



Università degli Studi di Napoli Federico II

SCUOLA POLITECNICA E DELLE SCIENZE DI BASE

Dipartimento di Ingegneria Industriale



SEMINARIO TECNICO

INCENTIVI E SOLUZIONI TECNOLOGICHE PER PROMUOVERE LA COMPETITIVITÀ E LA SOSTENIBILITÀ DELLE IMPRESE DELL'AUTORITÀ' DI SISTEMA PORTUALE DEL MAR TIRRENO CENTRALE (NAPOLI, SALERNO E CASTELLAMMARE DI STABIA)



Napoli, giovedì 26 gennaio 2023



Sala Melillo - 1° piano ; Sede Autorità Portuale di Napoli, piazzale Pisacane (int. Porto Napoli)

Il porto di Napoli: un nuovo hub energetico sostenibile

Ing. Giovanni Francesco Giuzio

Prof. Ing. Adolfo Palombo

P.le V. Tecchio 80 – 80125 Napoli

Tel.: 0817682299, 3397798040

adolfo.palombo@unina.it

Nuovo approccio per studi di fattibilità e progettazione

Target:

- supporto alla progettazione di sistemi energeticamente efficienti e sostenibili
- ottimizzazione multi-obiettivo (minimo payback, massimo risparmio, minimo peso, etc.)

Strumenti: modellazione e simulazione dinamica delle prestazioni energetiche, economiche e d'impatto ambientale del sistema di riferimento e di differenti scenari d'intervento. BIM (Building Information Modelling). Ottimizzazione del sistema.

Applicazioni:

- grandi sistemi di trasporto (ad es. navi nuove o da rewampare: sistemi sostenibili ed efficienti)
- e relative infrastrutture (ad es. porti: verso moderni hub energetici)

Vantaggi conseguibili con tale approccio:

- flessibilità: è possibile modificare agilmente il progetto in corso d'opera
- possibilità di riprodurre fedelmente le condizioni di progetto e d'esercizio del sistema
- possibilità di indagare in simultanea differenti layout
- rapidità di analisi
- affidabilità dei risultati
- bassi costi



La nuova stazione marittima del Molo Beverello

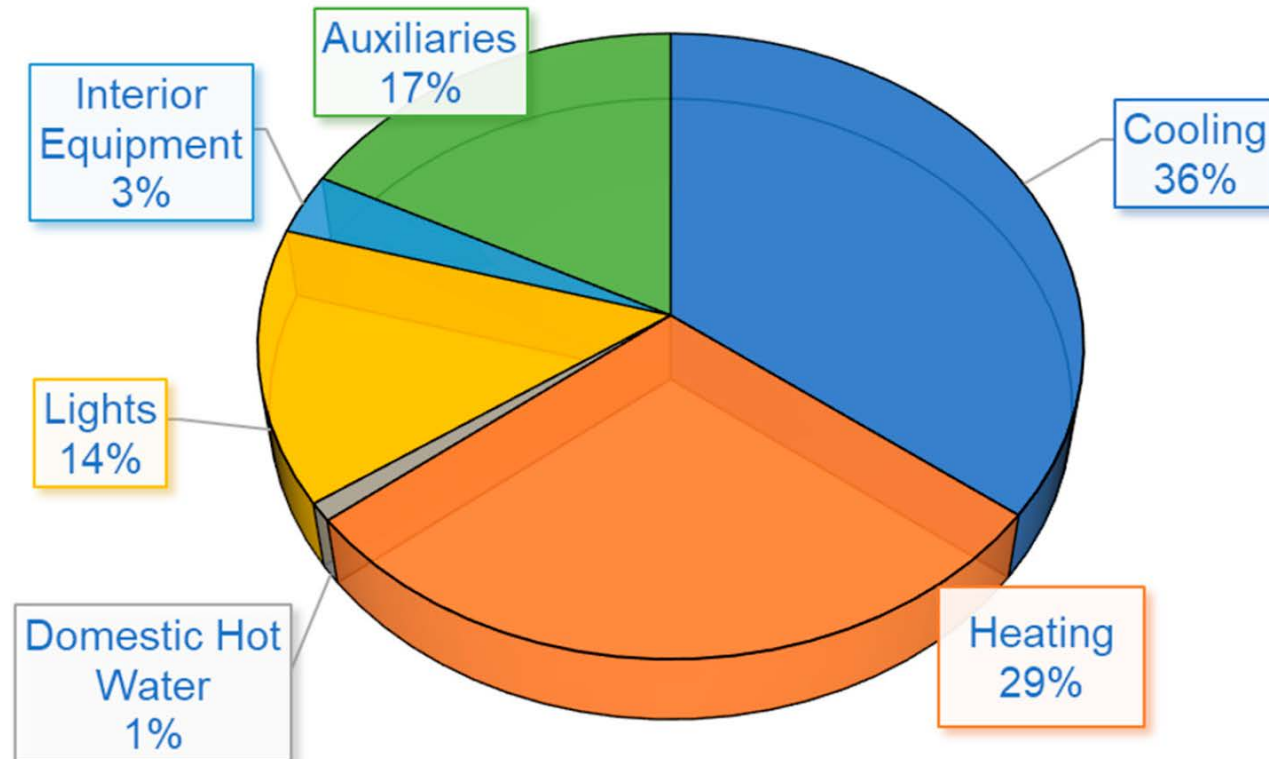


Nuova stazione marittima Molo Beverello



Analisi delle possibili soluzioni progettuali e costruttive per incrementare l'efficienza energetica del sistema:
attraverso la modellazione e simulazione dinamica del sistema edificio-impianto

