



Antonino Genovese- ENEA

Workshop – Ricerca di Sistema Elettrico

**PRODOTTI E PROCESSI PER IL MIGLIORAMENTO DELL' EFFICIENZA
ENERGETICA NELL'ELETTROMOBILITÀ**

Roma 15 luglio 2015

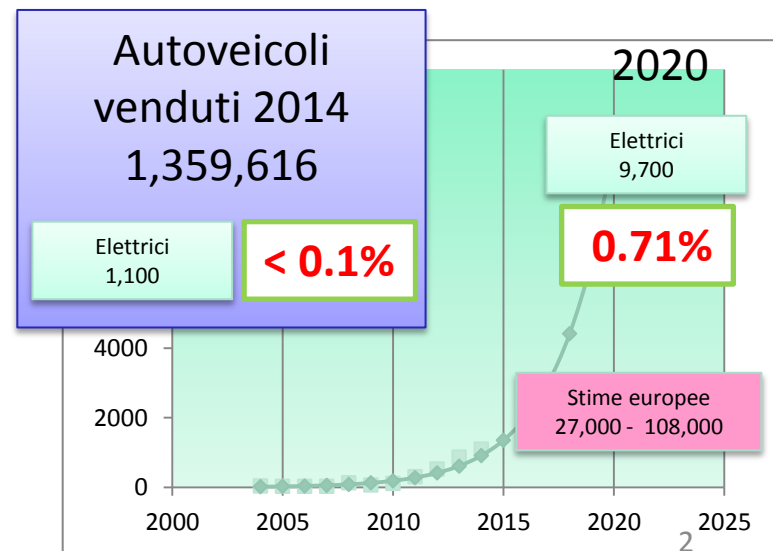
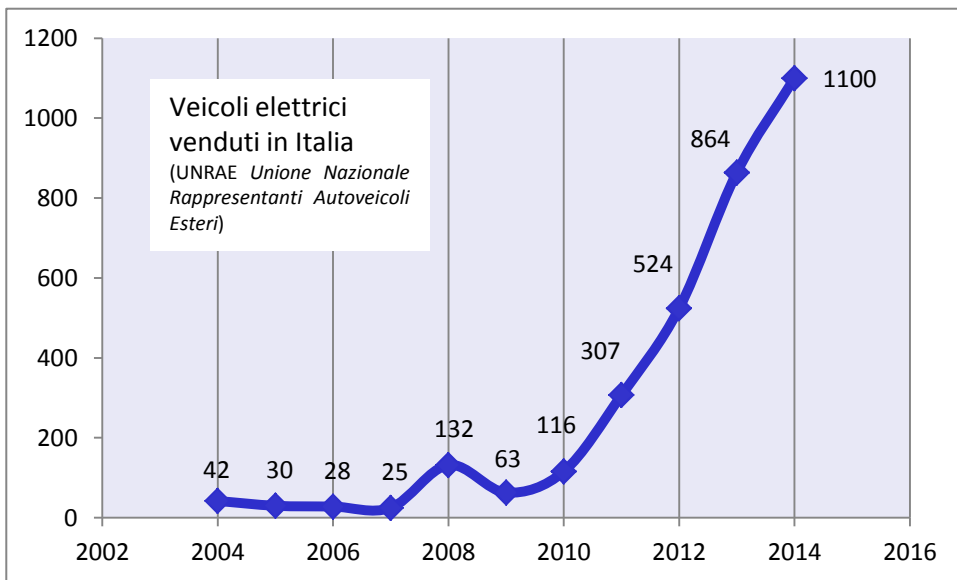
- Il mercato dei veicoli elettrici è previsto in crescita nel prossimo decennio con l'acquisizione di un quota sensibile del venduto totale ;

“Most stakeholders assume a realistic market share for new electrically chargeable vehicles to be in the range of **2 to 8% by 2020 to 2025**, based on today’s market” .

(ACEA European Automobile Manufacturers Association)

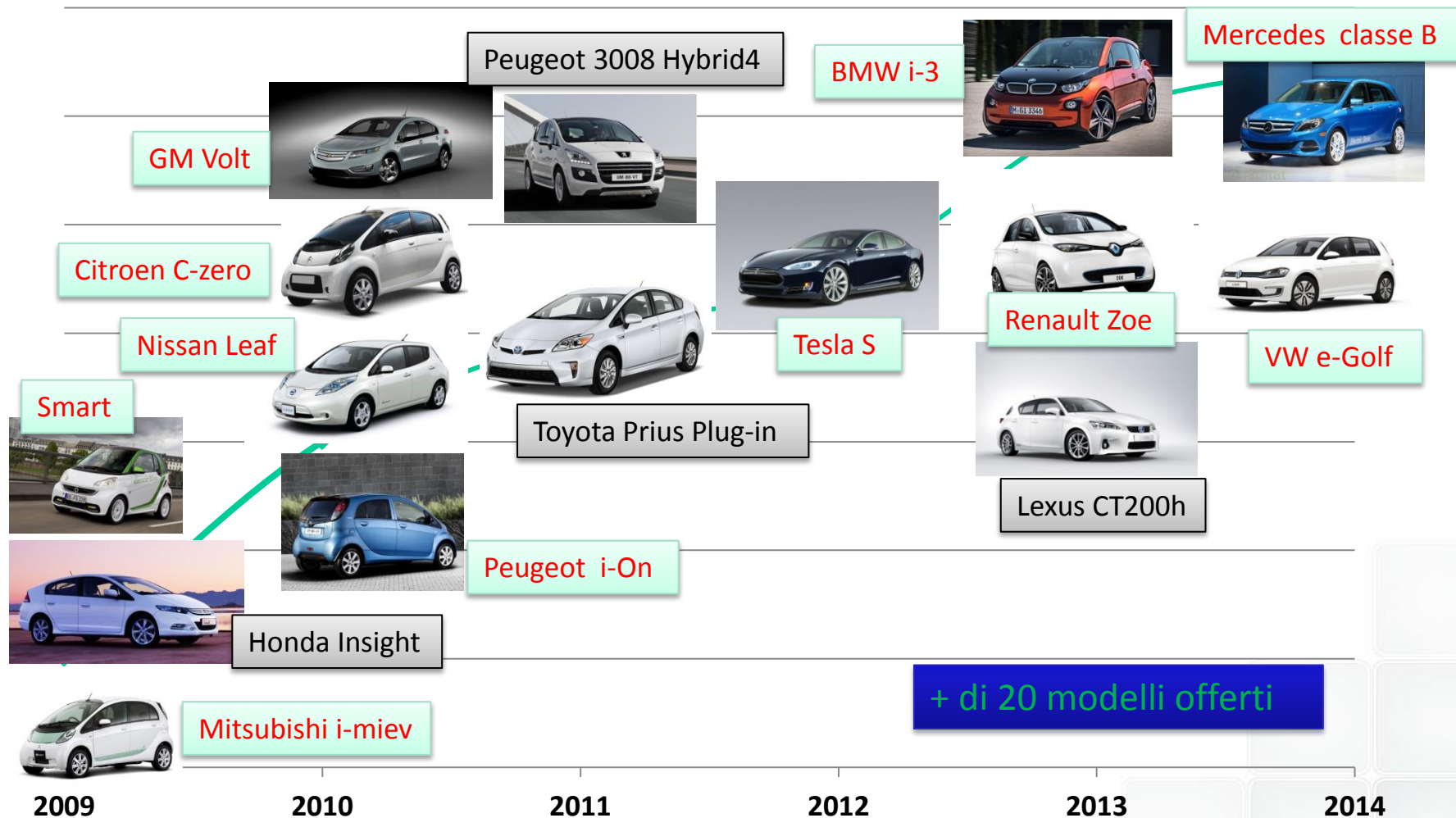
| | | |
|------------------------------|------|--------------|
| Total passenger cars (World) | 2013 | 65.4 m units |
| Total passenger cars (EU27) | 2013 | 14.6 m units |

