

# Politecnico di Torino

## Fondazione Telios

UN ESEMPIO DI MOBILITÀ SOSTENIBILE:

DAL FOTOVOLTAICO ALL'AUTO  
ELETTRICA

ing. Davide Rossi

# La mobilità sostenibile

*”lo Sviluppo Sostenibile è uno sviluppo che soddisfa i bisogni del presente senza compromettere la possibilità delle generazioni future di soddisfare i propri bisogni”*

Rapporto Brundtland, 1987

Settore dei trasporti: **33% consumo energetico mondiale**

Fabbisogno soddisfatto per il **97% dal petrolio**

*\*Fonte EIA (Energy Information Administration - U.S.A.)*

# Fasi dell'intervento

- Valutazione di tutte le possibili soluzioni per la mobilità (idrogeno, biocombustibili, auto elettrica)
- Confronto scientifico tramite l'analisi Well-to-Wheel
- Progettazione e realizzazione della migliore soluzione applicabile

# L'analisi Well-to-Wheel

- Metodologia che confronta input energetici, emissioni e costi dell'intero ciclo di un carburante, dalla sorgente (well) all'utilizzo finale (wheel)
- Permette di analizzare tutto il ciclo di un carburante: vantaggi e svantaggi ambientali, energetici ed economici associati ad ognuno di essi

# L'analisi Well-to-Wheel/2

- Well-to-Tank: valuta l'efficienza di tutte le operazioni necessarie per rendere disponibile un carburante (estrazione, lavorazione, trasporto)
- Tank-to-Wheel: valuta l'efficienza energetica ed ambientale del carburante e delle tecnologie di autotrazione ad esso associate

# I carburanti

Combustibili tradizionali:

*Benzina, Diesel, GPL, Gas naturale*

Biocombustibili:

*Etanolo e biodiesel di 1° e 2° generazione*

Vettori energetici:

*Idrogeno ed elettricità, sia da fonte fossile che da rinnovabile*

# I propulsori

## Tradizionali:

*DICI (motore Diesel), DISI (motore a iniezione diretta), PISI (motore a iniezione indiretta).*

## Ibridi:

*Aumentano l'efficienza energetica utilizzando una batteria che recupera l'energia persa in frenata.*

## FC e Lt-Ion:

*Fuel Cells e Batterie agli ioni di litio, entrambi associati al motore elettrico.*

# Il veicolo di riferimento

## Volkswagen Golf 1.6 (2002)

accelerazione 0-50 km/h:	< 4 s
accelerazione 0-100 km/h:	< 13 s
ripresa da 80 a 120 km/h:	< 13 s
velocità massima:	> 180 km/h
accelerazione:	> 4 m/s <sup>2</sup>
autonomia:	> 600 km

# TTW energetico

CARBURANTE	MOTORE	MJ/100km
Idrogeno (da rinnovabile)	FC	94
Idrogeno (da gas naturale)	FC	94
Elettrica (da mix europeo)	Lt-Ion	110
Elettrica (da rinnovabile)	Lt-Ion	110
Gas Naturale	PISI Hybrid	139
Diesel	DICI Hybrid	146
Biodiesel (da cellulosa)	DICI Hybrid	146
Biodiesel (da colza)	DICI Hybrid	146
Etanolo (da canna da zucchero)	DISI Hybrid	163
Benzina	DISI Hybrid	163
Etanolo (da cellulosa)	DISI Hybrid	163
Biodiesel (da cellulosa)	DICI 2010	177
Biodiesel (da colza)	DICI 2010	177
Diesel	DICI 2010	177
Gas Naturale	PISI 2010	187
Etanolo (da canna da zucchero)	DISI 2010	188
Benzina	DISI 2010	188
Etanolo (da cellulosa)	DISI 2010	188
GPL	PISI 2010	190

# Conclusioni TTW<sub>energetico</sub>

- I vettori energetici ( $H_2$ , Elettricità) hanno i rendimenti migliori dovuti alla superiore efficienza del motore elettrico.
- L'idrogeno si colloca al primo posto grazie alla leggerezza delle fuel cells rispetto alle batterie agli ioni di litio.
- I motori ibridi si confermano superiori rispetto ai motori a combustione interna.
- Il motore ibrido migliora l'efficienza del diesel del 22% e della benzina del 15%.
- Benzina e Gpl, nel tradizionale motore ICE, fanno registrare l'efficienza peggiore.

