



ENERGY MANAGEMENT SYSTEM per la gestione dell'edificio

Mauro Belardi, Daniele Manerba

Dip. Ingegneria dell'Informazione (DII) - Università degli studi di Brescia



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI BRESCIA



a2a



LU-VE®



CPL CONCORDIA
Group

eclipse
ITALIA



CEL general
contractor

SIEL
ENERGY & SAFETY

COSTER

it@aldata

THYTRONIC

gfmnet
ICTconsultants

Università degli Studi di Brescia (UNIBS):

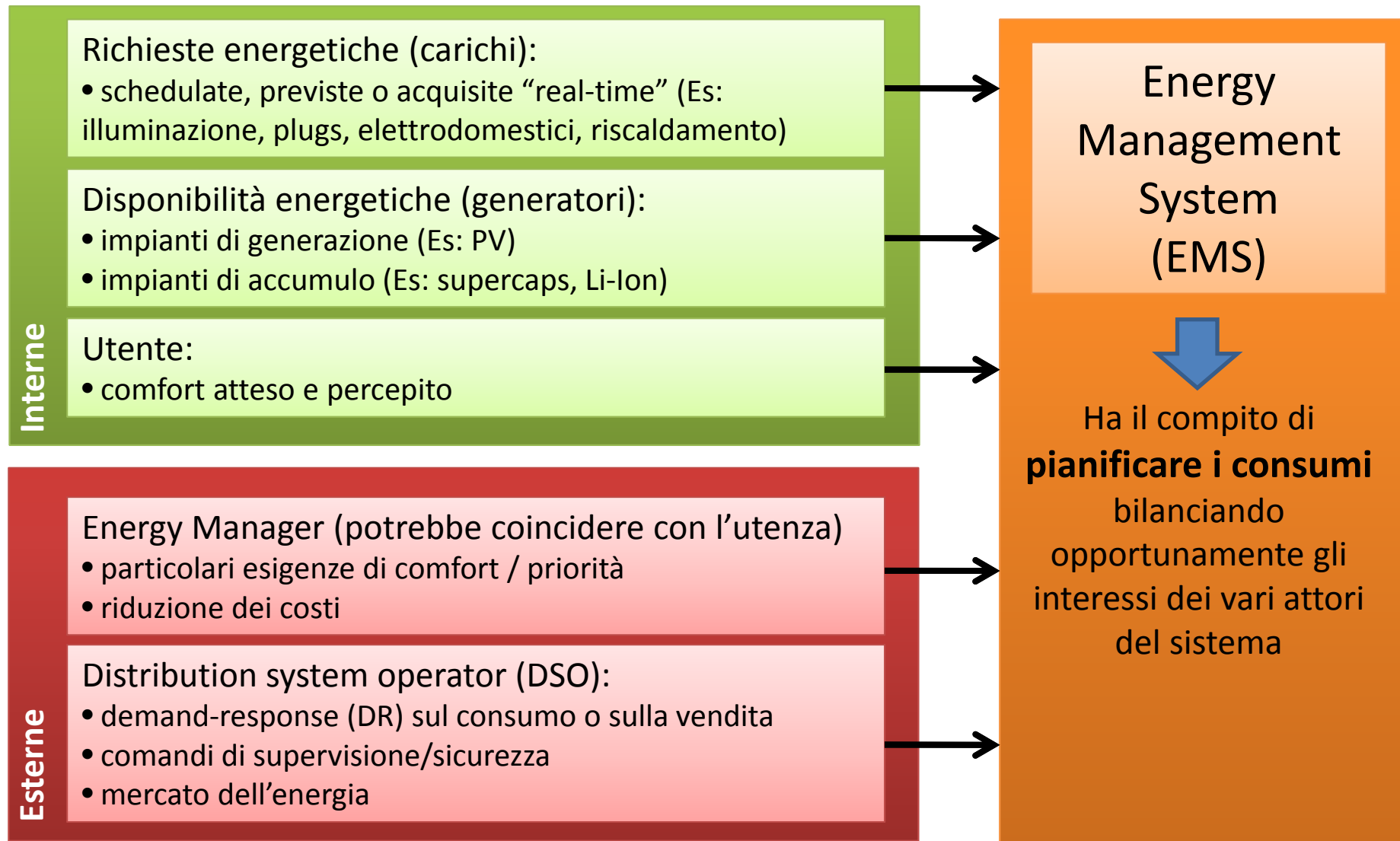
Prof. Renata Mansini, PhD Daniele Manerba, Prof. Devis Bianchini, Ing. Mauro Belardi, PhD Marco Pasetti, PhD Stefano Rinaldi, PhD Nicola Bianchessi