Da 1.3 a 5.2
milioni di veicoli
Da 0.29 a 1.2

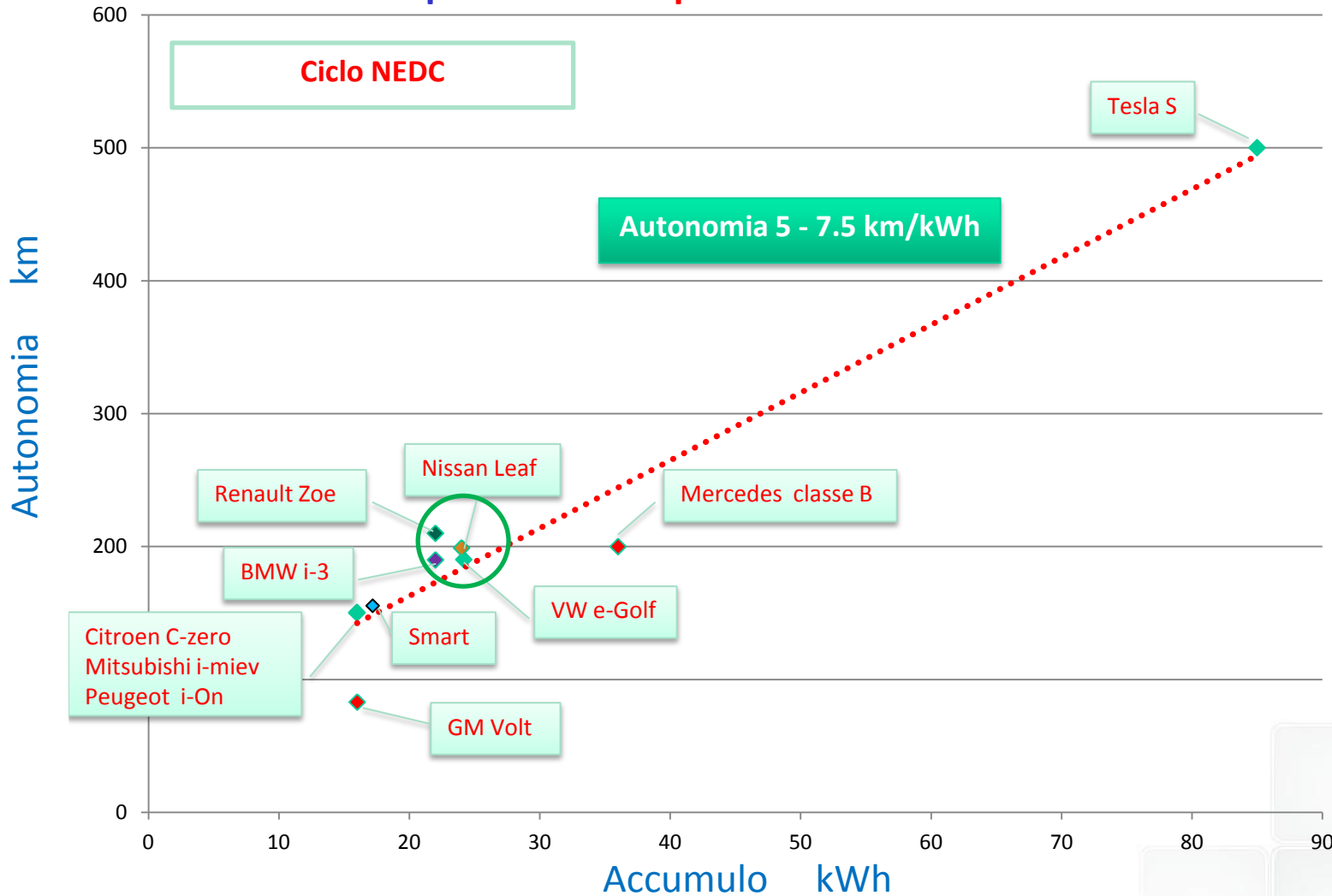


Offerta veicoli elettrici

- L'offerta di veicoli elettrici è sempre più ampia da parte della grande industria automobilistica:



- Le prestazioni in autonomia sono correlate alla capacità dell'accumulo e si collocano in una fascia di utilizzo compatibile con le **percorrenze urbane**.



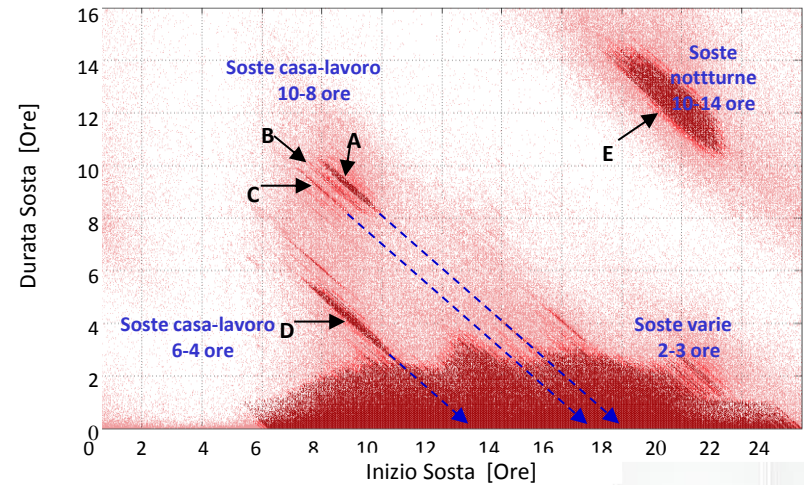
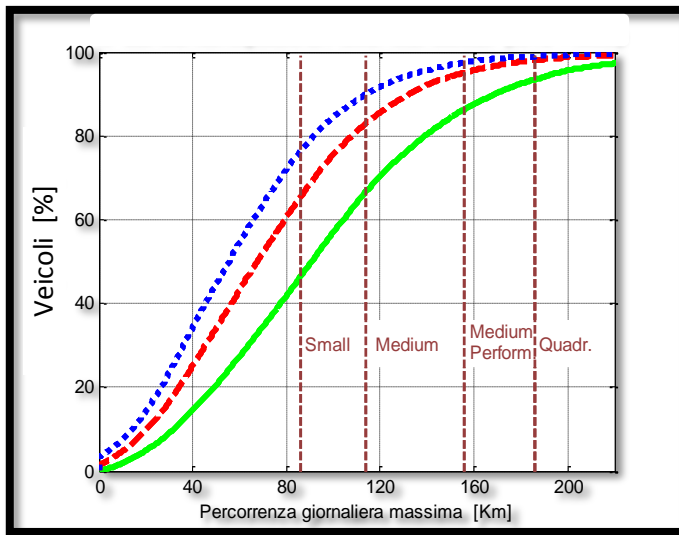
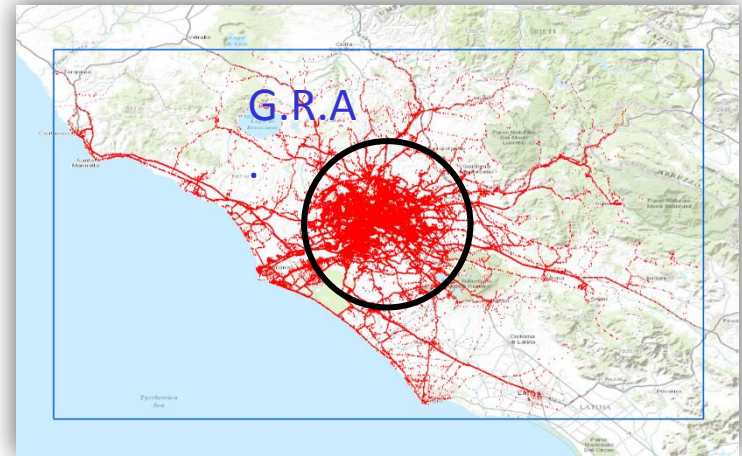
Percorrenze urbane e soste reali



Misure su campione reale di veicoli circolanti in Roma e residenti entro il G.R.A. :

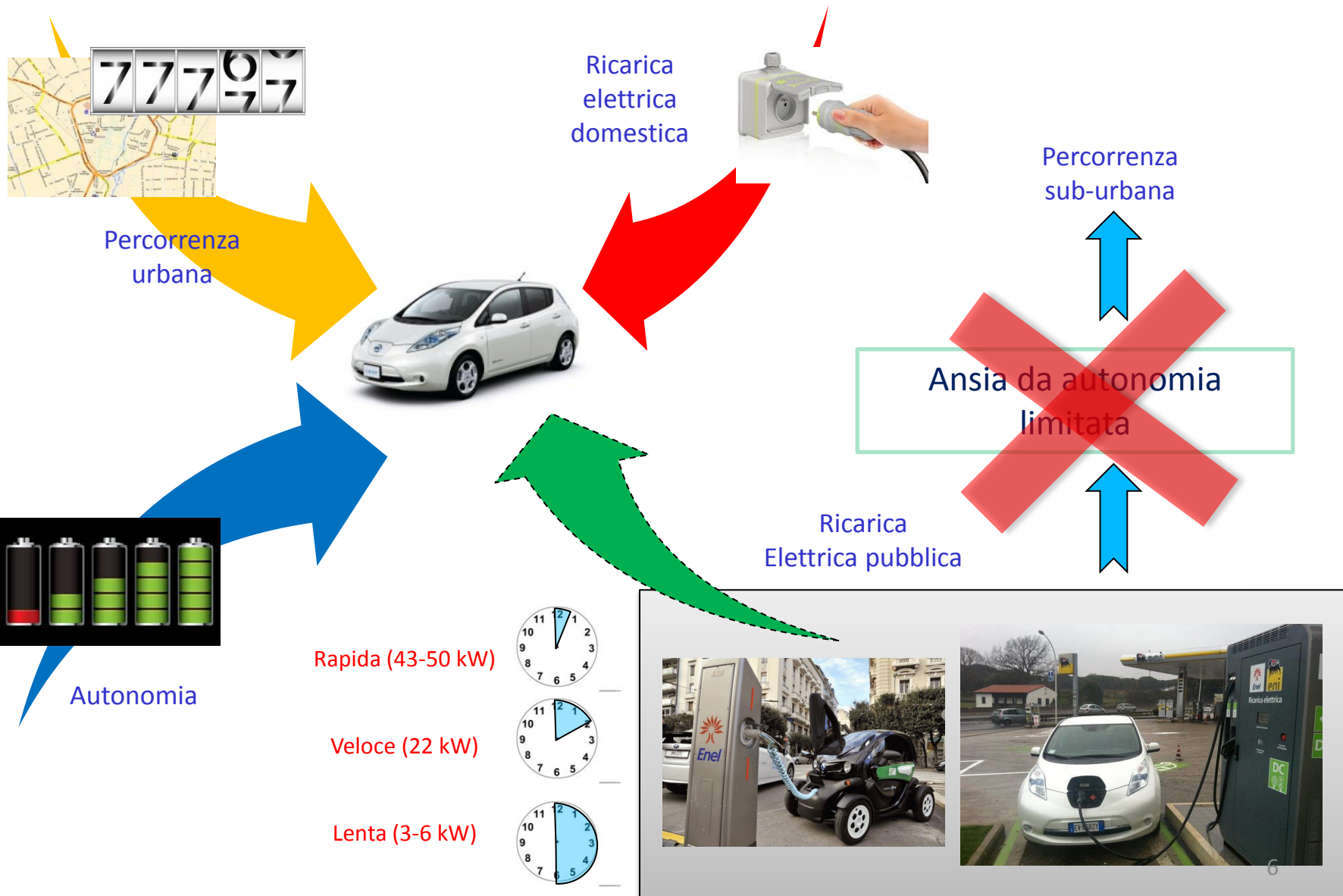
70% percorre una distanza massima giornaliera inferiore a 120 km in un mese.

Il 40% non supera gli 80 km/giorno.



Le soste rilevate mostrano un comportamento sistematico con soste lunghe e d uno casuale con soste brevi 5

Offerta e domanda si incontrano tecnicamente



Il Piano Nazionale delle Infrastrutture di Ricarica Elettrica



Transizione verso una mobilità elettrica

obiettivo di importanza nazionale

azioni a livello comunitario

strategia europea "Europa 2020" per lo sviluppo di misure per il miglioramento della competitività e della sicurezza energetica attraverso l'utilizzo efficiente dell'energia anche nel settore dei trasporti

piano "Trasporti 2050" per lo sviluppo sostenibile dei trasporti al fine di realizzare una riduzione della CO₂ (- 60%) anche attraverso la diffusione di veicoli elettrici ed ibridi.