# WTT energetico

CARBURANTE	MOTORE	MJ/100km
Elettrica (da rinnovabile)	Lt-Ion	3
Gas Naturale	PISI Hybrid	17
Gas Naturale	PISI 2010	22
GPL	PISI 2010	22
Diesel	DICI Hybrid	23
Benzina	DISI Hybrid	23
Benzina	DISI 2010	26
Diesel	DICI 2010	28
Idrogeno (da rinnovabile)	FC	74
Idrogeno (da gas naturale)	FC	79
Biodiesel (da colza)	DICI Hybrid	173
Biodiesel (da cellulosa)	DICI Hybrid	174
Elettrica (da mix europeo)	Lt-Ion	206
Biodiesel (da colza)	DICI 2010	210
Biodiesel (da cellulosa)	DICI 2010	211
Etanolo (da canna da zucchero)	DISI Hybrid	292
Etanolo (da cellulosa)	DISI Hybrid	316
Etanolo (da canna da zucchero)	DISI 2010	337
Etanolo (da cellulosa)	DISI 2010	365

# Conclusioni WTT<sub>energetico</sub>

- L'elettricità prodotta da fonte rinnovabile è la soluzione più efficiente.
- La produzione di elettricità da mix europeo non è una soluzione valida.
- I biocombustibili hanno costi energetici di produzione molto elevati, superiori ai combustibili di origine fossile, all'idrogeno e all'elettricità.
- I combustibili fossili hanno costi energetici di produzione molto contenuti.

# WTW energetico

CARBURANTE	MOTORE	MJ/100km
Elettrica (da rinnovabile)	Lt-Ion	113
Gas Naturale	PISI Hybrid	156
Idrogeno (da rinnovabile)	FC	168
Diesel	DICI Hybrid	169
Idrogeno (da gas naturale)	FC	173
Benzina	DISI Hybrid	186
Diesel	DICI 2010	205
Gas Naturale	PISI 2010	209
GPL	PISI 2010	212
Benzina	DISI 2010	214
Elettrica (da mix europeo)	Lt-Ion	316
Biodiesel (da colza)	DICI Hybrid	319
Biodiesel (da cellulosa)	DICI Hybrid	319
Biodiesel (da colza)	DICI 2010	387
Biodiesel (da cellulosa)	DICI 2010	388
Etanolo (da canna da zucchero)	DISI Hybrid	455
Etanolo (da cellulosa)	DISI Hybrid	479
Etanolo (da canna da zucchero)	DISI 2010	525
Etanolo (da cellulosa)	DISI 2010	553

# Conclusioni WTW<sub>energetico</sub>

- Dal punto di vista energetico le fonti rinnovabili si rivelano vincenti.
- Il diesel nel motore DICI è la migliore soluzione "tradizionale".
- Il biodiesel è più efficiente dell'etanolo.
- I biocombustibili, tuttavia, sembrano soluzioni non applicabili.

# TTW ambientale

CARBURANTE	MOTORE	gCO <sub>2eq</sub> /100km
Elettrica (da rinnovabile)	Lt-Ion	0
Elettrica (da mix europeo)	Lt-Ion	0
Idrogeno (da rinnovabile)	FC	0
Idrogeno (da gas naturale)	FC	0
Gas Naturale	PISI Hybrid	81
Biodiesel (da cellulosa)	DICI Hybrid	105
Gas Naturale	PISI 2010	108
Diesel	DICI Hybrid	108
Biodiesel (da colza)	DICI Hybrid	113
Etanolo (da canna da zucchero)	DISI Hybrid	118
Etanolo (da cellulosa)	DISI Hybrid	118
Benzina	DISI Hybrid	121
GPL	PISI 2010	126
Biodiesel (da cellulosa)	DICI 2010	127
Diesel	DICI 2010	131
Etanolo (da cellulosa)	DISI 2010	136
Etanolo (da canna da zucchero)	DISI 2010	136
Biodiesel (da colza)	DICI 2010	136
Benzina	DISI 2010	139