Nuova stazione marittima Molo Beverello

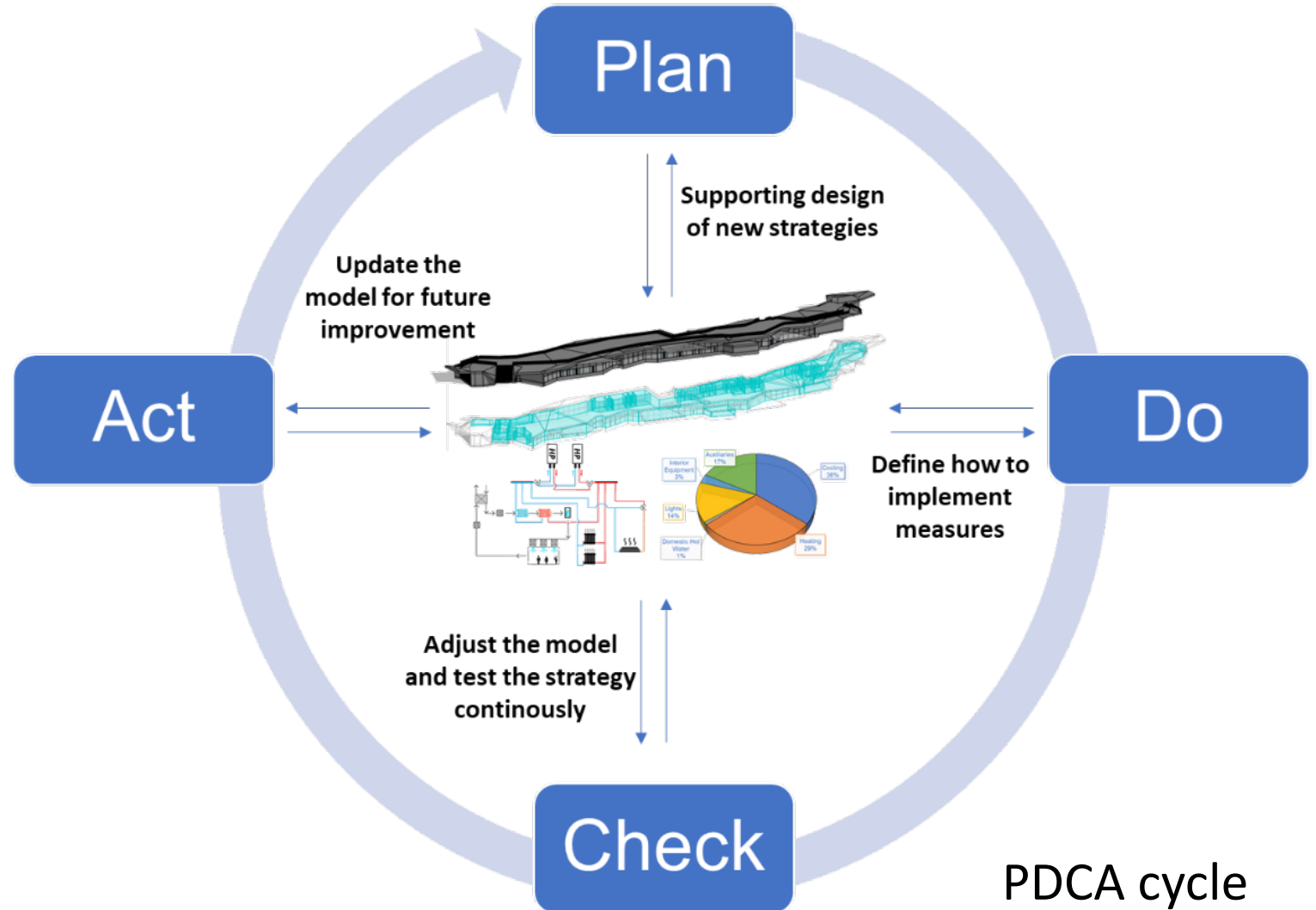


La maggior aliquota di consumo energetico è per la climatizzazione ambientale: 65%

Nuova stazione marittima Molo Beverello

Proposte migliorative rispetto al progetto approvato

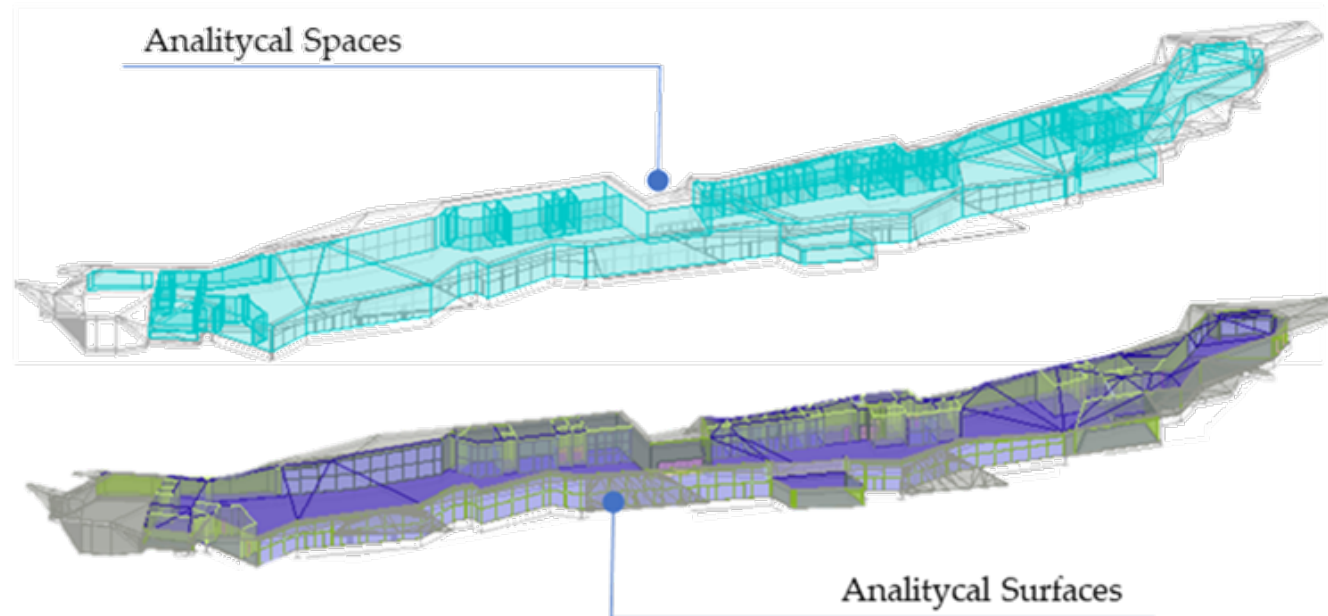
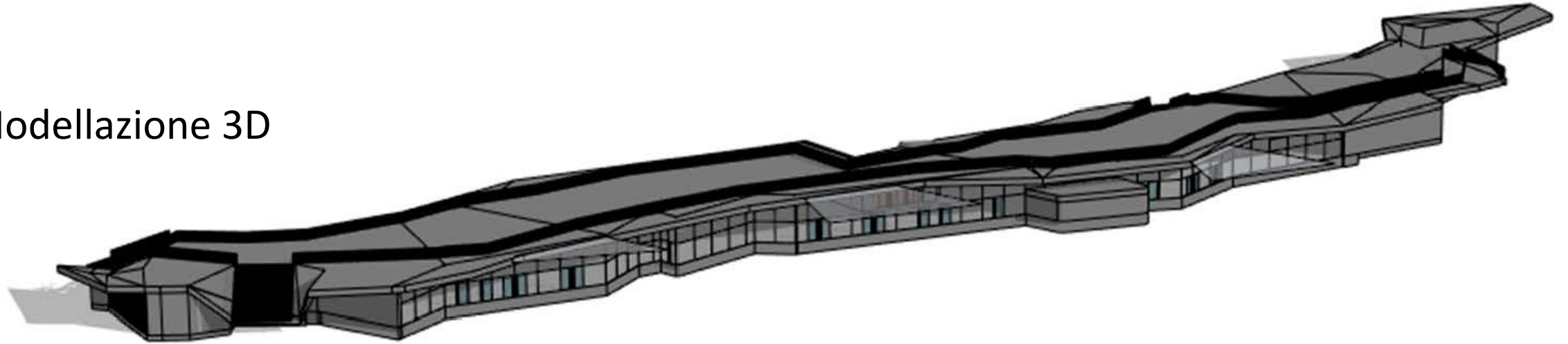
- Chiller/pompe di calore con scambio termico ad acqua di mare
- Recupero di calore dal desurriscaldamento dei chiller
- Vetrate speciali con PV integrato
- Schermi solari con PV integrato