Direttiva Europea 2014/94 realizzazione di infrastrutture per i veicoli alimentati con combustibili alternativi tra cui anche l'energia elettrica

• creazione di un adeguato numero di punti di ricarica accessibili al pubblico in aree urbane e sub-urbane

• rapporto di almeno 1 punto per 10 autovetture circolanti al 2020

• sviluppare oltre le normali tecnologie cablate anche la ricarica "contactless" ed il "battery swapping".

• predisporre a modelli di rete interattivi con scambi rete-veicolo-rete (V2G)

• ottimizzare il prelievo di energia dalla rete

• caratteristiche "smart" per le operazioni di contabilizzazione energetica nel rispetto del libero mercato

P.N.I.R.E.



Centralità delle azioni di ricerca nella RdS elettrico svolte da ENEA relative alla ricarica dei veicoli elettrici in accordo con le linee guida indicate dal PNIRE

- ricarica non conduttiva
- ricarica veloce e rapida
- strumenti di ausilio per le infrastrutture di ricarica
- impatti rete locale e tecnologie di supporto

P.N.I.R.E.

Ricarica wireless: tecnologia e interazione biologica

Ricarica rapida per le batterie Li-ione e impatto sulla vita delle batterie

Metodologie per la determinazione della numerosità e della dislocazione dei punti di ricarica

Metodiche di ricarica ed influenze sul TPL elettrico

Integrazione di più fonti di energia elettrica per la ricarica dei veicoli elettrici

V2G: perdite di conversione ed effetti sulla vita dell'accumulo

Antonino Genovese- ENEA

Workshop – Ricerca di Sistema Elettrico

**PRODOTTI E PROCESSI PER IL MIGLIORAMENTO DELL' EFFICIENZA ENERGETICA
NELL'ELETTROMOBILITÀ**

Infrastrutture di ricarica multisorgente

Roma 15 luglio 2015

Una reale mobilità elettrica non può basarsi esclusivamente sul veicolo, ma deve integrare anche il resto della “catena del valore” per la mobilità.



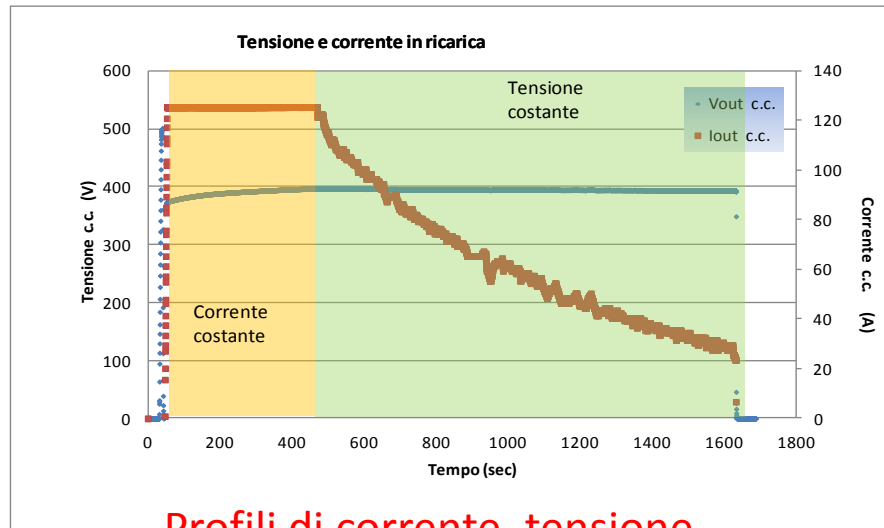
Diffusione infrastrutture di ricarica :
adeguamento linee elettriche alla prevista crescita dei veicoli elettrici



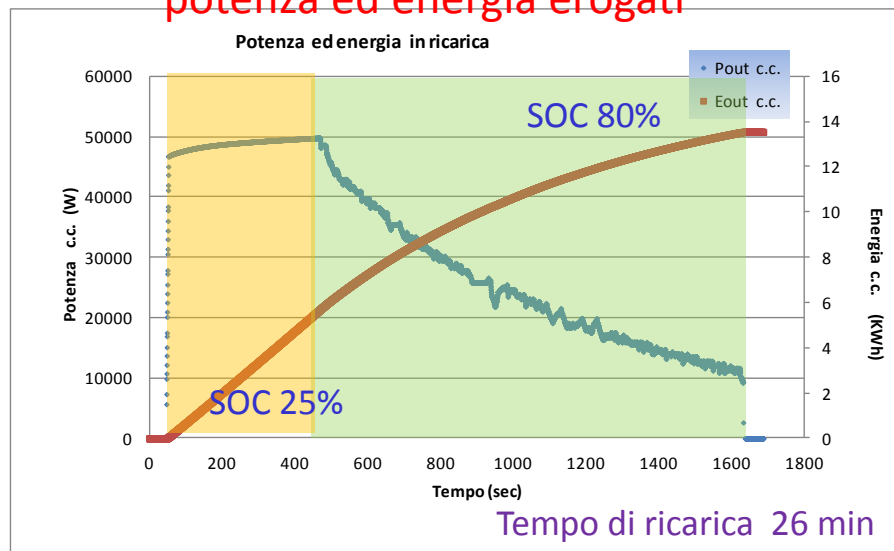
Nei centri urbani spesso questo risulta di difficile attuazione e/o richiede investimenti elevati

Migliorare l'utilizzo delle reti esistenti, mediante l'integrazione della generazione distribuita e dei sistemi di accumulo





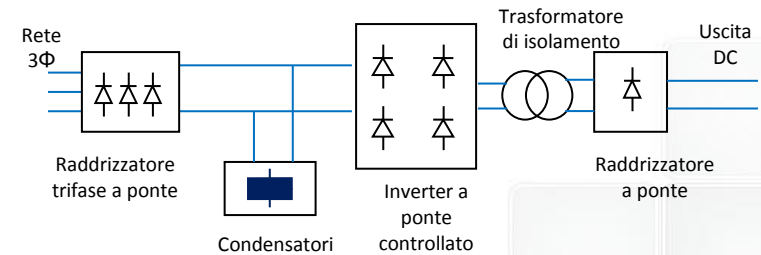
Profili di corrente, tensione, potenza ed energia erogati



Circuitor EQC 50



Prove di caratterizzazione c/o laboratori della Casaccia



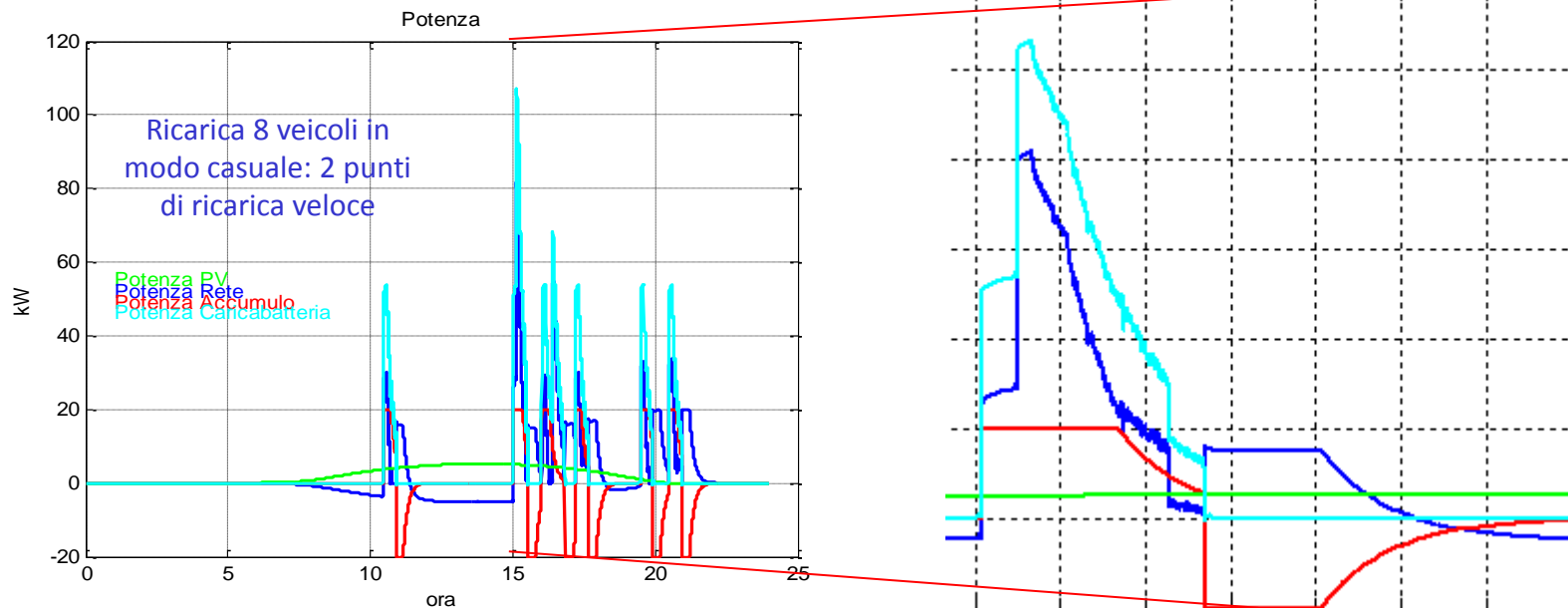
Capacità nominale accumulo veicolo : 24 kWh