# Conclusioni TTW<sub>ambientale</sub>

- L'auto elettrica e quella a fuel cells non producono emissioni.
- Il gas naturale è la fonte fossile più virtuosa.
- Il diesel produce meno emissioni della benzina (-15%).
- I motori ICE fanno registrare le emissioni più elevate, sia con combustibili fossili che con biofuels

# WTT ambientale

CARBURANTE	MOTORE	gCO <sub>2eq</sub> /100km
Biodiesel (da cellulosa)	DICI 2010	-117
Etanolo (da canna da zucchero)	DISI Hybrid	-99
Biodiesel (da cellulosa)	DICI Hybrid	-96
Etanolo (da cellulosa)	DISI 2010	-93
Etanolo (da cellulosa)	DISI Hybrid	-81
Biodiesel (da colza)	DICI 2010	-51
Biodiesel (da colza)	DICI Hybrid	-42
Elettrica (da rinnovabile)	Lt-Ion	0
Idrogeno (da rinnovabile)	FC	0
Gas Naturale	PISI Hybrid	12
Gas Naturale	PISI Hybrid	12
GPL	PISI 2010	15
Gas Naturale	PISI 2010	16
Benzina	DISI Hybrid	20
Diesel	DICI Hybrid	21
Benzina	DISI 2010	24
Diesel	DICI 2010	25
Idrogeno (da gas naturale)	FC	98
Elettrica (da mix europeo)	Lt-Ion	142

# Conclusioni WTT<sub>ambientale</sub>

- La produzione di biofuels genera un credito ambientale che si traduce in emissioni negative.
- La produzione di vettori energetici da fonti rinnovabili non produce emissioni.
- Al contrario, la stessa produzione da fonti non rinnovabili genera le emissioni più elevate.
- La produzione di diesel e benzina ha lo stesso impatto.
- Il GPL e il gas naturale sono i più efficienti tra i derivati delle fonti fossili.

# WTW ambientale

CARBURANTE	MOTORE	gCO <sub>2eq</sub> /100km
Elettrica (da rinnovabile)	Lt-Ion	0
Idrogeno (da rinnovabile)	FC	0
Biodiesel (da cellulosa)	DICI Hybrid	9
Biodiesel (da cellulosa)	DICI 2010	10
Etanolo (da canna da zucchero)	DISI Hybrid	19
Etanolo (da canna da zucchero)	DISI 2010	21
Etanolo (da cellulosa)	DISI Hybrid	37
Etanolo (da cellulosa)	DISI 2010	43
Biodiesel (da colza)	DICI hybrid	71
Biodiesel (da colza)	DICI 2010	85
Gas Naturale	PISI hybrid	92
Idrogeno (da gas naturale)	FC	98
Gas Naturale	PISI 2010	123
Diesel	DICI hybrid	129
GPL	PISI 2010	141
Benzina	DISI hybrid	141
Elettrica (da mix europeo)	Lt-Ion	142
Diesel	DICI 2010	156
Benzina	DISI 2010	162