PDCA cycle

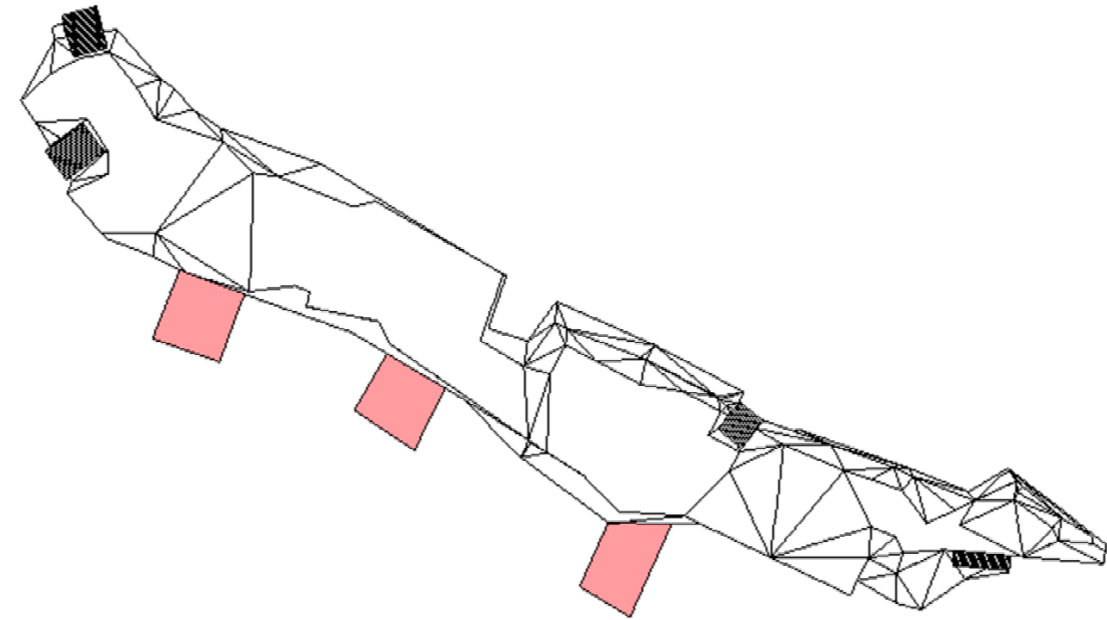
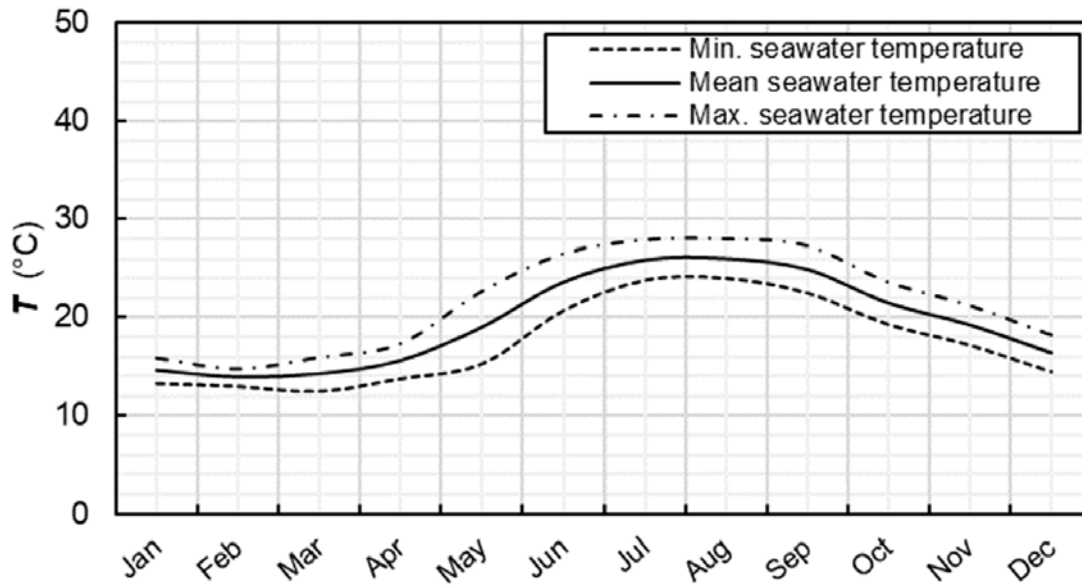
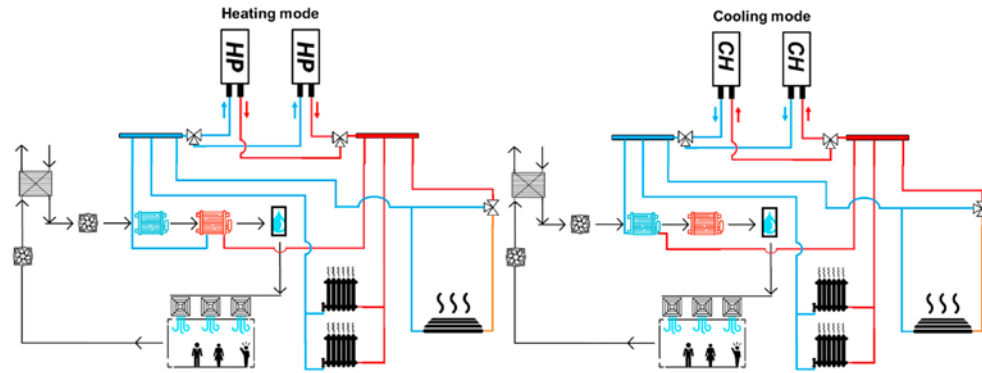
Nuova stazione marittima Molo Beverello

Modellazione 3D



Nuova stazione marittima Molo Beverello

Modellazione dell'impianto di climatizzazione



Produzione elettrica da PV

Nuova stazione marittima Molo Beverello

	PE	Δ	CO ₂ Emission	PES	SPB	NPV	PI
	[MWh/y]	[k€/y]	[t/y]	[%]	[y]	[k€]	[-]
Sistema di riferimento	215	-	43.1	-	-	-	-
Chiller/pompe di calore ad acqua di mare	159 (-26 %)	5.2	25.2	41.6	7.6	25.1	0.6
Recupero di calore dal desurriscaldamento	202	1.3	38.7	10.2	1.6	13.9	7.0
Vetrare Low-T con PV	162	4.9	32.4	24.7	7.6	27.9	0.6
Vetrare Medium-T con PV	168	4.3	33.6	24.3	9.0	17.5	0.4
Sistemi ombreggianti con PV	128 (-40 %)	8.1	25.5	40.7	9.8	25	0.3

Possibile adozione delle tecnologie investigate ad altri edifici all'interno del porto, quali:

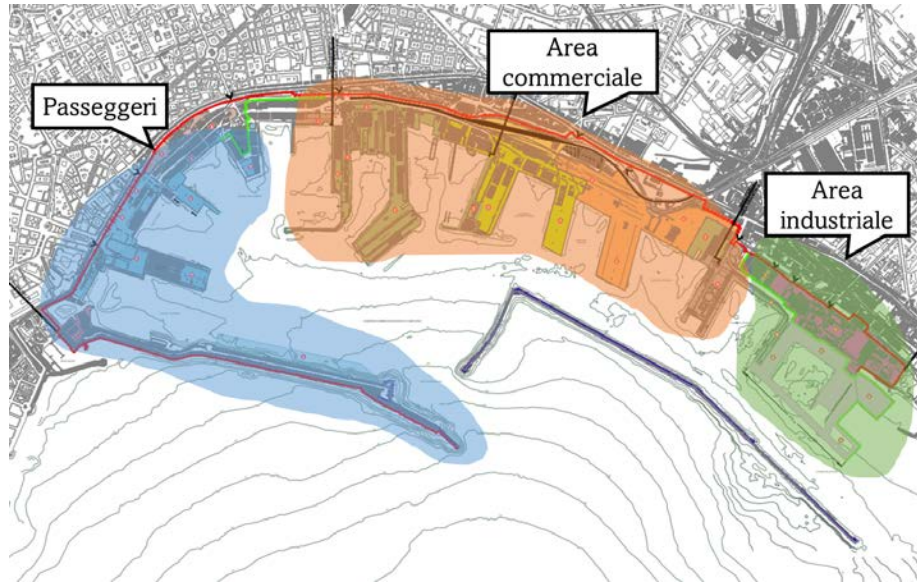
- **Stazione marittima Molo Angioino**
- **Edifici per uffici**
- **Magazzini**
- **Altri edifici**