- Carichi aleatori
- Profilo di potenza decrescente



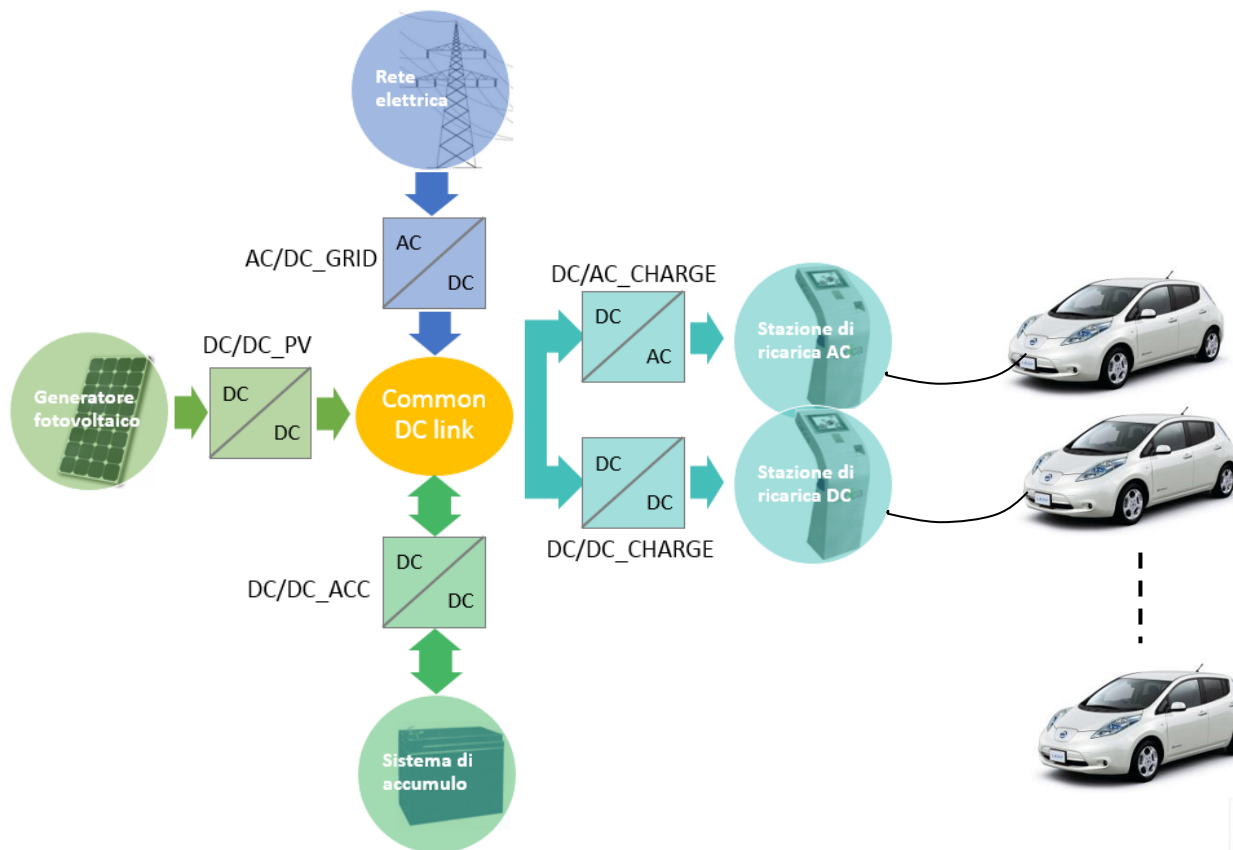
La contemporaneità richiede la maggiorazione della potenza con un fattore di utilizzo basso

Il profilo di ricarica cc/cv riduce la potenza impegnata nel tempo



Razionalizzare il prelievo dalla rete attraverso l'uso di una risorsa locale

Interfacciare un'infrastruttura di ricarica per veicoli elettrici anche complessa con diverse sorgenti di alimentazione e sistemi di accumulo.



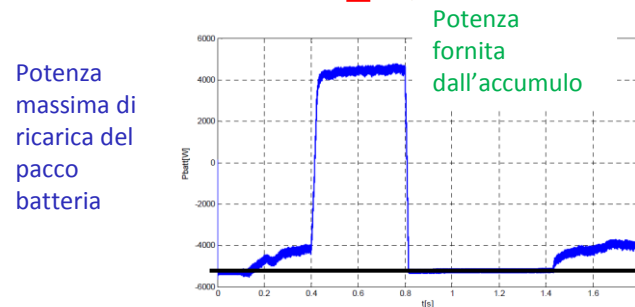
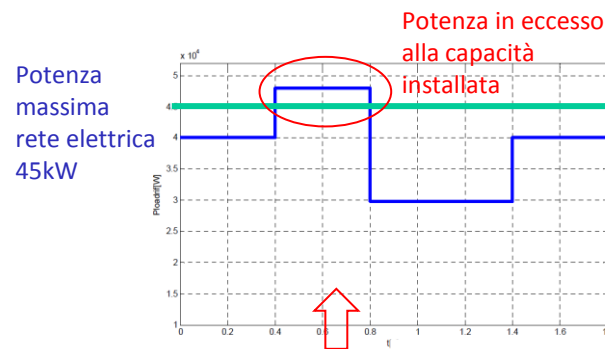
- ottimizzazione del processo per la ricarica dei veicoli elettrici;
- minimizzazione dell'impatto sulla rete di distribuzione.

Peak shaving

Riduzione del picco di domanda dalla rete

Si evita l'installazione di una elevata potenza di rete per carichi variabili nel tempo.

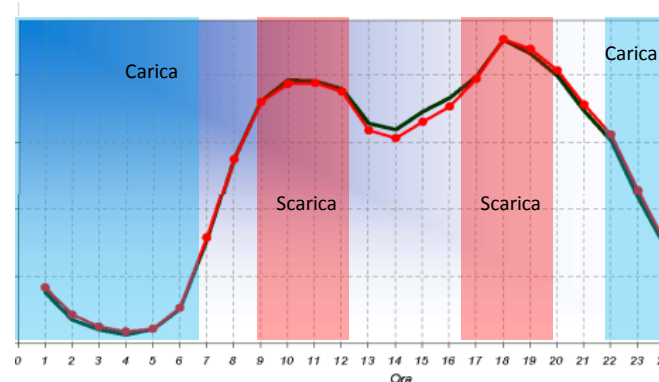
L'accumulo stazionario consente rapidità di intervento per la riduzione dei picchi di potenza



Load levelling

Spostamento temporale dei prelievi dalla rete

Si ricarica l'accumulo durante le ore di carico leggero e si fornisce energia durante le ore di maggior carico.



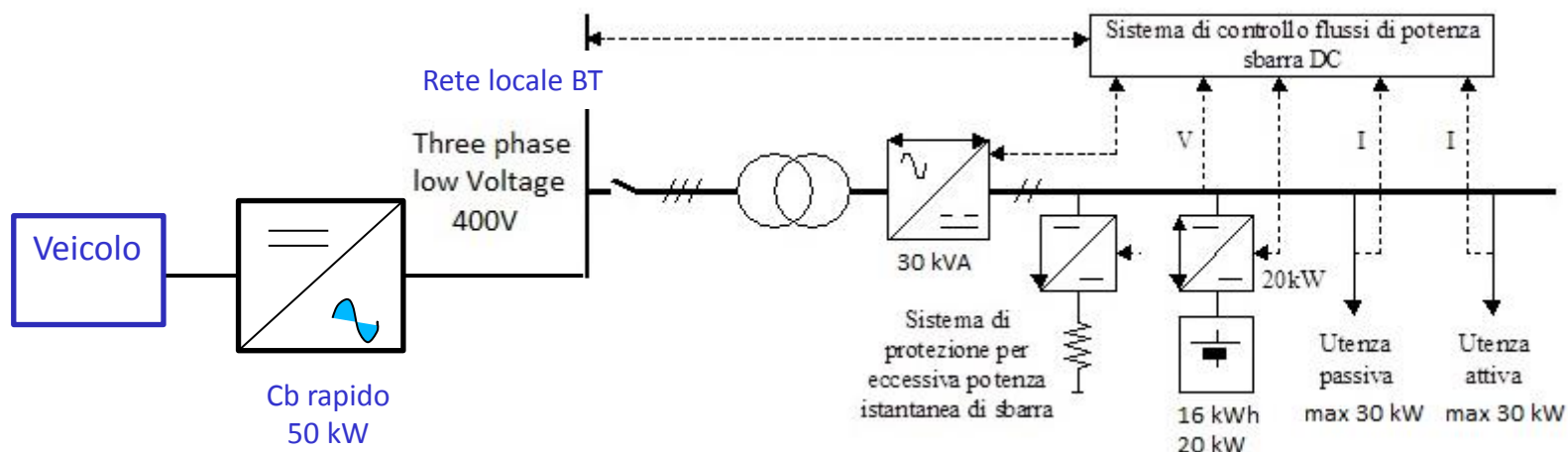
Stazione di ricarica rapida integrata con accumulo stazionario



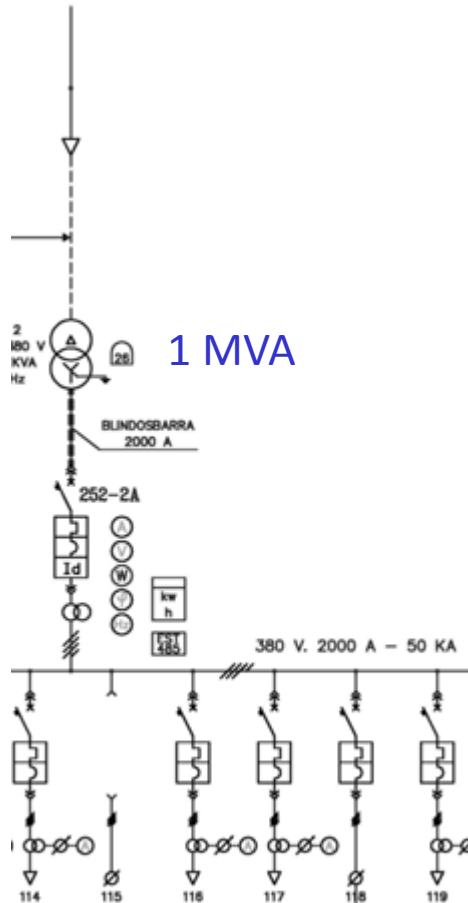
Compensatore statico con
accumulo stazionario