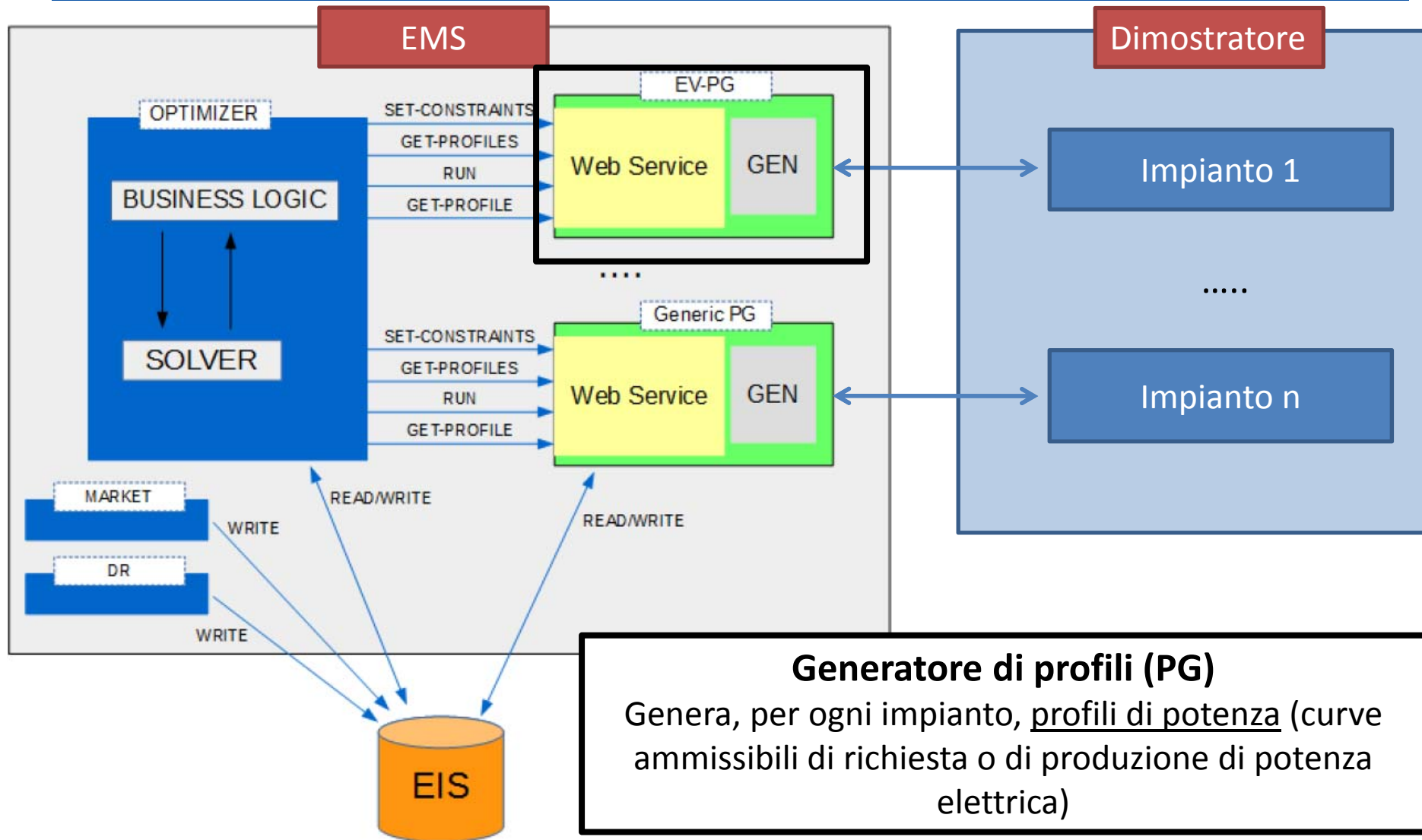
Politecnico di Milano (POLIMI):