Il porto di Napoli: un HUB energetico basato sulle fonti rinnovabili



Porto di Napoli: un HUB energetico basato sulle fonti rinnovabili



UtENZE
potenziale comunità energetica

Fonti energetiche

Rinnovabili

Biomasse per trigenerazione

Solare fotovoltaico

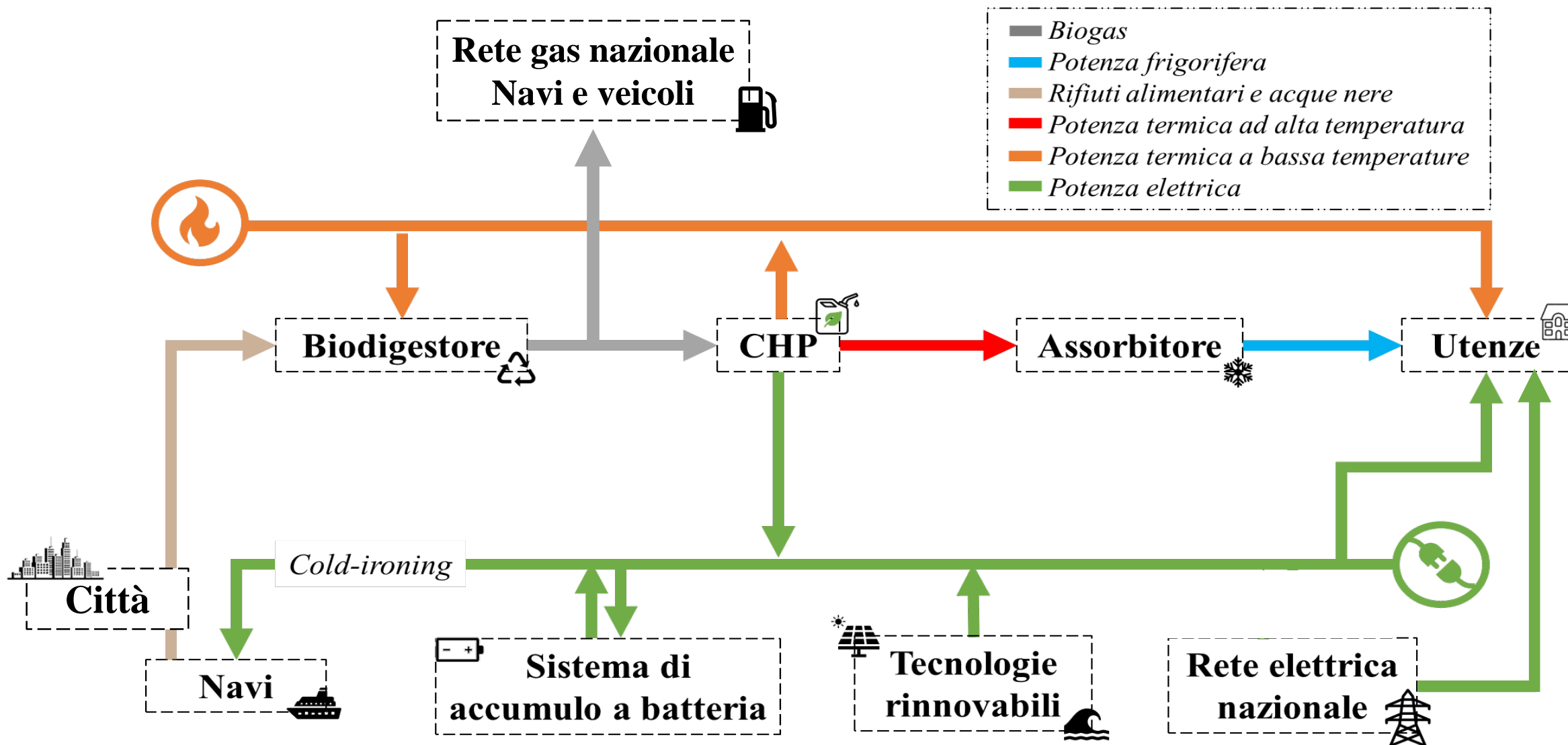
Moto ondoso

Altre fonti rinnovabili (in futuro)

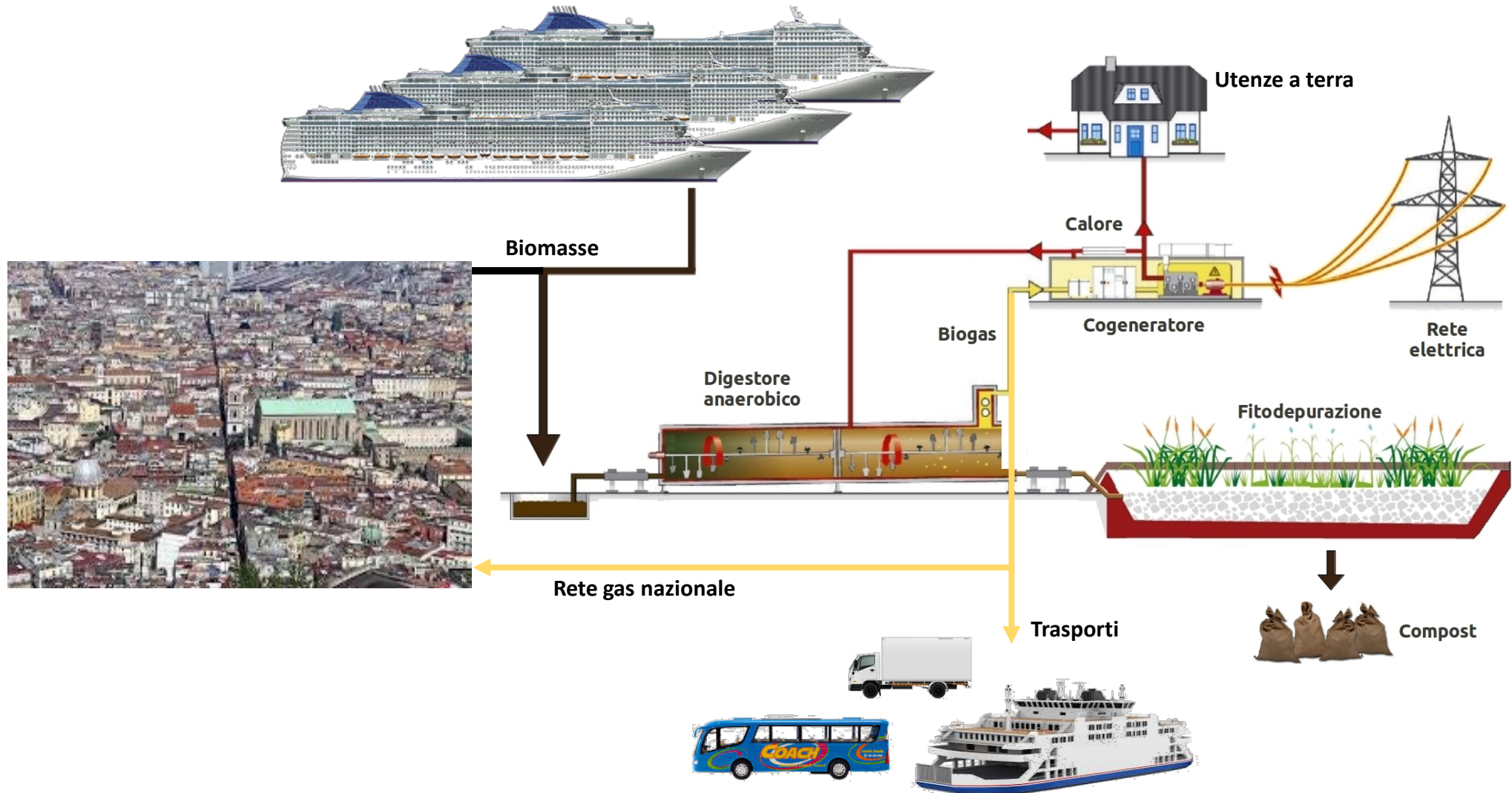
Gas naturale di rete (integrazione)

Energia elettrica di rete (integrazione)