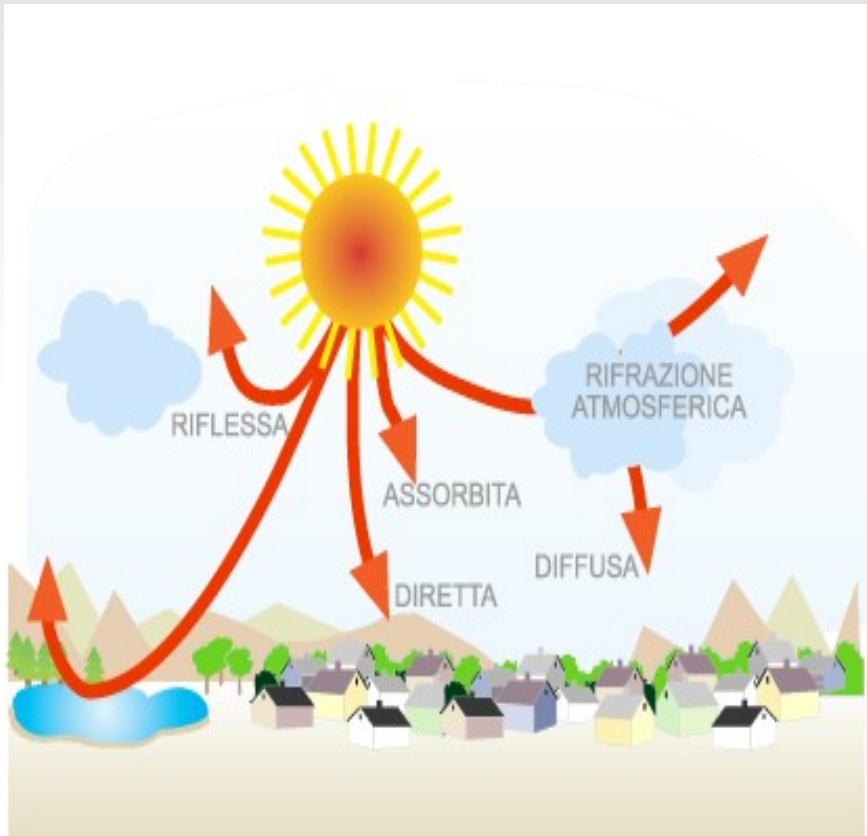
# Conclusioni WTW<sub>ambientale</sub>

- L'auto elettrica e quella a fuel cells alimentate da fonti rinnovabili sono le uniche ad emissioni zero dell'intera catena.
- Per i biocombustibili il sistema produttivo adottato è critico.
- L'utilizzo di motori ibridi sembra avere un impatto significativo sulla riduzione delle emissioni, in virtù del minor consumo di carburante. La riduzione delle emissioni è superiore al 20%
- L'auto elettrica ricaricata da fonti fossili non sembra una soluzione valida.