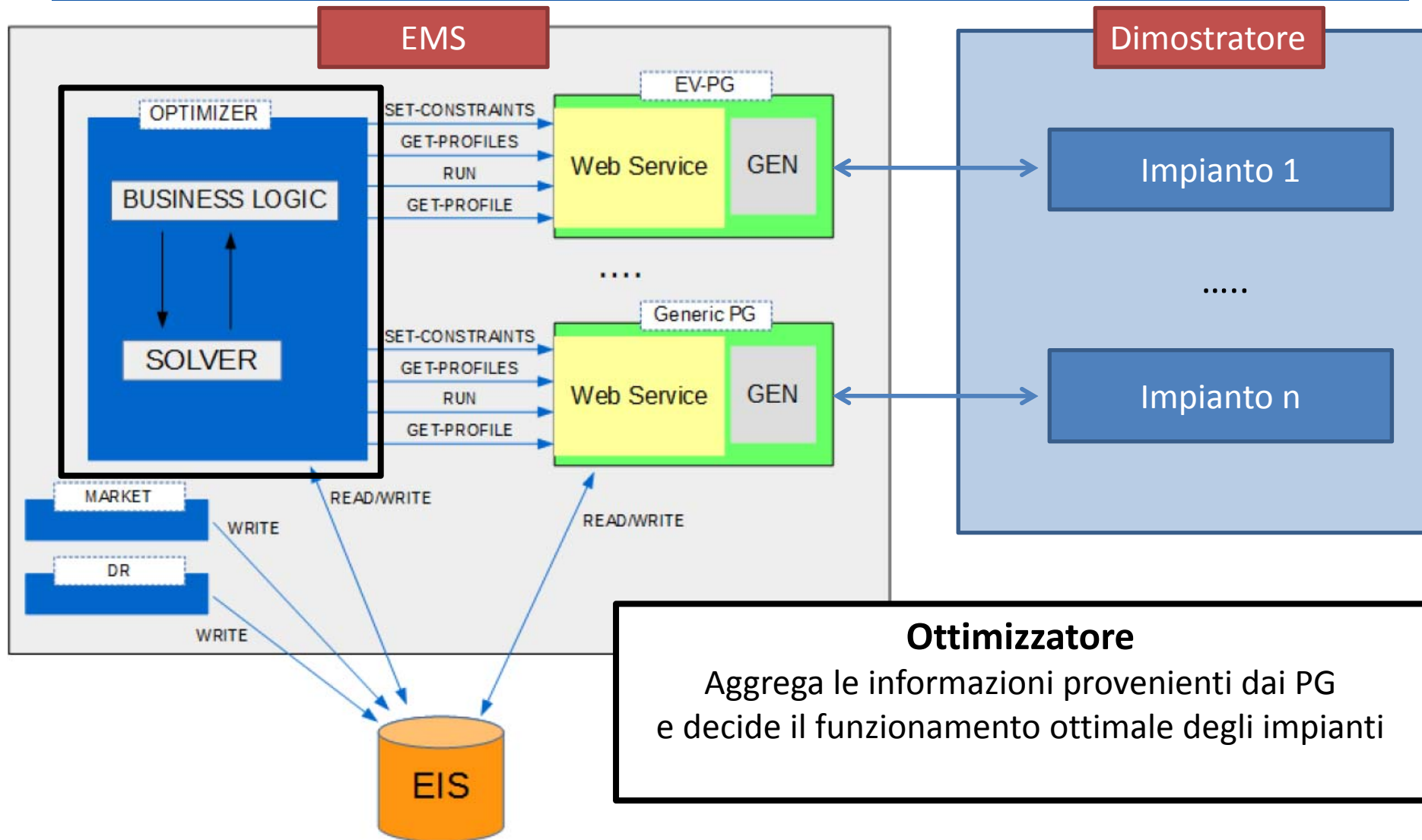
Prof. Maurizio Delfanti, Prof. Giacomo Verticale, PhD Antimo Barbato, Prof. Cristiana Bolchini, PhD Angela Geronazzo, Ing. Alessandro Pitì, Ing. Andrei Palamarciuc