Modellazione dell'HUB energetico basato su fonti rinnovabili



Biodigestore anaerobico e impianto di trigenerazione



Carichi elettrici delle navi e delle utenze portuali terrestri

Navi da crociera

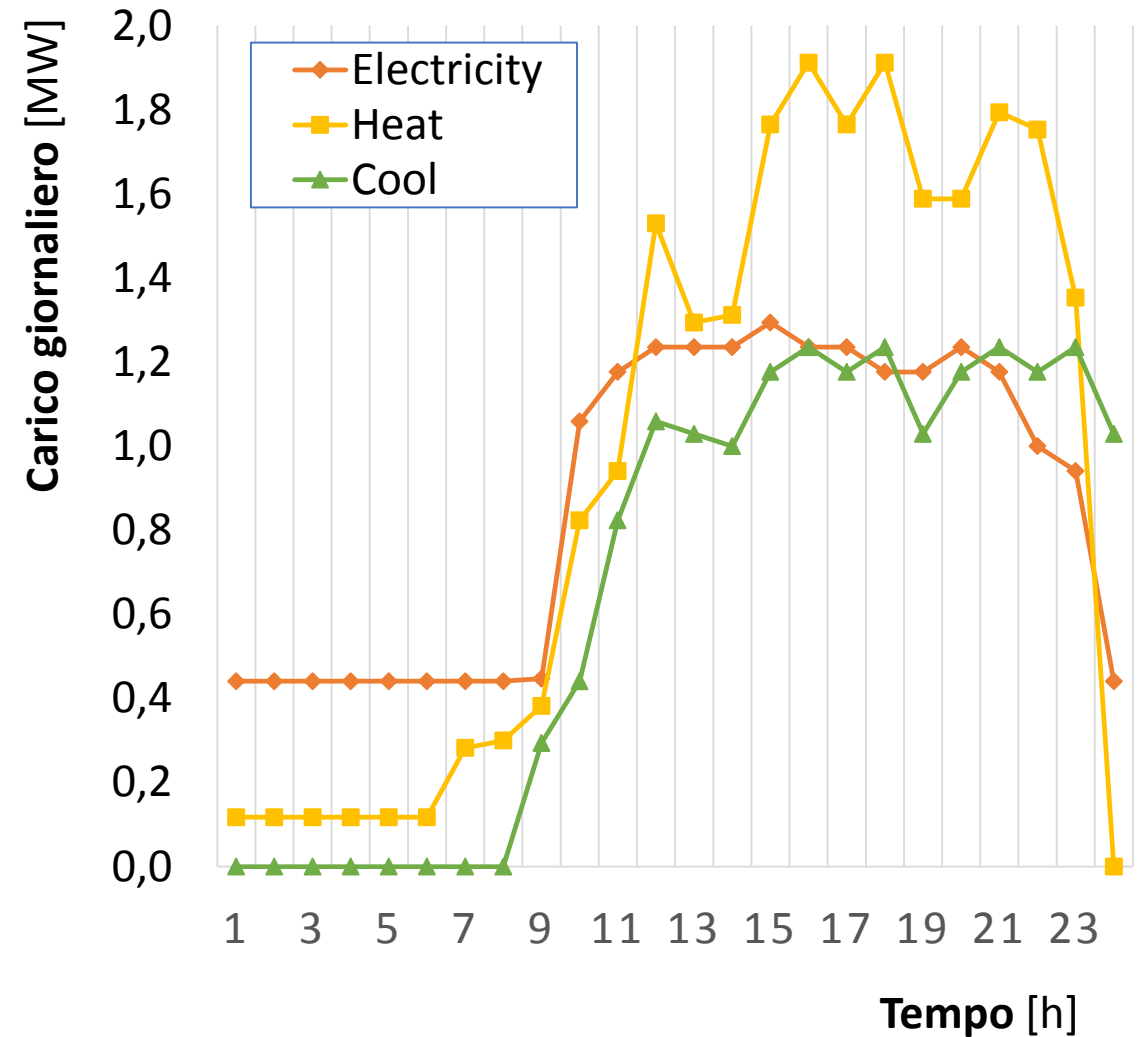
Carico elettrico medio [MW]

Tipo	Invernale	Mezza stagione	Estivo
1	12.6	12.6	12.6
2	12.9	12.9	12.9
3	0.9	9.7	9.6
4	4.2	4.6	4.9
5	4.6	5.5	6.5
6	4.5	4.7	4.9
7	8.1	9.0	9.8
8	10.2	10.3	10.4
9	5.2	5.9	6.7
10	8.4	9.8	11.2
11	6.7	6.9	7.2

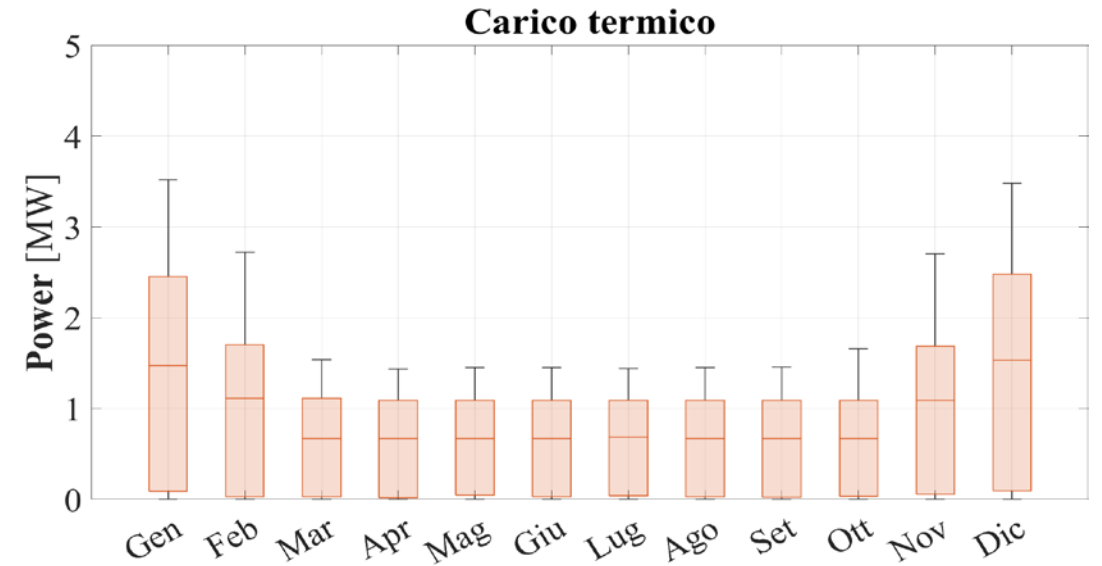
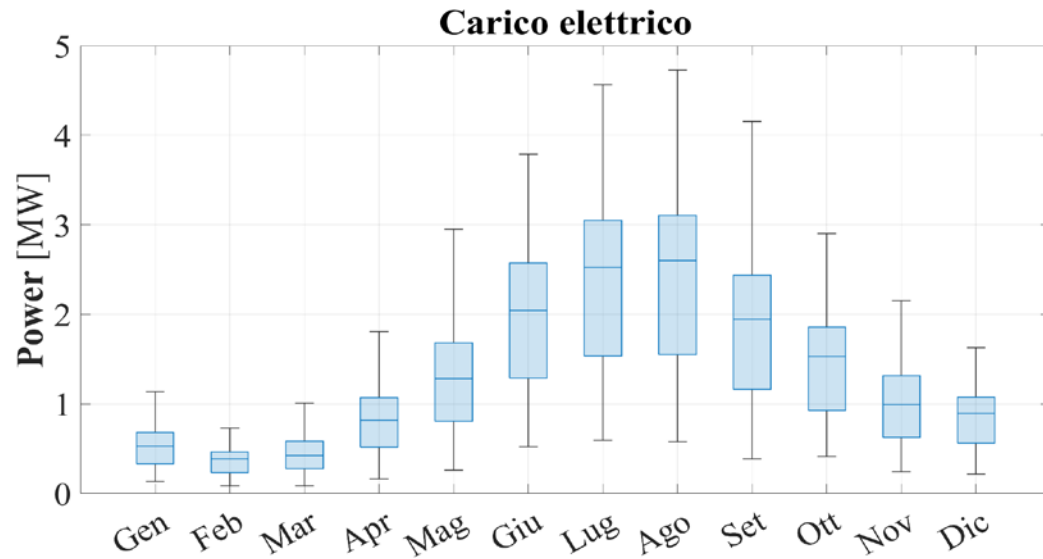
Carico elettrico medio [MW]