# Per concludere:

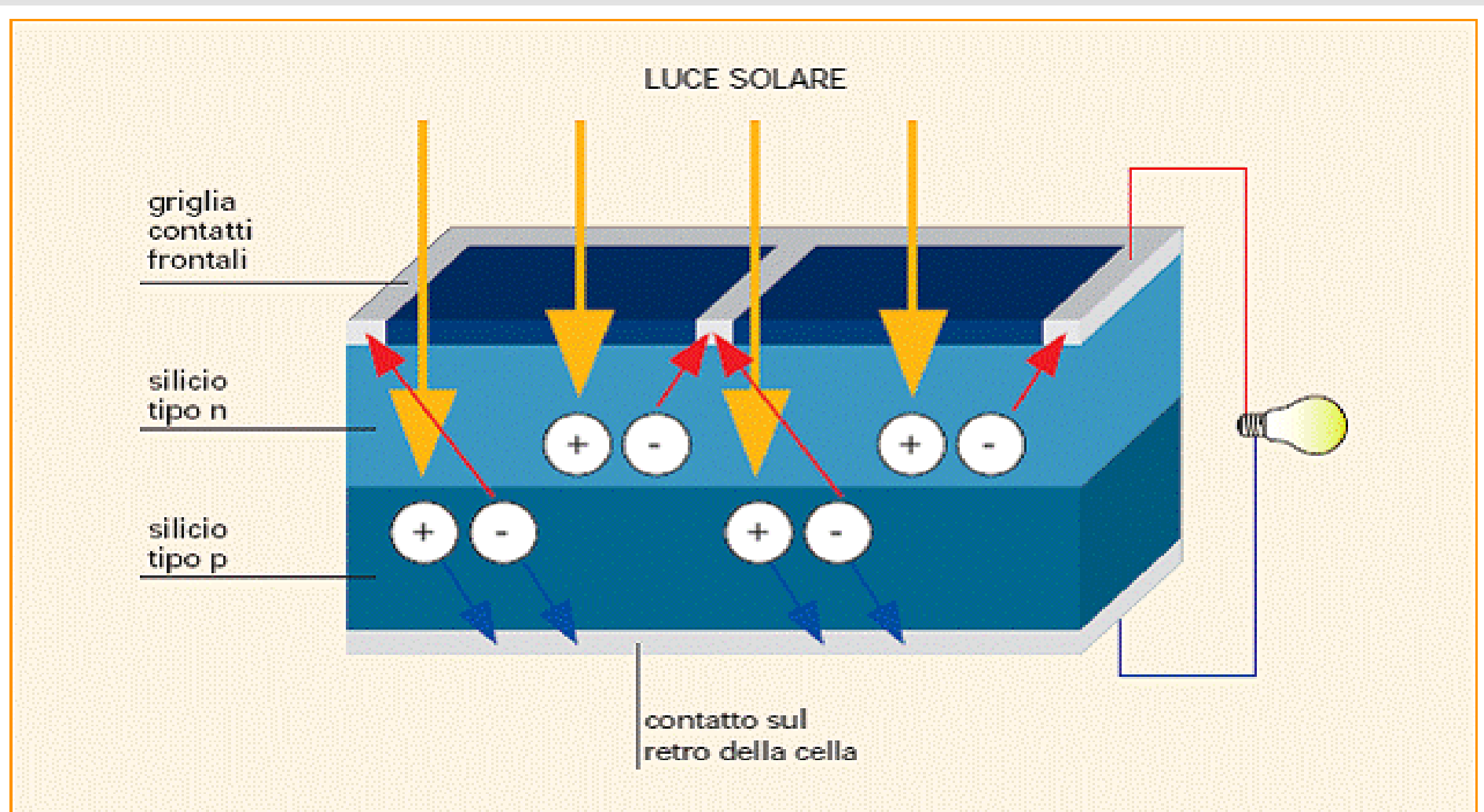
- La soluzione migliore sembra essere l'utilizzo di fonti rinnovabili, sia nel breve (auto elettrica) che nel lungo periodo (idrogeno)
- Le tecnologie ibride sembrano essere una valida soluzione tra le alternative "fossili"
- I biocombustibili, secondo le attuali tecnologie di produzione, non sembrano una soluzione vincente

# La radiazione solare



- $1,36 * 10^{14}$  kW totali
- circa  $1000 \text{ W/m}^2$  effettivamente disponibili
- 15.000 volte il fabbisogno energetico della Terra

# L'effetto fotovoltaico



*Principio di funzionamento della Cella Solare*

# La cella fotovoltaica

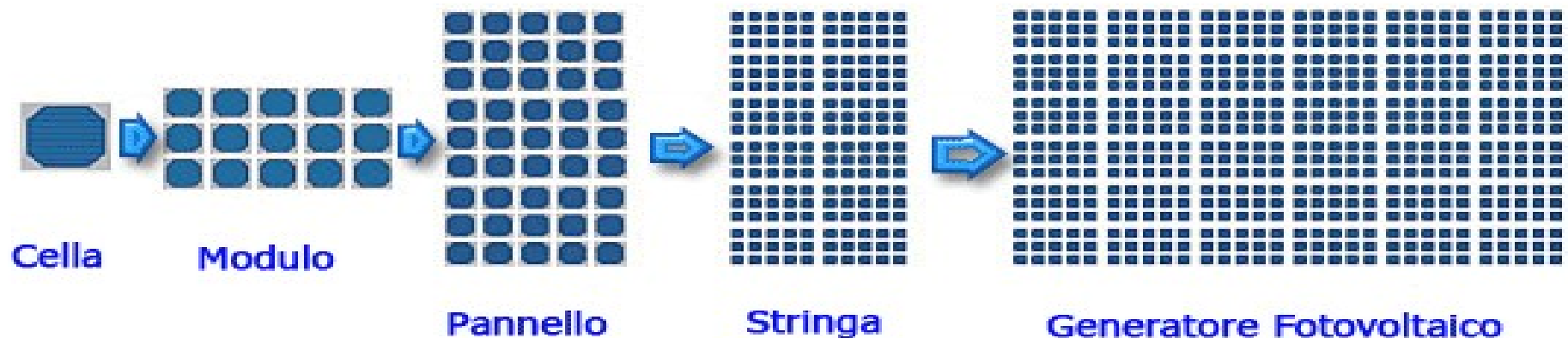


- Fetta di materiale semiconduttore (silicio)
- Dimensioni 10x10 cm
- Corrente 25A
- Tensione 0,5V
- Potenza 1,5-1,7W