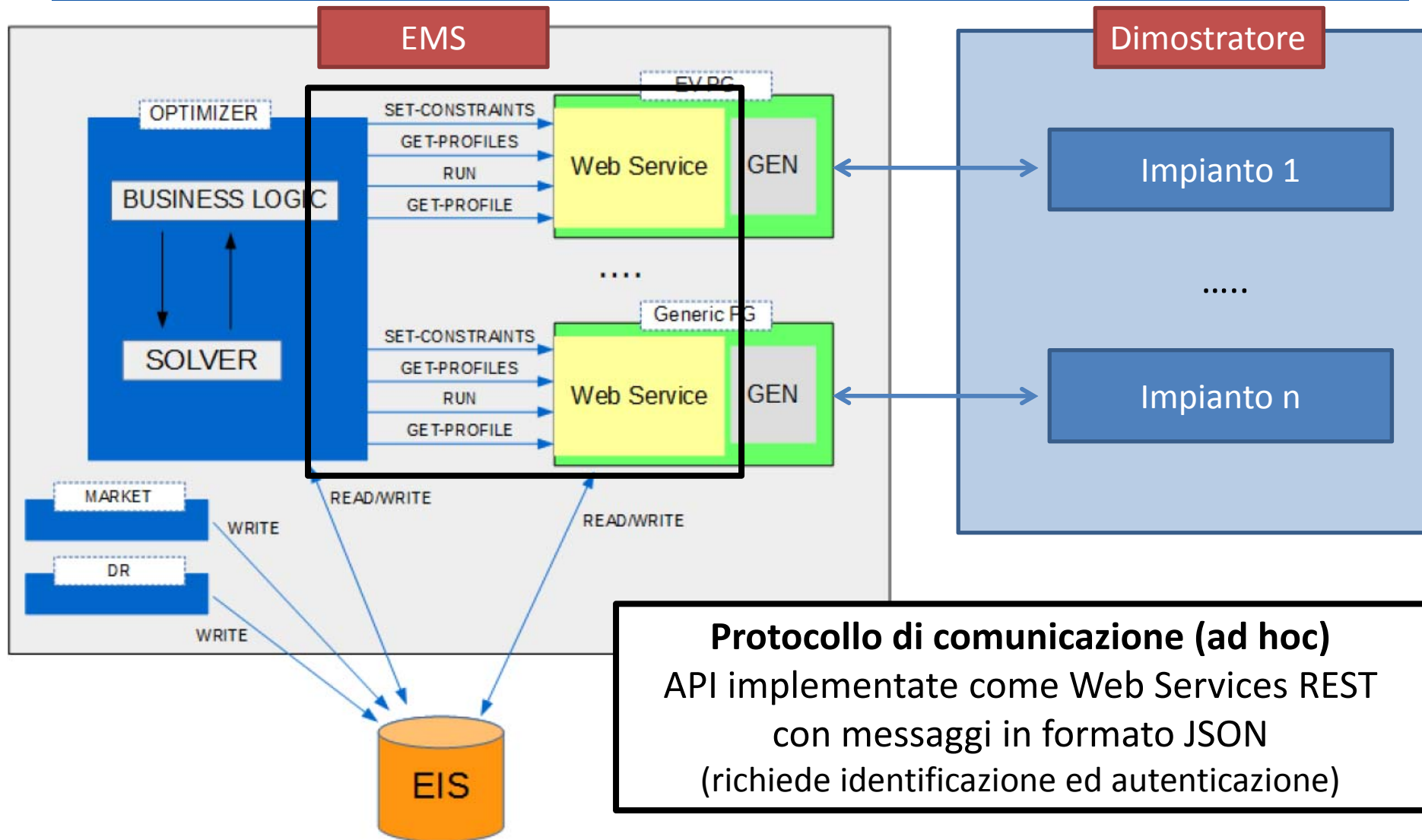
Un sentito ringraziamento a:

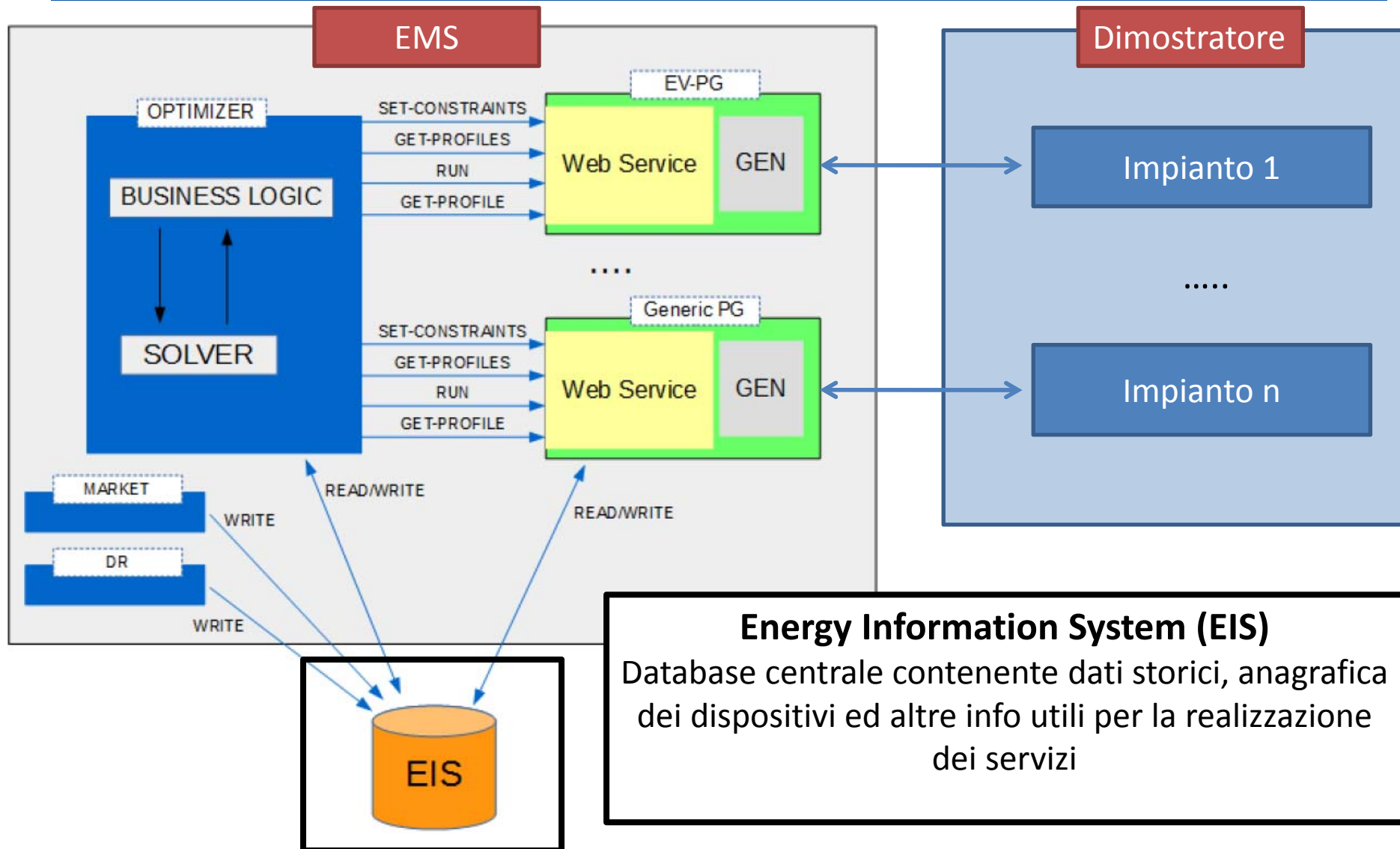
Giovanni Accetta, Valeria De Antonellis, Alessio Dedè, Stefano Perotto, Mauro Robba, Davide Della Giustina, Alessandra Flammini, Eleonora Fratesi, Giampaolo Manzolini, Marco Mariani, Giovanni Massa, Valeria Olivieri, Roberto Pellegrini, Massimo Trioni, Giulio Vivacqua, Simone Zanoni