Ro-Ro e traghetti	0.8
Navi container	1.2

Utenze terrestri (giorno tipo)

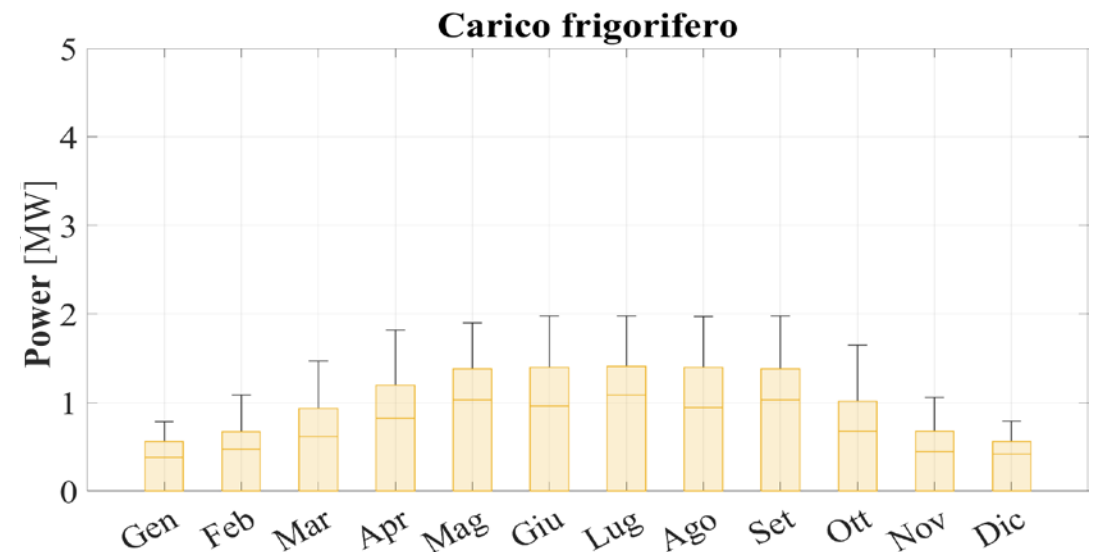


Carichi elettrici, termici e frigoriferi delle utenze portuali terrestri

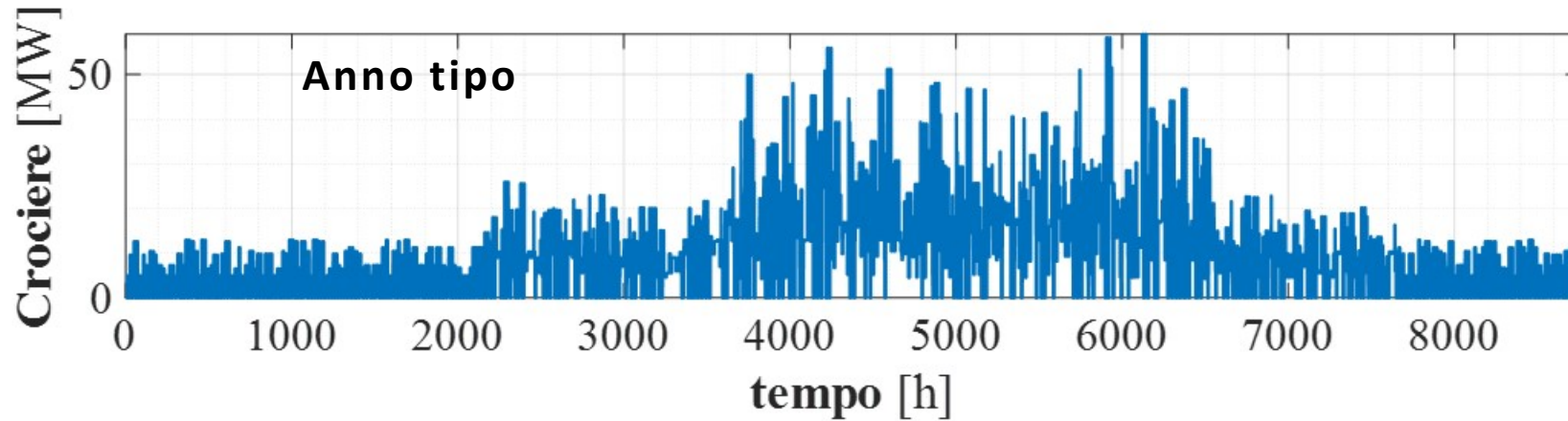


UTENZE a terra [MW]

	Carico elettrico	Carico termico	Carico frigorifero
Max	4.7	3.5	1.9
Media	1.3	0.8	0.6