# L'impianto fotovoltaico

- Serie di celle= modulo
- Parallelo di moduli= pannello
- Serie di pannelli= stringa
- Parallelo di stringhe= ARRAY PV

## Impianto Fotovoltaico



# Tipologie di impianto

## GRID CONNECTED

- Connessione alla rete
- Scambio sul posto
- Autonomia illimitata

## STAND-ALONE

- Per utenze isolate
- Accumulo con batterie
- Autonomia limitata



# I numeri del fotovoltaico

- 8 m<sup>2</sup> per 1 kWp
- Produttività 1100-1500 kWh/kWp\*
- Produttività a Pinerolo 1125 kWh/kWp\*
- Consumo medio famiglia di 3 persone: 3.000 kWh/anno
- Autonomia con impianto da 2-3 kW
- Circa 5.000-7.000 euro/kW
- Vita minima 20 anni

*\*Fonte: Joint Research Center - CE*

# Il Conto Energia

- Contributo per tutti gli impianti > 1kWp
- Durata degli incentivi: 20 anni
- 3 livelli di integrazione

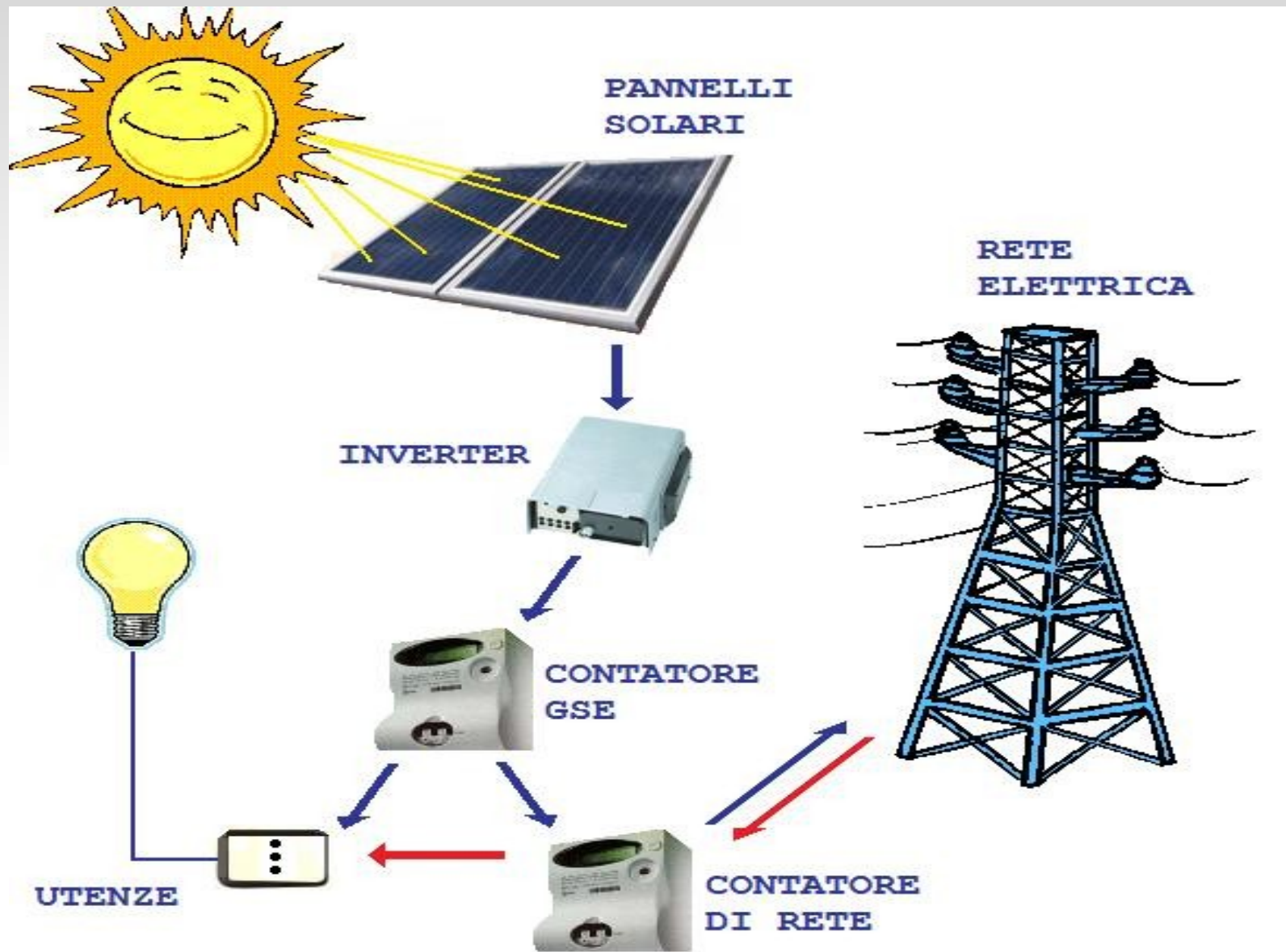
## TARIFFE INCENTIVANTI (valide fino al 31/12/08)