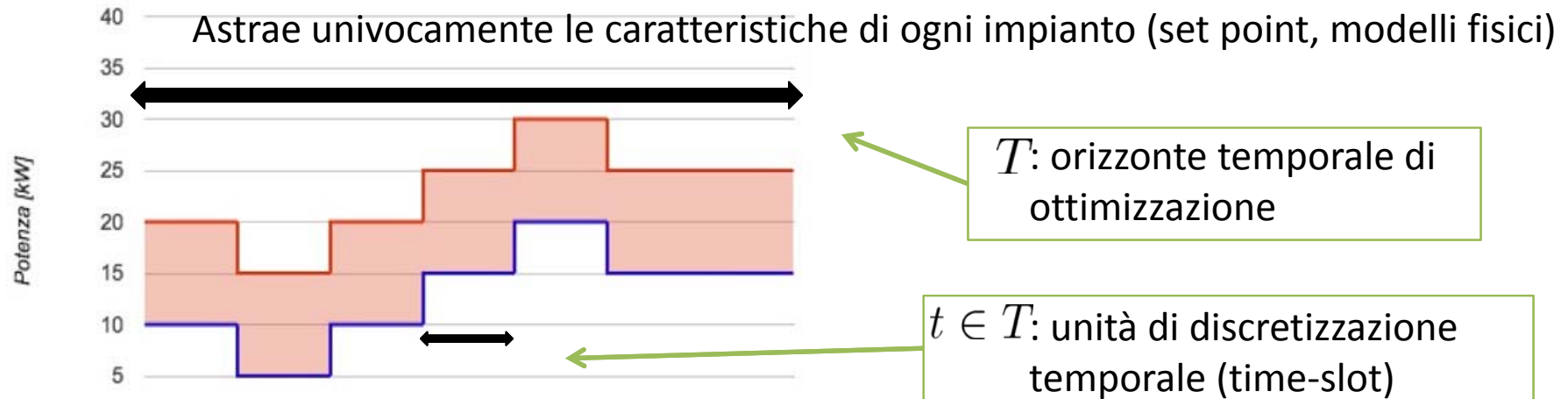








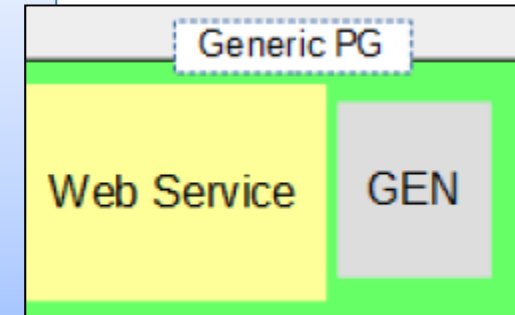




- P_l : insieme dei profili ammissibili per ogni impianto di carico $l \in L$
dove per ogni profilo $p \in P_l$:
 - q_{lp}^t : potenza richiesta per time-slot
 - F_{lp} : costi fissi non elettrici
 - c_{lp}^t : comfort per time-slot
- P_g : insieme dei profili ammissibili per ogni impianto di generazione $g \in G$
dove per ogni profilo $p \in P_g$:
 - q_{gp}^t : potenza messa a disposizione per time-slot
 - F_{gp} : costi fissi non elettrici

Incapsula:

- la conoscenza dei dettagli fisici di ogni impianto
- i modelli che lo descrivono
- le procedure di generazione dei profili



Genera, per ogni impianto, il set di profili di potenza ammissibili:

- elaborando dati storici
- facendo previsioni di consumo/produzione
- utilizzando dati di contesto
- applicando possibili diverse policy

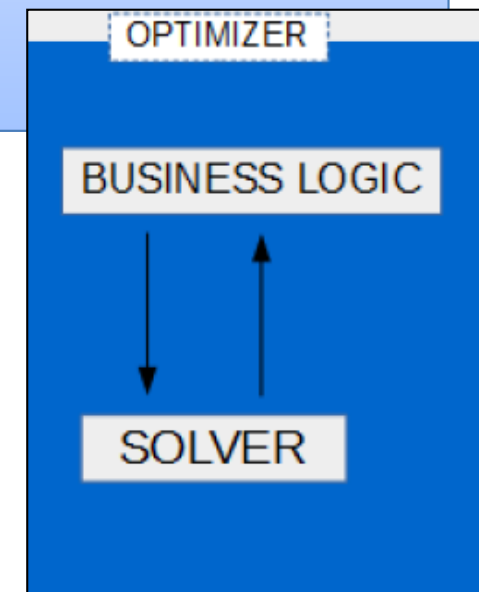
Per l'attuazione, mantiene una corrispondenza fra ogni profilo e le sequenze di controllo dei set point d'impianto

La **Business Logic** ciclicamente (anche a diverse frequenze):

1. comunica le condizioni comuni di calcolo (orizzonte e durata timeslot)
2. chiede ai PG i profili di potenza aggiornati di ogni impianto (polling)
3. imposta alcuni parametri sulla risoluzione
4. invoca il **Solver** che, entro un tempo stabilito, determina l'insieme dei profili di potenza (uno per impianto) che dovranno essere attuati
5. comunica ad ogni PG di impianto il nuovo profilo di funzionamento, permettendogli di attuarlo

Il **Solver** implementa e risolve un modello:

- di Programmazione Matematica vincolata
- volto all'ottimizzazione delle risorse
- guidato da diverse cifre di merito (multi-obiettivo)



Minimizzazione dei costi energetici

- Costi proporzionali al consumo
 - Costi fissi (non elettrici) legati al particolare profilo/impianto
- al netto di:
- Ricavi proporzionali alla vendita di energia
 - Incentivi (fissi/proporzionali) legati ai particolari impianti



• Sfruttamento economico delle Demand-Response

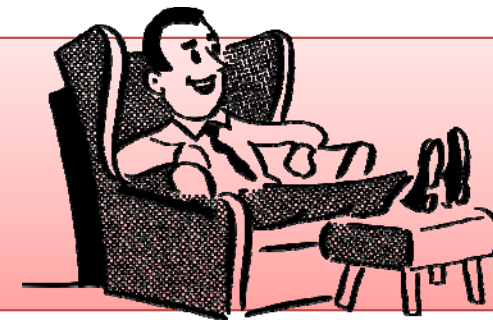
Massimizzazione degli incentivi a fronte del completo soddisfacimento di una DR



Adeguamento di consumi/vendite alle limitazioni imposte per un certo arco temporale

Massimizzazione del comfort utente

- Relativo al particolare profilo/impianto
- Guidato secondo le “priorità” dell’utente stesso



Ammissibilità della soluzione per gli impianti: un solo profilo in funzione

$$\sum_{p \in P_l} y_{lp} = 1 \quad l \in L$$

$$y_{lp} \in \{0, 1\} \quad l \in L, p \in P_l$$

$$\sum_{p \in P_g} y_{gp} = 1 \quad g \in G$$

$$y_{gp} \in \{0, 1\} \quad g \in G, p \in P_g$$

Bilancio energetico: $E^t - V^t = C^t - I^t \quad t \in T$

dove per ogni $t \in T$:

$$C^t = \sum_{l \in L} \sum_{p \in P_l} q_{lp}^t y_{lp}$$

$$I^t = \sum_{g \in G} \sum_{p \in P_g} q_{gp}^t y_{gp}$$

$$E^t \leq \lambda_E^t E_{max}^t$$

$$V^t \leq \lambda_V^t V_{max}^t$$

$$\lambda_E^t + \lambda_V^t \leq 1$$

$$E^t, V^t \geq 0$$

$$\lambda_E^t, \lambda_V^t \in \{0, 1\}$$

Potenza acquistata (E) e ceduta (V)