+

Carica batterie rapido 50 kW

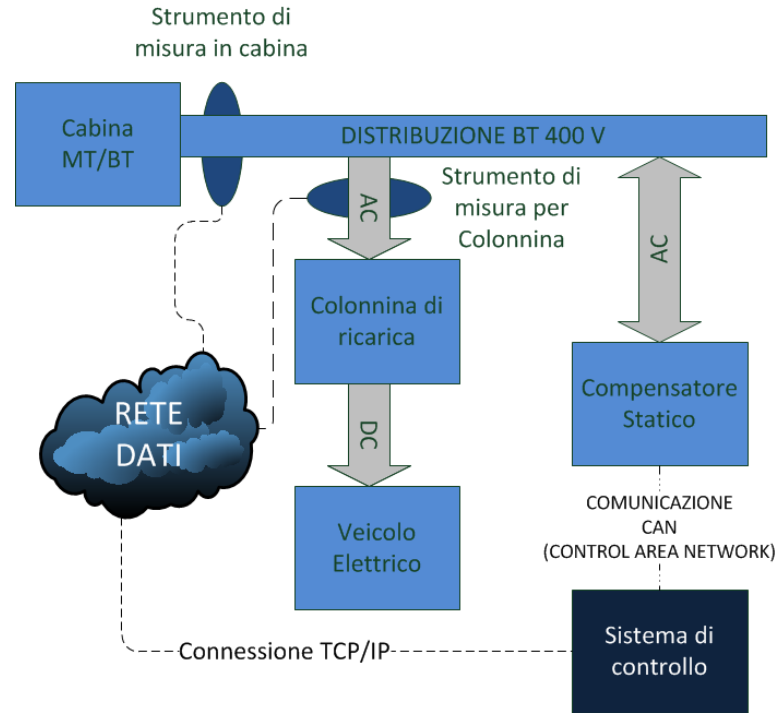


Stazione di ricarica rapida integrata con accumulo stazionario : peak shaving



Stazione di
ricarica integrata

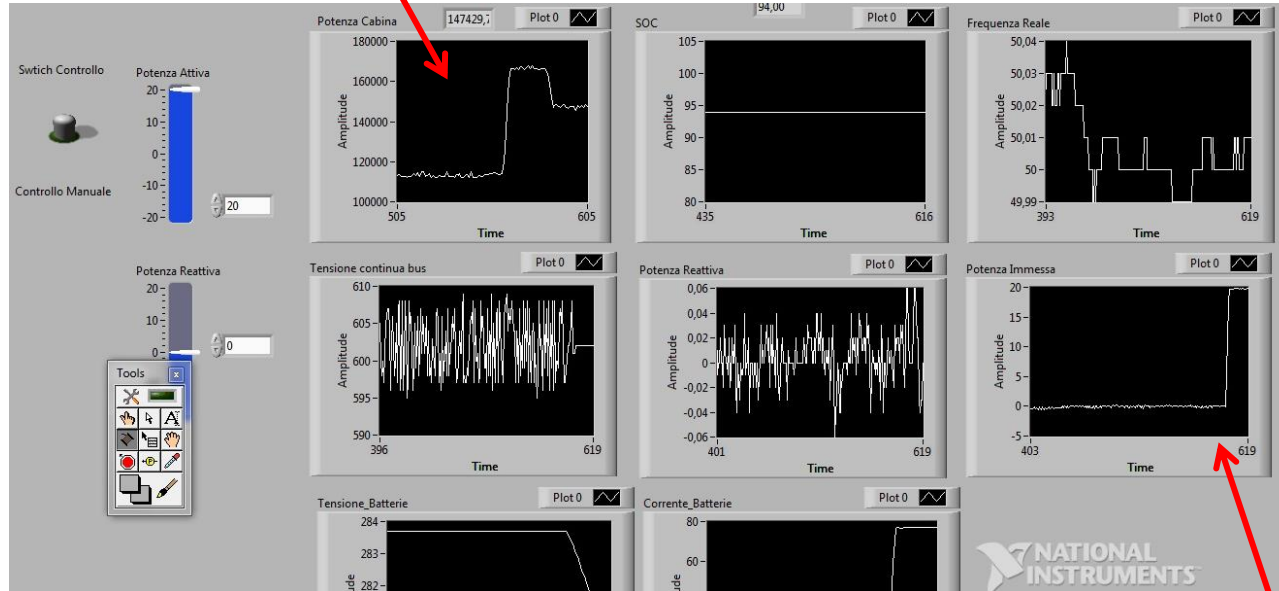
5% Pmax cabina



Al fine di implementare la procedura di peak-shaving del compensatore statico durante la ricarica veloce, è stato utilizzato un sistema di monitoraggio e controllo per le reti energetiche.

Stazione di ricarica rapida integrata con accumulo stazionario : peak shaving

Potenza cabina MT/BT



Parametri di controllo

- potenza assorbita dalla colonnina di ricarica
- potenza assorbita dall'intera cabina MT/BT
- tensione, corrente e potenza del compensatore

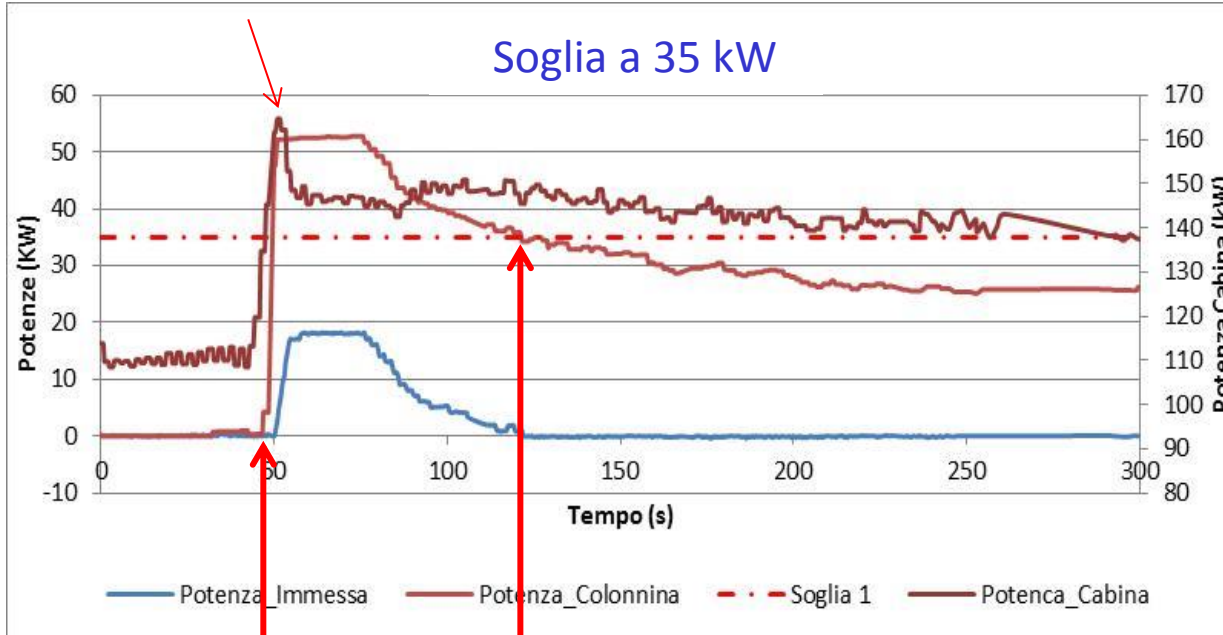
Potenza immessa

Logica a soglia :
erogazione della massima potenza consentita
($P_{cb-s} < P_c < 20 \text{ kW}$) se la potenza del $P_{cb} > s \text{ kW}$