Potenza nominale	NON integrato	PARZIALMENTE integrato	integrato
1-3 kWp	0,40	0,44	0,49
3-20 kWp	0,38	0,42	0,46
> 20 kWp	0,36	0,40	0,44

# Il Conto Energia/2

- Il contratto con il GSE:
  - **Scambio sul posto** (fino a 200 kW)  
( $\Delta < 0$  acquisto dalla rete)  
( $\Delta > 0$  credito energetico)
  - **Vendita delle eccedenze**
  - **Vendita totale**
- ENTRATE:
  - + incentivi C.E.
  - + mancato esborso ENEL
- USCITE:
  - rata mutuo
  - kWh non derivanti dall'autoproduzione

# Il Conto Energia/3



- Schema impianto Fotovoltaico -

# Potenzialità del sito

- Dati di irradiazione da fonte Arpa Piemonte
  - Inclinazione della falda: 15,5°
- Perdite dell'impianto: 23,38% (riflessione, inverter, ecc...)

Irradiazione Globale Annuale [kWh / kWp installato]				
Irradiazione Globale Annuale	Teorica sul p.o.	Teorica a 16° di incl.	Rendimento	Reale a 16° di incl.
		1372	1519	76,62%

# Il carico: l'auto elettrica

- Percorrenza annua: 8.000 km
- Numero di veicoli: 2

MODELLO	PANDA	SMART	DOBLO'
Distanza annua (km)	8.000	8.000	8.000
Numero di veicoli	2	2	2
Distanza totale (km)	16.000	16.000	16.000
Consumo da rete in ricarica (kWh/km)	0,22	0,20	0,20
Consumo totale (kWh)	3.520	3.200	3.200
Irradiazione globale annua (kWh/KWp)	1.100	1.100	1.100
<b>POTENZA NECESSARIA (kW)</b>	<b>3,20</b>	<b>2,91</b>	<b>2,91</b>