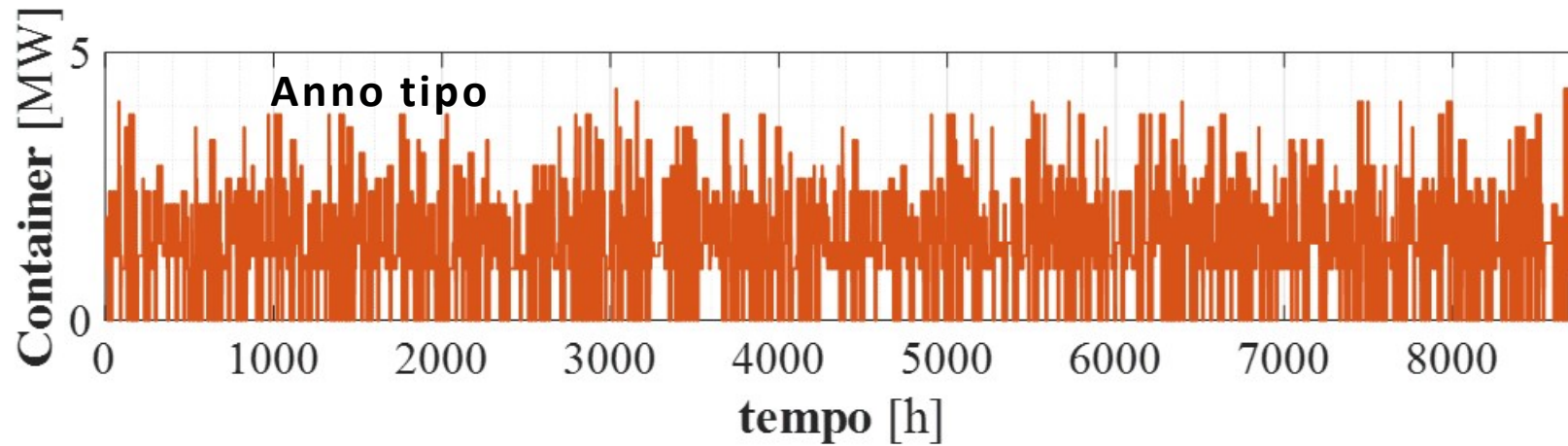


Carichi elettrici delle navi



Max	59.0 MW
-----	----------------

Media	10.3 MW
-------	----------------



Max	4.3 MW
-----	---------------

Media	1.5 MW
-------	---------------

Fonti energetiche rinnovabili: biomasse

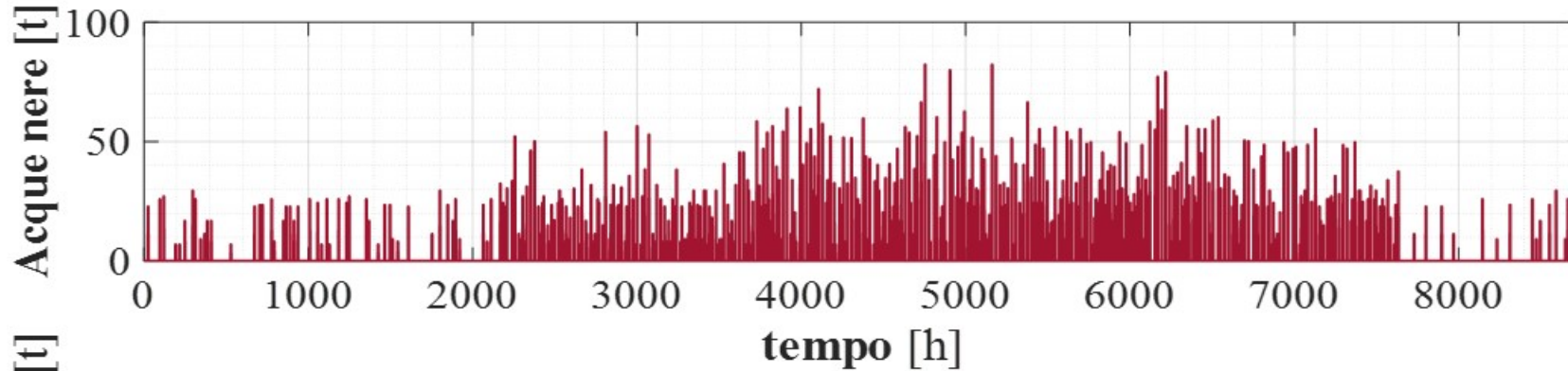
Producibilità a bordo

Scarti alimentari

3.5 kg/(p·g)

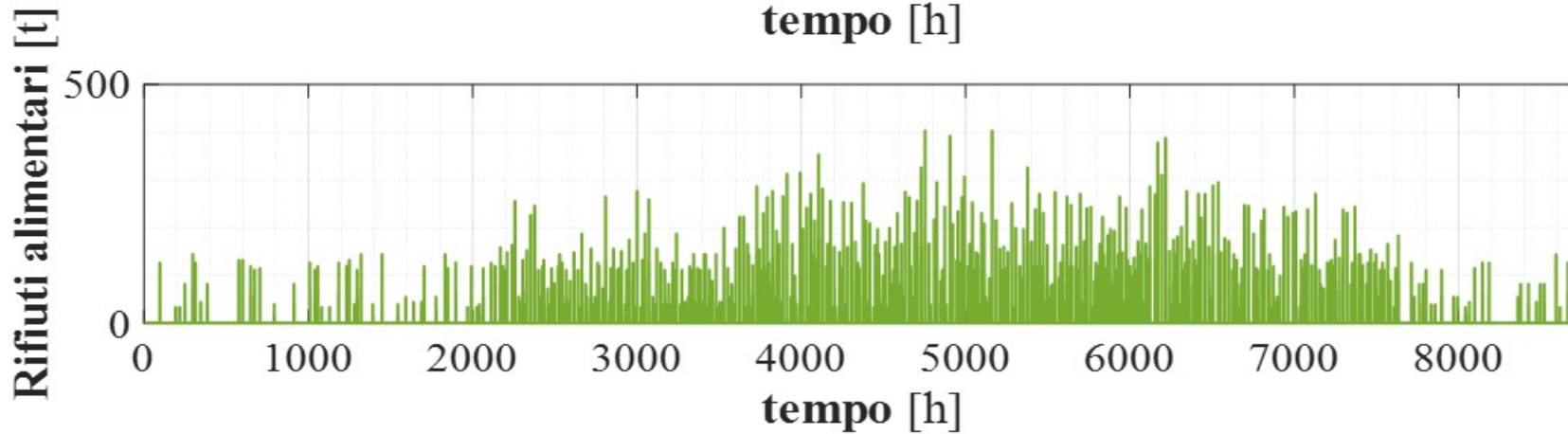
Acque nere

25 m³/h



Max **85.9 t**

Media **1.3 t**



Max **421.2 t**

Media **6.7 t**

Acque nere **12 kt/anno**

Rifiuti alimentari **59 kt/anno**

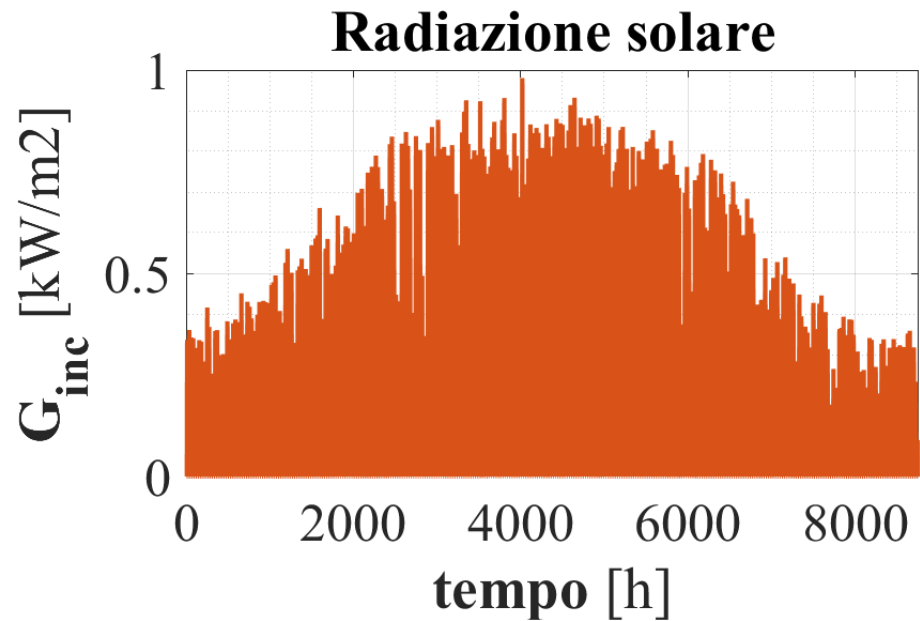
Biodigestore anaerobico e impianto di trigenerazione

INPUT		CONVERSIONE		OUTPUT	
Biogas					
Scarti alimentari dalle navi in transito	59.0 kt/y	Resa in biogas [Nm ³ /t di s.v.]	650-800	Biogas [Nm ³ /y]	16.6·10 ⁶
				Potenza combustibile [MW]	11.0
				En. elettrica [GWh/y]	35.6
				En. termica [GWh/y]	35.6
Acque nere dalle navi in transito (dry)	8.7 kt/y	Resa in biogas [Nm ³ /t di s.v.]	300-330	Biogas [Nm ³ /y]	3.2·10 ⁶
				Potenza combustibile [MW]	2.7
				En. elettrica [GWh/y]	8.7
				En. termica [GWh/y]	8.7