s = potenza impegnata linea alimentazione

Stazione di ricarica rapida integrata con accumulo stazionario : peak shaving

Potenza in cabina



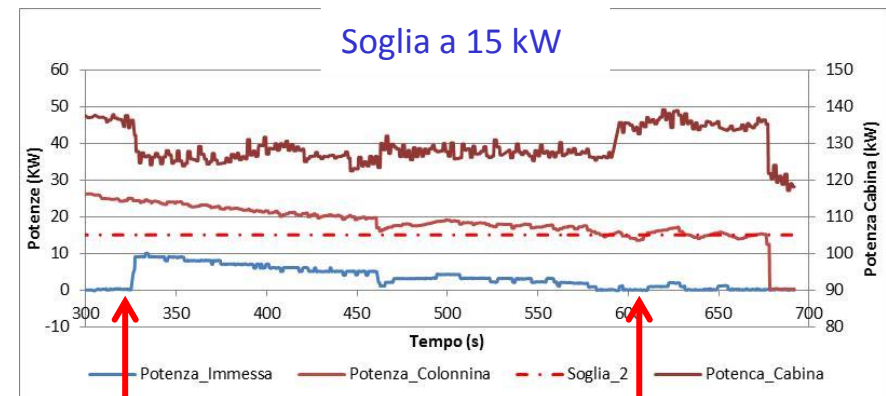
$E_{cb} = 2.5 \text{ kWh}$

15%

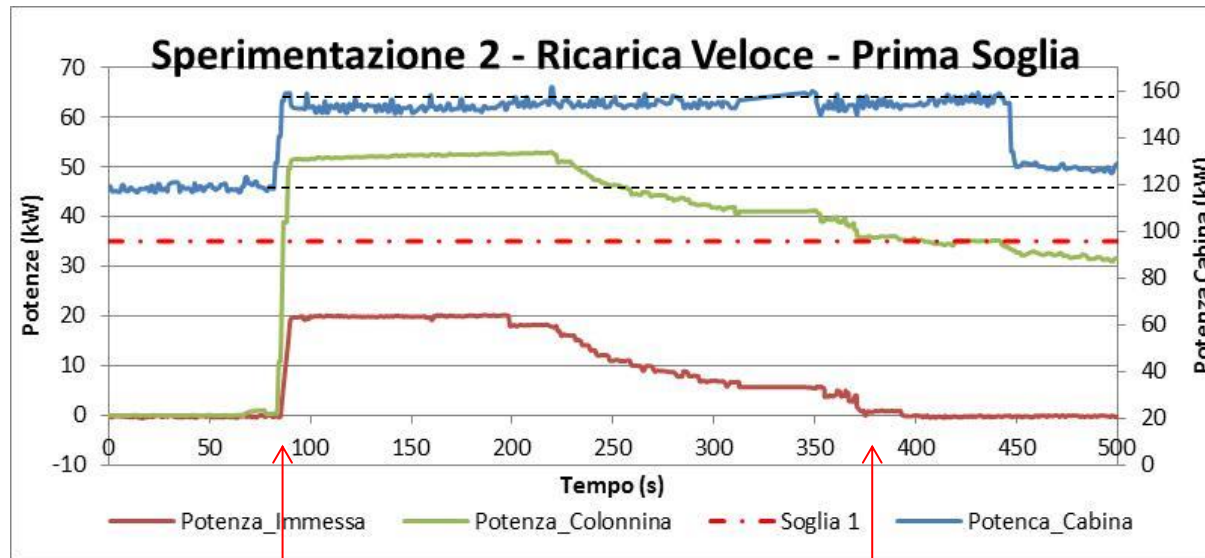
$E_c = 362 \text{ Wh}$

Inizio erogazione
accumulo

Fine erogazione
accumulo

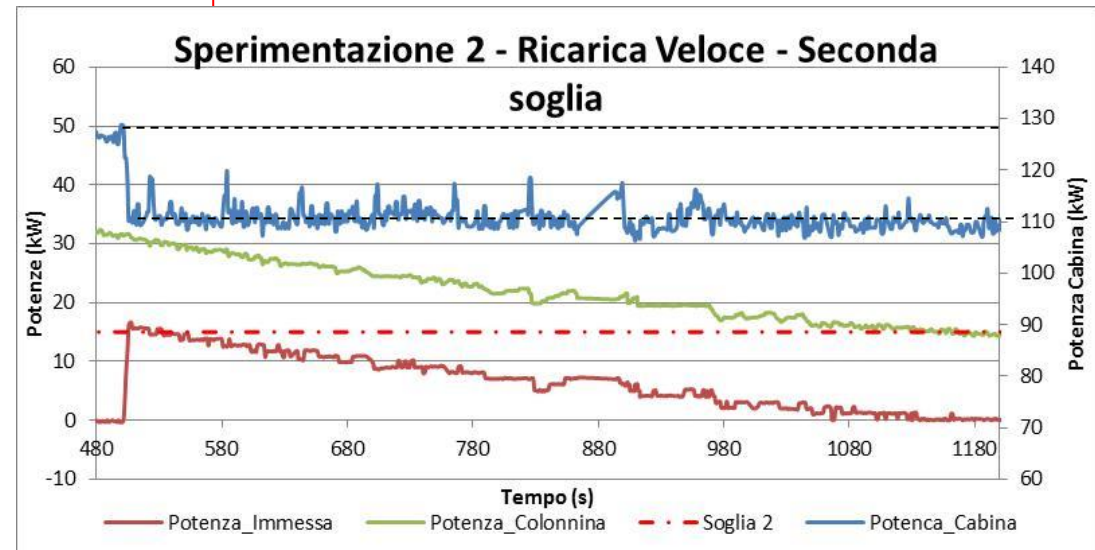


Stazione di ricarica rapida integrata con accumulo stazionario : peak shaving

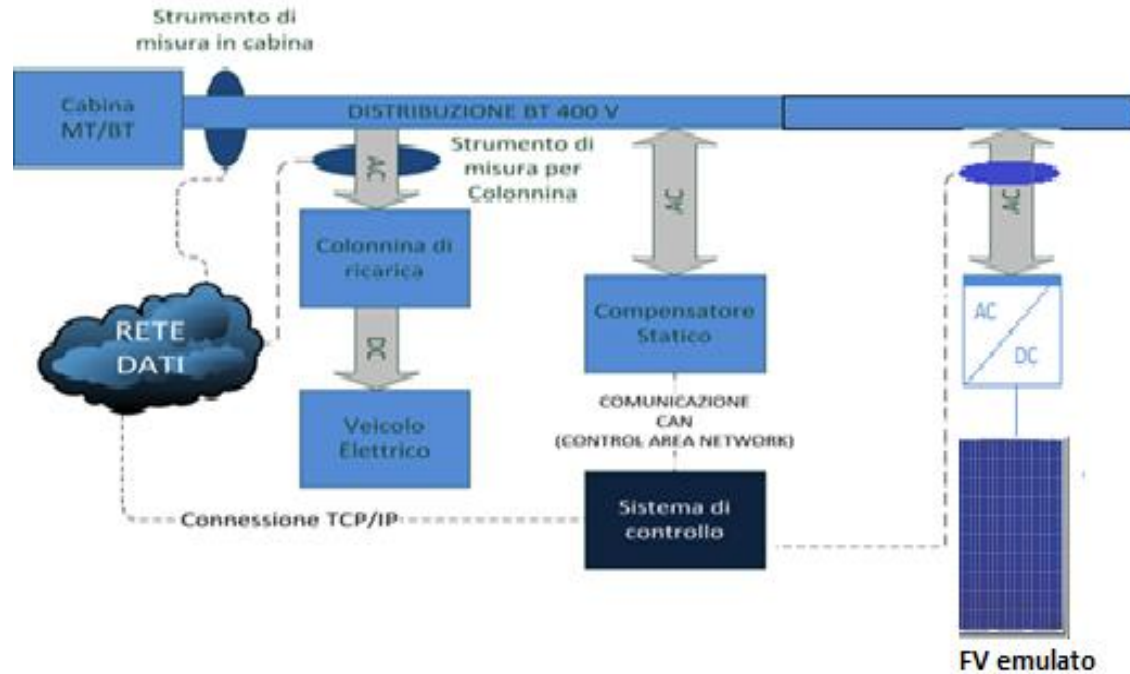


$E_c = 4,5 \text{ kWh}$
 36%
 $E_{cb} = 12,4 \text{ kWh}$
 ↓
 $\eta_s = 0.8 \quad \eta_g = 0.46$
 $E_{\text{primaria}} = -12,2 \text{ kWh}$

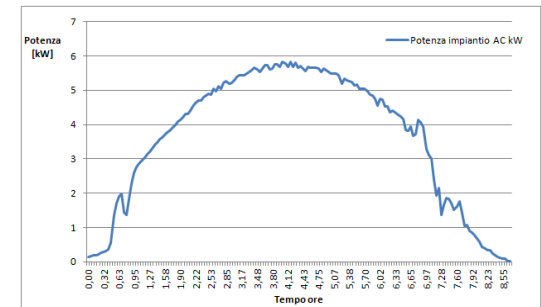
- inserimento nei primi 120 secondi di ricarica, di una soglia molto bassa per far erogare al compensatore la massima potenza di 20 kW ;
- inserimento di una soglia di 35 kW negli istanti successivi fino a che la potenza immessa del compensatore non si è portata a 0 ;
- un ulteriore cambiamento di soglia a 15 kW
- Pmax prelevata 35 kW



Stazione di ricarica rapida integrata con accumulo stazionario e rinnovabile



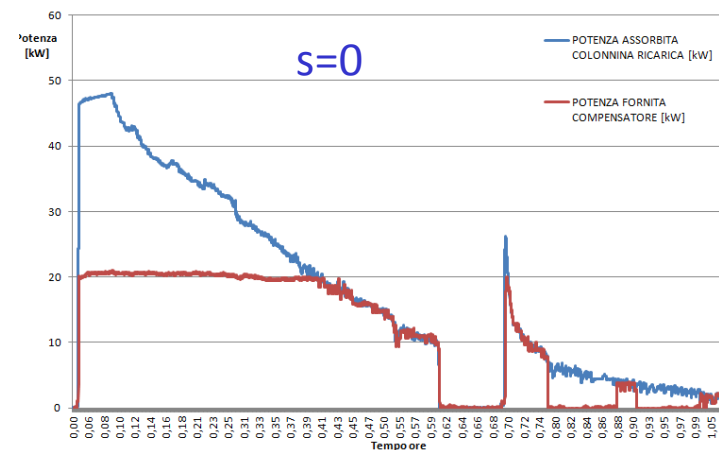
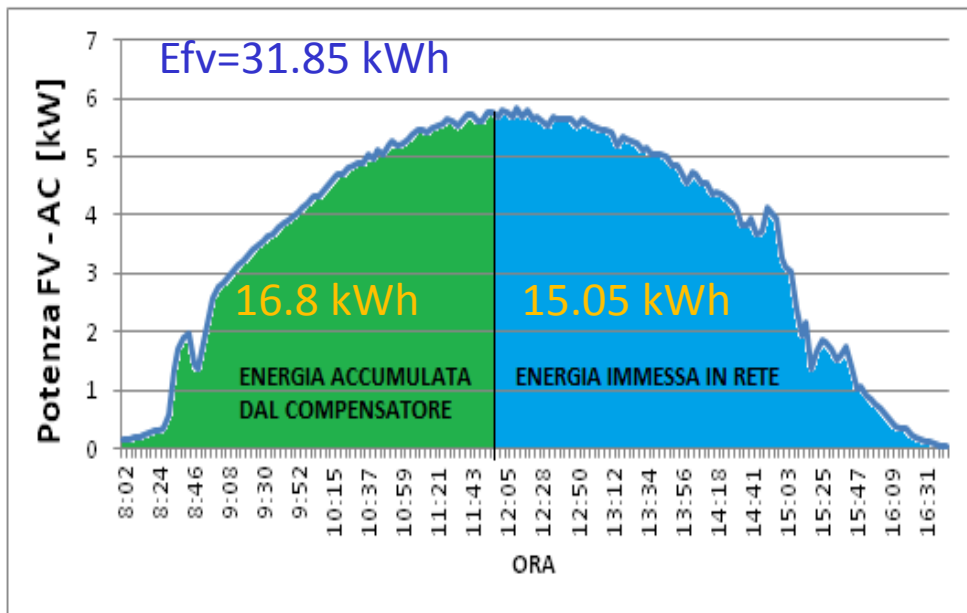
Introduzione di un
impianto FV da 10 kWp



Febbraio $\eta=0.78$

Logica di controllo del compensatore : ciclo giornaliero di carica e scarica accumulo stazionario legato all'uso del veicolo elettrico.
In particolare durante il giorno le batterie da 16 kWh del compensatore vengono caricate da un impianto fotovoltaico da 10 kW e scaricate durante le ore serali per compensare il carico della colonnina di ricarica.