# Il carico: l'auto elettrica/2



Autonomia  
*130 km*

Tempo di ricarica  
*5-8 ore*

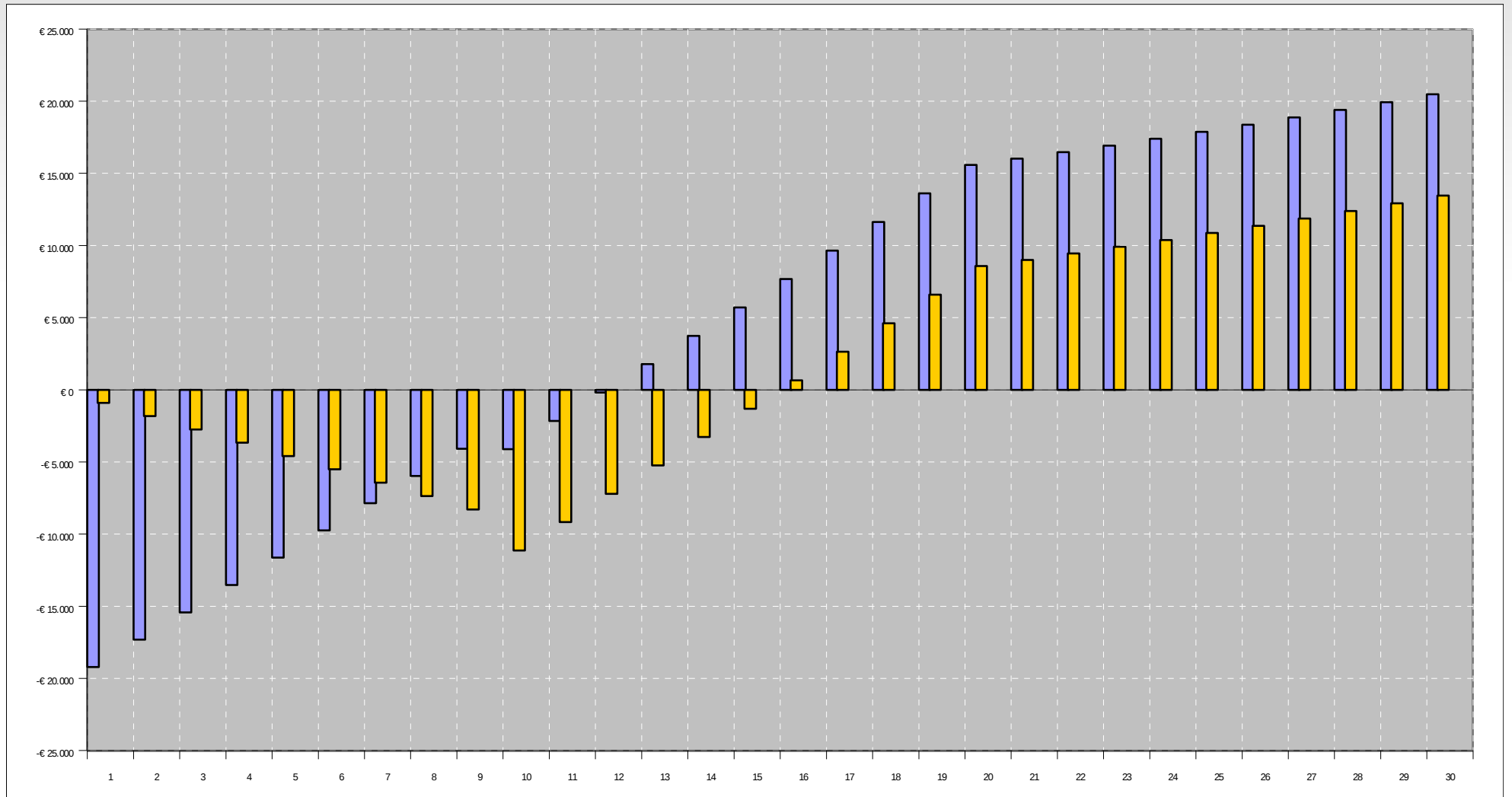
Velocità massima  
*110 km/h*

Costo di un "pieno"  
*3 euro*

# Flusso di cassa

- Costi: installazione, manutenzione, assicurazione
- Sostituzione dell'inverter al 10° anno
- Tempo di ammortamento con finanziamento: 15 anni
- Tempo di ammortamento senza finanziamento: 11 anni

# Flusso di cassa



# Politecnico di Torino Fondazione Telios

GRAZIE PER L'ATTENZIONE !

ing. Davide Rossi