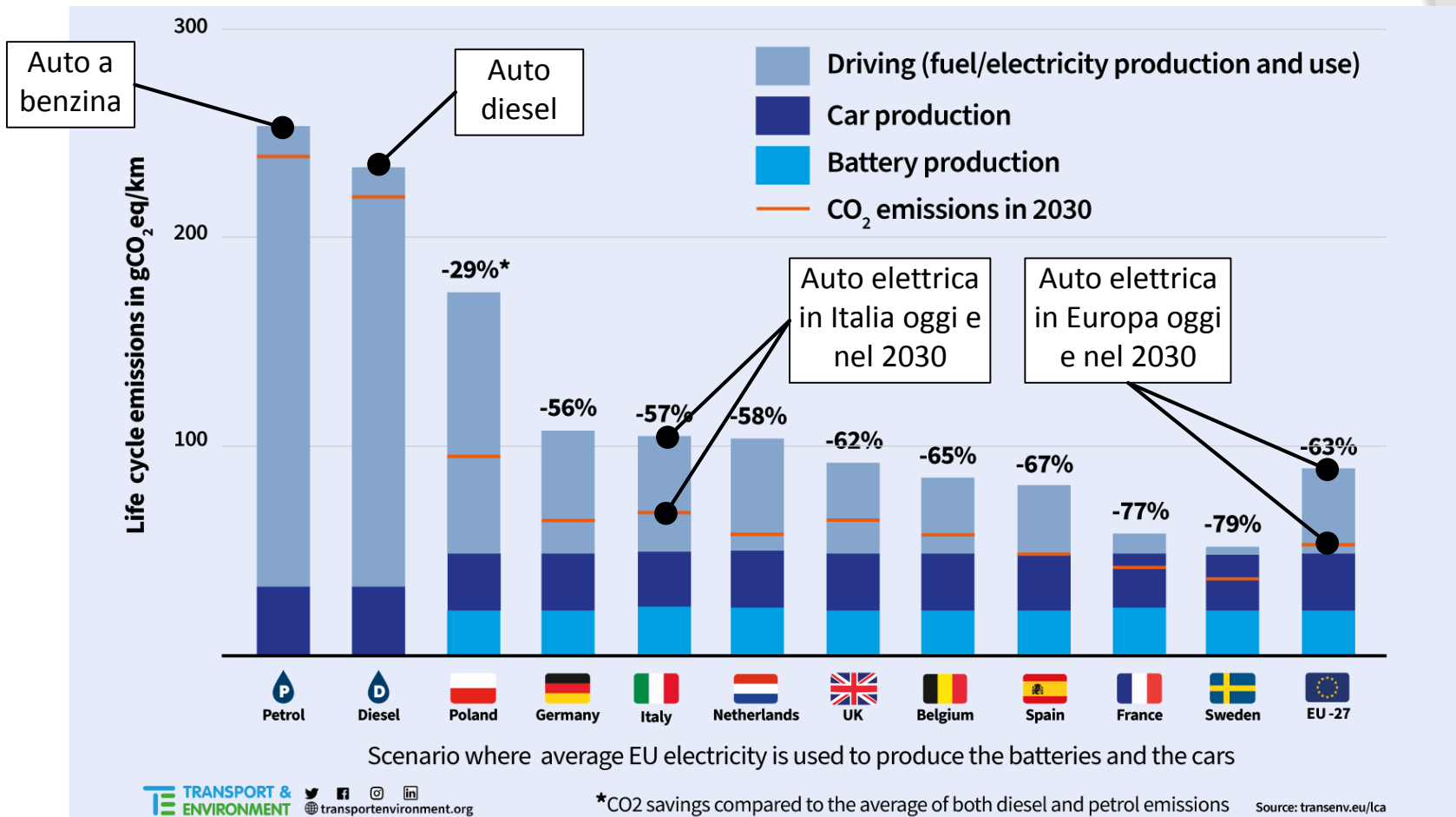


- La valutazione **LCA** considera tutti i consumi energetici in tutto il ciclo di vita del prodotto: dall'estrazione delle materie prime fino allo smaltimento finale.
- Questo permette di confrontare correttamente le due tecnologie.

Valutazione del ciclo di vita (LCA)

L'ELETTRICA VINCE A MANI BASSE

- Nel ciclo di vita **le auto a combustione emettono oggi da 2 a 4 volte più CO₂ di quelle elettriche ..e nel 2030 la differenza sarà ancora maggiore!!**



- Le differenze tra i vari Paesi sono dovute principalmente alle modalità di generazione elettrica: più sono presenti energie rinnovabili più il vantaggio è elevato.

Conclusioni e sviluppi

- Sono state **poste le basi** per comprendere il comportamento energetico dei sistemi.
- Le competenze acquisite possono aiutare nell'effettuare **scelte di vita quotidiana ed evitare bufale**.
- **E' possibile entrare maggiormente nel mondo dell'efficienza energetica** studiando in profondità i singoli sistemi.



GRAZIE DELL' ATTENZIONE

Prof. Marco Cecconi

cecconi.mar@gmail.com