Stazione di ricarica rapida integrata con accumulo stazionario e rinnovabile



-Energia ceduta dalle batterie del compensatore 13.02 [kWh]

-Energia ceduta dal compensatore 11.84 [kWh]

-Energia immagazzinata da campo fotovoltaico 16.80 [kWh]

-Energia accumulata nel compensatore dalle batterie litio polimeri 14.17 [kWh]

-Energia richiesta colonnina di ricarica 18.54 [kWh]

$E_{primaria} = -26 \text{ kWh}$

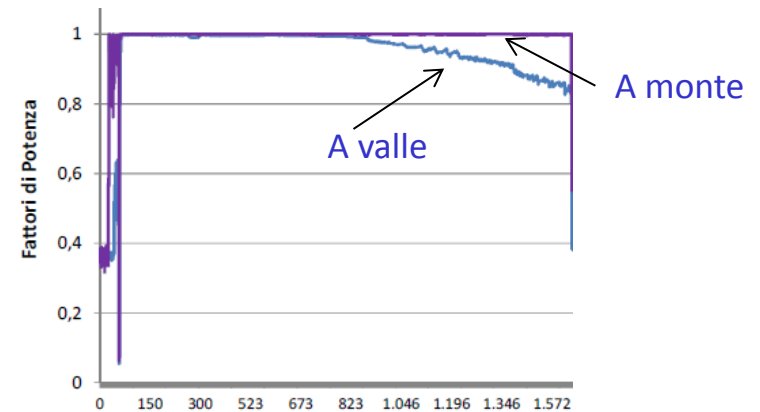
Stazione di ricarica rapida integrata con accumulo stazionario e rinnovabile: compensazione reattiva



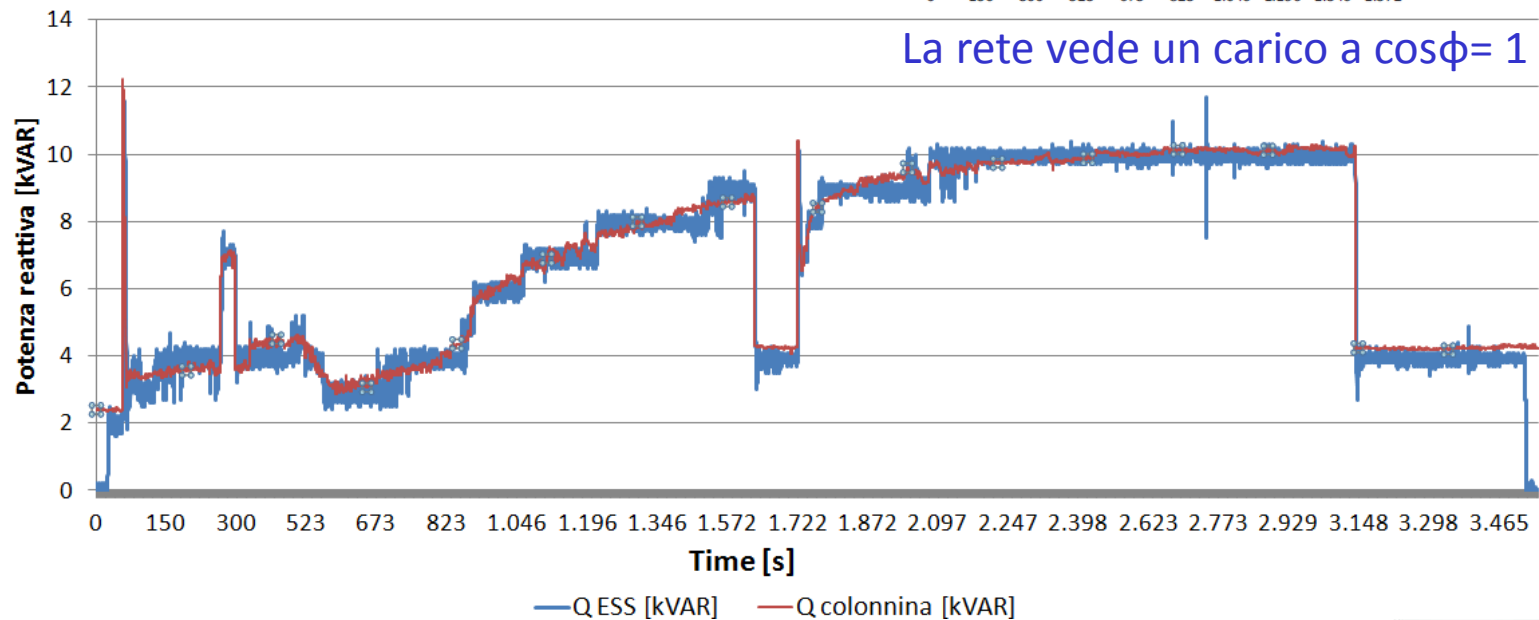
La presenza del compensatore rende possibile la compensazione anche dell'energia reattiva.

Il CB in esercizio non era dotato di PFC

La Q risulta elevata al diminuire della potenza attiva erogata.



La rete vede un carico a $\cos\phi = 1$



Piattaforma numerica per progettazione ottimale di infrastrutture di ricarica multisorgente



Università degli Studi di
Cassino
e del Lazio Meridionale

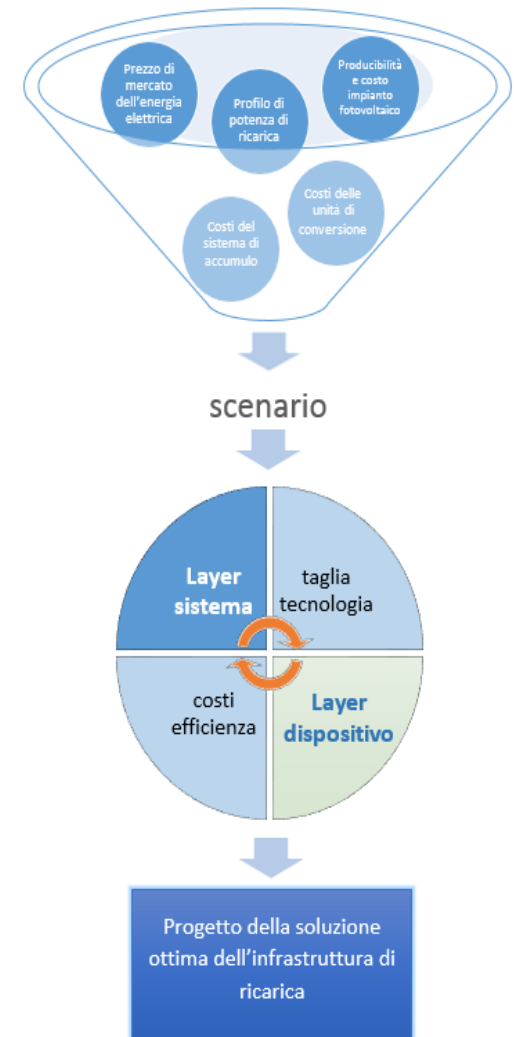
E' stata sviluppata una **piattaforma numerica** che, in funzione delle specifiche relative alle sorgenti di alimentazione e alle esigenze di carico, consente di:

- dimensionare la taglia delle singole unità del convertitore;
- definire la migliore tipologia di convertitore in funzione dell'efficienza di conversione complessiva;
- dimensionare il sistema di accumulo energetico;
- dimensionare l'eventuale sistema di generazione da fonte rinnovabile;
- definire istante per istante i flussi di potenza ottimali che consentono di minimizzare il costo di esercizio giornaliero dell'infrastruttura, garantendo sempre la potenza di ricarica richiesta.

La piattaforma numerica è organizzata su due *layers* denominati **layer di sistema** e **layer di dispositivo**.

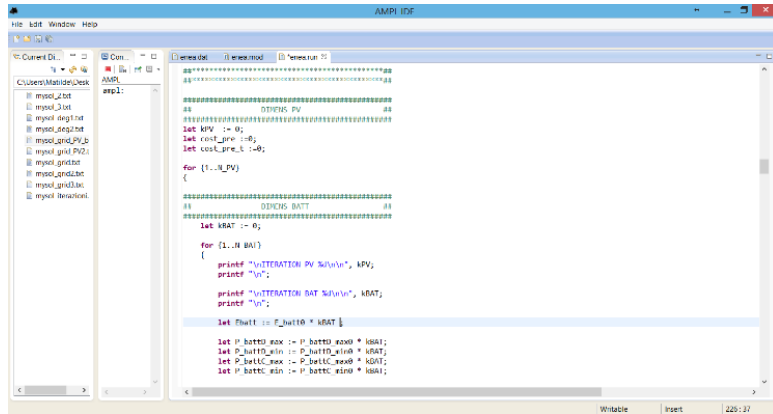
La necessità di avere due *layers* distinti, seppur integrati fra loro, nasce dall'esigenza di separare le dinamiche dei vari sotto-sistemi in funzione delle loro costanti di tempo.

L'interazione tra i due *layers* ha come output il **progetto di investimento con il migliore ritorno economico**.

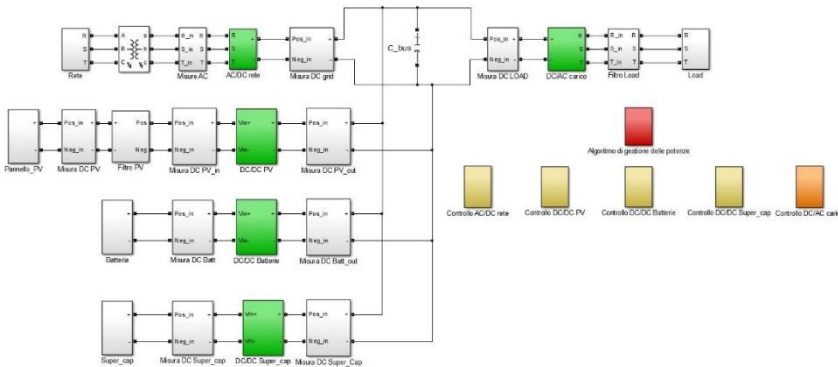




L'architettura della piattaforma è fortemente **flessibile ed adattabile** a diversi scenari di sviluppo della mobilità elettrica e diverse tecnologie di conversione statica dell'energia. Tipologie di convertitori “innovativi” e tecniche avanzate di modulazione (come *l'interleaving*) sono state prese in esame durante l'attività di ricerca.



Nel **layer di sistema** è risolto, attraverso l'ambiente di sviluppo AMPL®, il problema di ottimizzazione che consente di **minimizzare**, per diverse taglie dell'impianto fotovoltaico e del sistema di accumulo, il costo di esercizio giornaliero dell'infrastruttura garantendo sempre la **potenza di ricarica richiesta**.



Nel **layer di dispositivo** le prestazioni del sistema di conversione modulare sono analizzate con un **simulatore numerico** sviluppato in ambiente *Matlab*® sia in condizioni **stazionarie che dinamiche**. La flessibilità del simulatore consente di **testare diverse soluzioni** dell'infrastruttura di ricarica sia rispetto alle **taglie dei componenti** sia rispetto alla **topologia e alle tecniche di controllo** scelte per l'implementazione dei **convertitori di potenza**.