Potenza richiesta (C) e generata (I)



$D = DV_{max} \cup DV_{min} \cup DE_{max} \cup DE_{min}$: insieme delle DR (**4 tipi di limitazioni**)

Per ogni $d \in D$:

- $T^d \subset T$: time-slot nei quali è attiva la DR
- qXX^{dt} : potenza massima/minima cedibile/acquistabile

$$E^t \leq qDE_{max}^{dt} w^{dt} + E_{max}^t (1 - w^{dt}) \quad d \in DE_{max}, t \in T^d$$

$$E^t \geq qDE_{min}^{dt} w^{dt} \quad d \in DE_{min}, t \in T^d$$

$$V^t \leq qDV_{max}^{dt} w^{dt} + V_{max}^t (1 - w^{dt}) \quad d \in DV_{max}, t \in T^d$$

$$V^t \geq qDV_{min}^{dt} w^{dt} \quad d \in DV_{min}, t \in T^d$$

$$\sum_{t \in T^d} w^{dt} \geq z^d |T^d| \quad d \in D$$

$$w^{dt} \in \{0, 1\} \quad d \in D, t \in T^d$$

$$z^d \in \{0, 1\} \quad d \in D$$

DR rispettata in un certo time-slot

DR rispettata nella sua totalità

$$\min \left[\alpha_1 \left(\sum_{t \in T} f^t E^t - \sum_{t \in T} v^t V^t + \sum_{l \in L} \sum_{p \in P_l} F_{lp} y_{lp} + \sum_{g \in G} \sum_{p \in P_g} F_{gp} y_{gp} - \sum_{t \in T} \sum_{g \in G} \sum_{p \in P_g} a_g q_{gp}^t y_{gp} \right) - \alpha_2 \sum_{d \in D} z^d B^d \right] + \left[-\beta \sum_{t \in T} \sum_{l \in L} \sum_{p \in P_l} \gamma_l^t c_{lp}^t y_{lp} \right]$$

Minimizzazione costi vs Massimizzazione comfort

Combinazione pesata!

- Acquisto e vendita energia
- Costi non elettrici
- Incentivi di generazione
- Incentivi di soddisfacimento DR

Il peso delle richieste dal DSO può essere controllato!

- Contributo di ogni impianto al comfort generale

L'importanza/priorità di ogni impianto può essere controllata!

Modello risultante: **Programmazione Lineare Mista Intera (MILP)**

Linearità: garantita da incapsulamento e discretizzazione

Interezza necessaria per:

- modellare le condizioni logiche
- linearizzare funzioni non lineari (piecewise convex)

Complessità teorica:
NP-hard!

Complessità in pratica è TRATTABILE grazie a:

- *core structure* del modello semplice
- efficienti algoritmi general-purpose per MILP
- efficienti procedure speciali (preprocessing, euristiche) per il modello in questione
- potenza di calcolo disponibile

Il modello è risolto **all'ottimo** tramite un algoritmo Branch&Cut implementato grazie al solver IBM ILog Cplex
(se il tempo non è sufficiente, viene presentata una soluzione sub-ottima ma ammissibile)

- **Efficiente:** migliora i benefici globali ottenibili con il solo controllo, grazie alla pianificazione
- **Generale:** non richiede la customizzazione a fronte di nuovi dimostratori, impianti, utenti
- **Flessibile:** consente l'aggiunta "Plug&Play" di impianti (purché conoscano l'interfaccia di comunicazione)
- **Indipendente** dalle implementazioni impiantistiche, dalle tecnologie e dai controllori on-board
- **Scalabile:** grazie all'ottimizzazione efficiente
- **Versatile:** grazie alla forte possibilità di parametrizzazione del modello
- **Resiliente:** in caso di guasto (di sistema, di rete) gli impianti funzionano lo stesso in modalità standard

Grazie per l'attenzione!