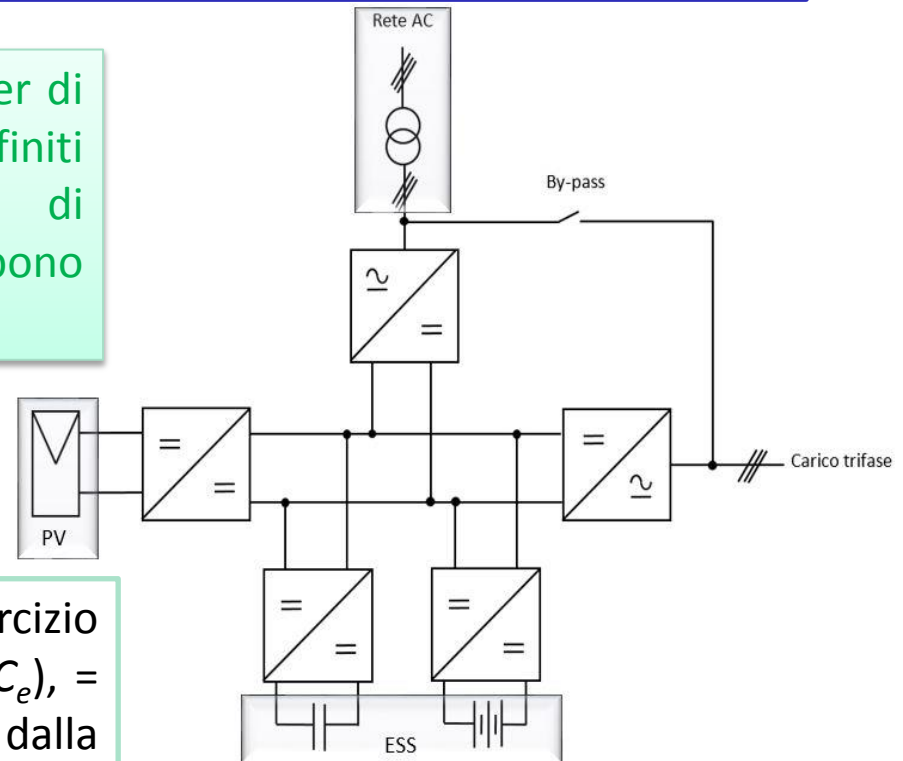


Infrastruttura di ricarica multi-standard con una potenza nominale pari a 110 kW:
un punto di ricarica in dc con potenza nominale da 50 kW;
due punti di ricarica in ac con potenza nominale da 22kW;
tre punti di ricarica lenta con potenza nominale da 3.7kW.

Trasformatore MT/BT d'ingresso ed inverter di uscita della struttura sono state definiti indipendente dal processo di dimensionamento ottimale poiché debbono erogare la max potenza.

$$\min C_e = \min \sum_{h=1}^{24} (c_r[h] P_{rete}[h] \Delta t + C_{deg}[h])$$

Funzione obiettivo: costo di esercizio giornaliero dell'infrastruttura di ricarica (C_e), = costo di approvvigionamento energetico dalla rete + costo di degradazione del sistema di accumulo



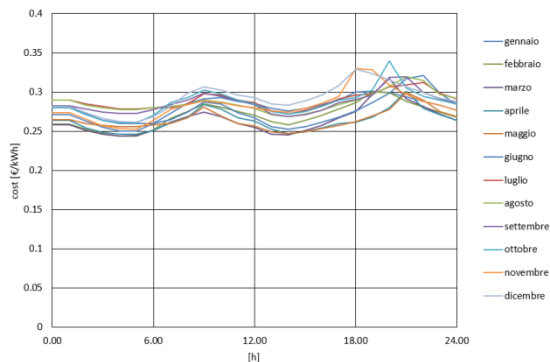
Piattaforma numerica per progettazione ottimale di infrastrutture di ricarica multisorgente



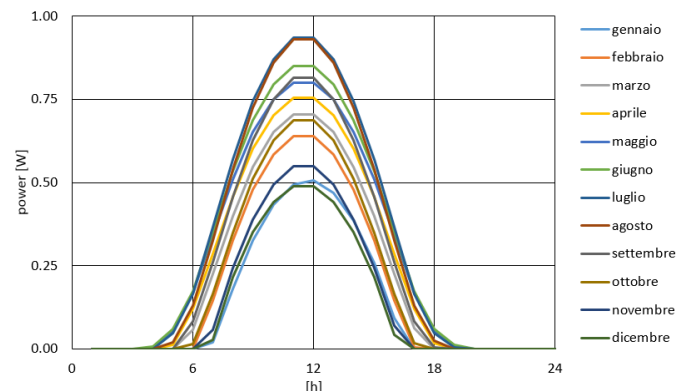
Analisi numerica

La piattaforma numerica è stata utilizzata per la progettazione del **convertitore modulare multi-sorgente per un'infrastruttura di ricarica multi-standard con una potenza nominale pari a 110 kW**.

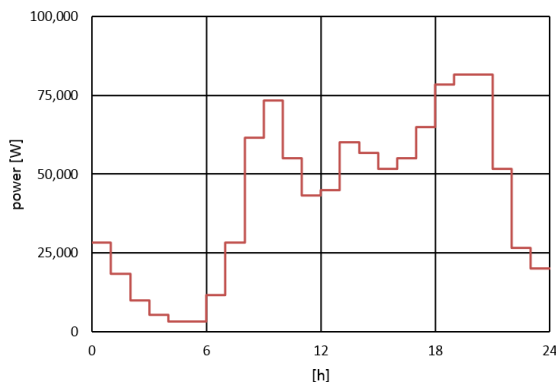
Dati di ingresso



Costo orario medio mensile dell'energia elettrica



Producibilità oraria media mensile del generatore fotovoltaico



Profilo orario medio mensile della potenza di carico

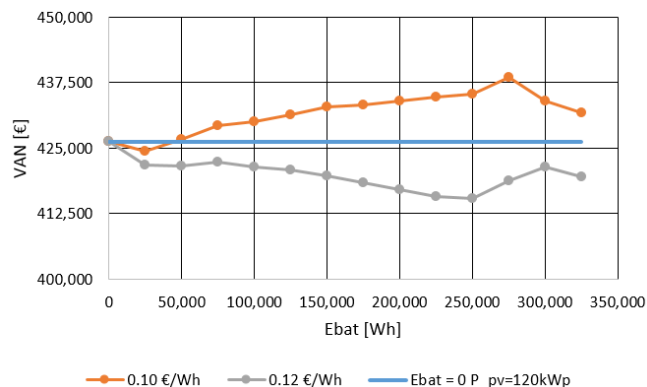
| | | |
|------------------------------------------------------|-----------------------------------------|--------|
| Costo di investimento di una unità di conversione | $C_{conv} = N_r (0.054 P_{ramo} + 530)$ | [€/W] |
| Costo di investimento dell'impianto fotovoltaico | $C_{pv} = (1.95 P_{pv} + 4568.7)$ | [€/Wp] |
| Costo di investimento del trasformatore 20kV, 120kVA | $C_{trafo} = 3718.7$ | [€] |

Costi di investimento

| Tecnologia | Costo [€/Wh] | Efficienza [%] |
|--------------|--------------|----------------|
| Piombo-acido | 0.12 | 50% - 92% |
| Litio-ione | 0.56 | 80% - 90% |

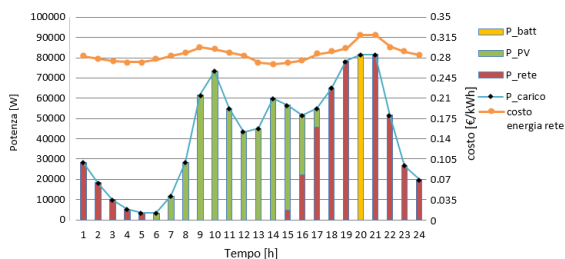
Caratteristiche delle tecnologie di batterie

Piattaforma numerica per progettazione ottimale di infrastrutture di ricarica multisorgente : risultati

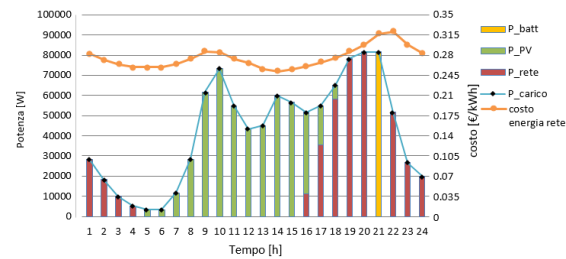


L'utilizzo del sistema di accumulo consente, tranne nel caso della taglia pari a 25 kWh, di ottenere dei valori di VAN maggiori rispetto alla soluzione con solo impianto fotovoltaico (120 kWp) solo se è ipotizzata una riduzione del costo di batteria al Piombo-acido pari al 16%. **Il punto di ottimo è caratterizzato da un impianto fotovoltaico di 120 kWp ed un sistema di accumulo da 275 kWh.**

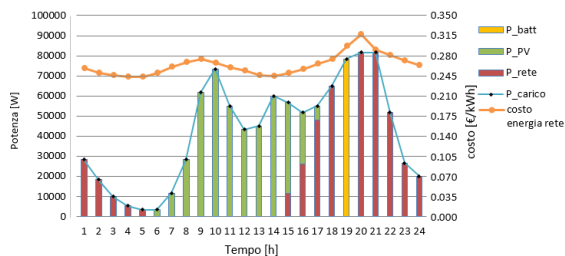
La soluzione proposta consente di ridurre l'impatto dell'infrastruttura di ricarica in termini di potenza ed energia sulla rete.



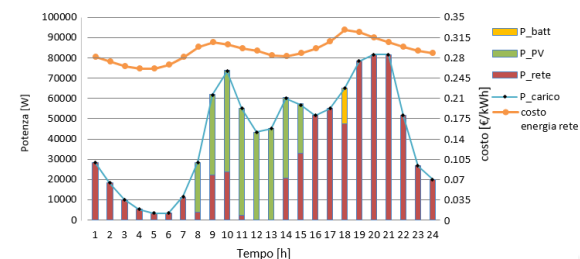
Marzo



Giugno



Settembre



Dicembre



- Prove in laboratorio con impianto pilota di taglia ridotta
- Prove in campo con impianto da 50 kW
- Integrazione dei due livelli per ridurre i tempi di elaborazione



- Realizzazione stazione di ricarica multisorgente c/o Casaccia

Grazie per l'attenzione



antonino.genovese@enea.it