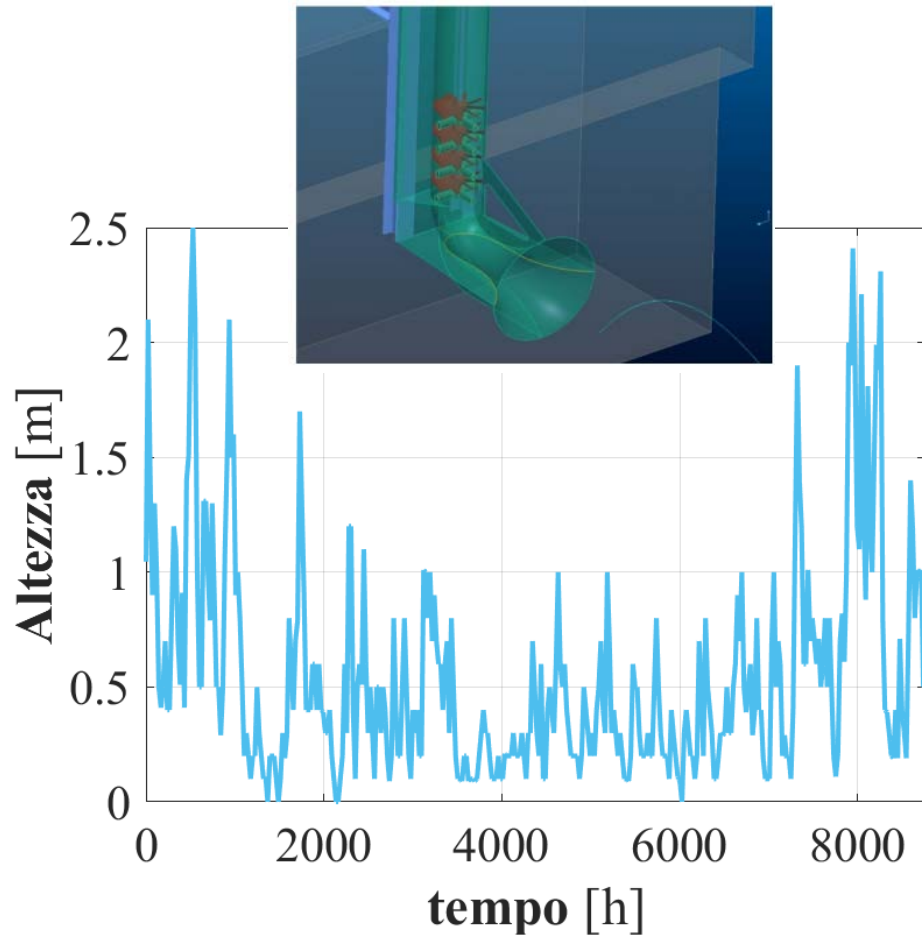
FORSU 10% eventualmente in futuro	6.4 kt/y	Resa in biogas [Nm ³ /t di s.v.]	300-450	Biogas [Nm ³ /y]	1.5·10 ⁶
				Potenza combustibile [MW]	1.0
				En. elettrica [GWh/y]	3.2
				En. termica [GWh/y]	3.2

Fonti energetiche rinnovabili: fotovoltaico

Totale area a disposizione: **3.2 km²**



Fonti energetiche rinnovabili: moto ondoso



Fonti energetiche rinnovabili

BIOMASSE	ρ_{sewage}	721	[kg/m ³]
	ρ_{fw}	290	[kg/m ³]
	$\text{PCI}_{\text{BIOGAS}}$	10.4	[kWh/kg]
	ρ_{biogas}	0.75	[kg/m ³]
COGENERATORE	$Q_{\text{HT}}/P_{\text{CHP}}$	0.3	[-]
	$Q_{\text{LT}}/P_{\text{CHP}}$	0.2	[-]
ASSORBITORE (monostadio)	T_{IN}	75.0	[°C]
	ΔT	10.0	[°C]
	COP	Variabile	[-]
FOTOVOLTAICO	P_{modulo}	315	[W _p]
	A_{modulo}	1.6	[m ²]
ENERGIA DAL MARE	η_{turbine}	0.8	[-]
	L_{impianto}	1.0	[km]
BATTERIE	SOC_{iniz}	0.5	[-]

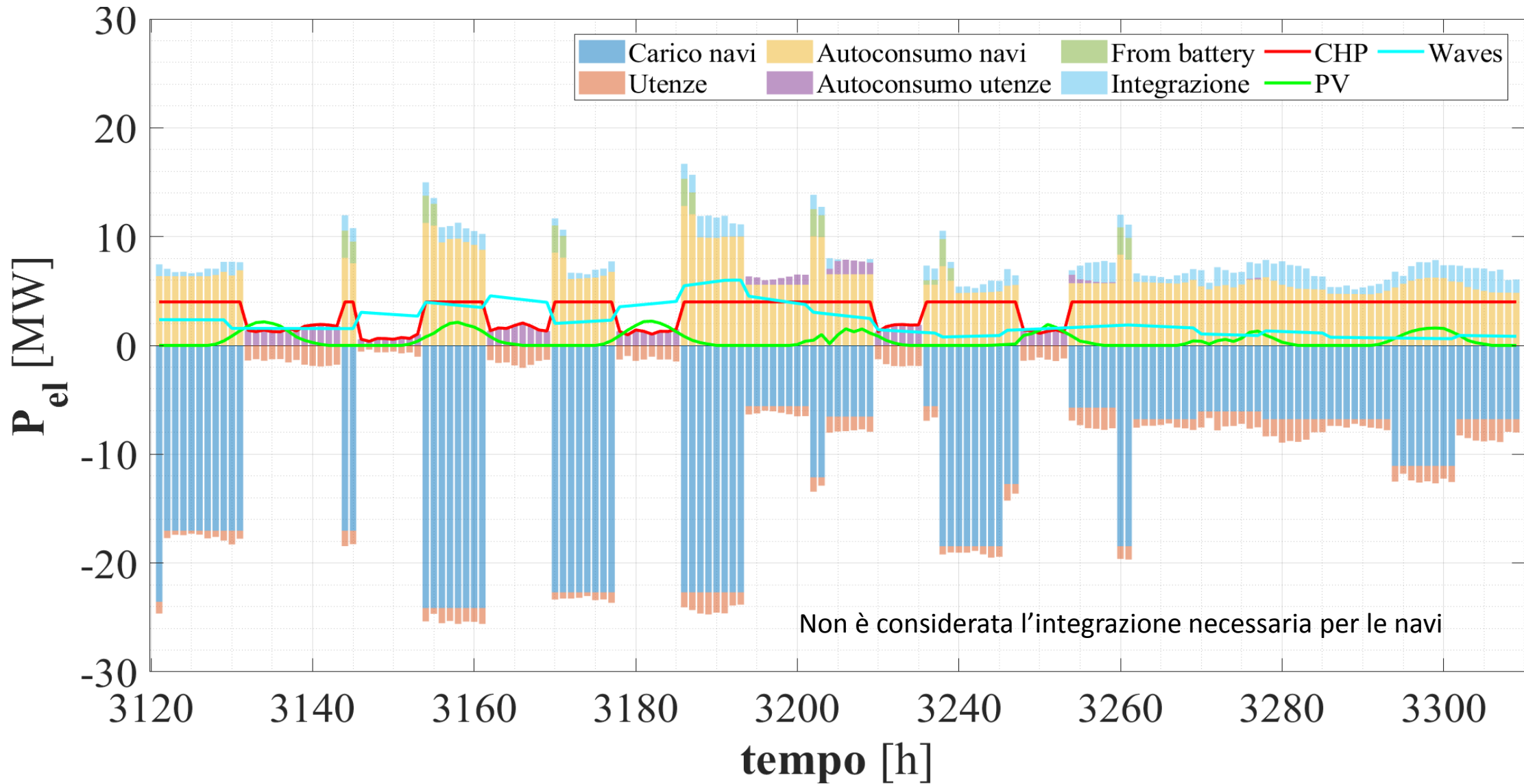
Taglie (iniziali)

P_{CHP}	4.0 MW
P_{ASS}	0.7 MW
P_{PV}	5.0 MW _p
P_{WAVES}	6.0 MW _p
S_{BATT}	5.0 MWh

Costi di investimento

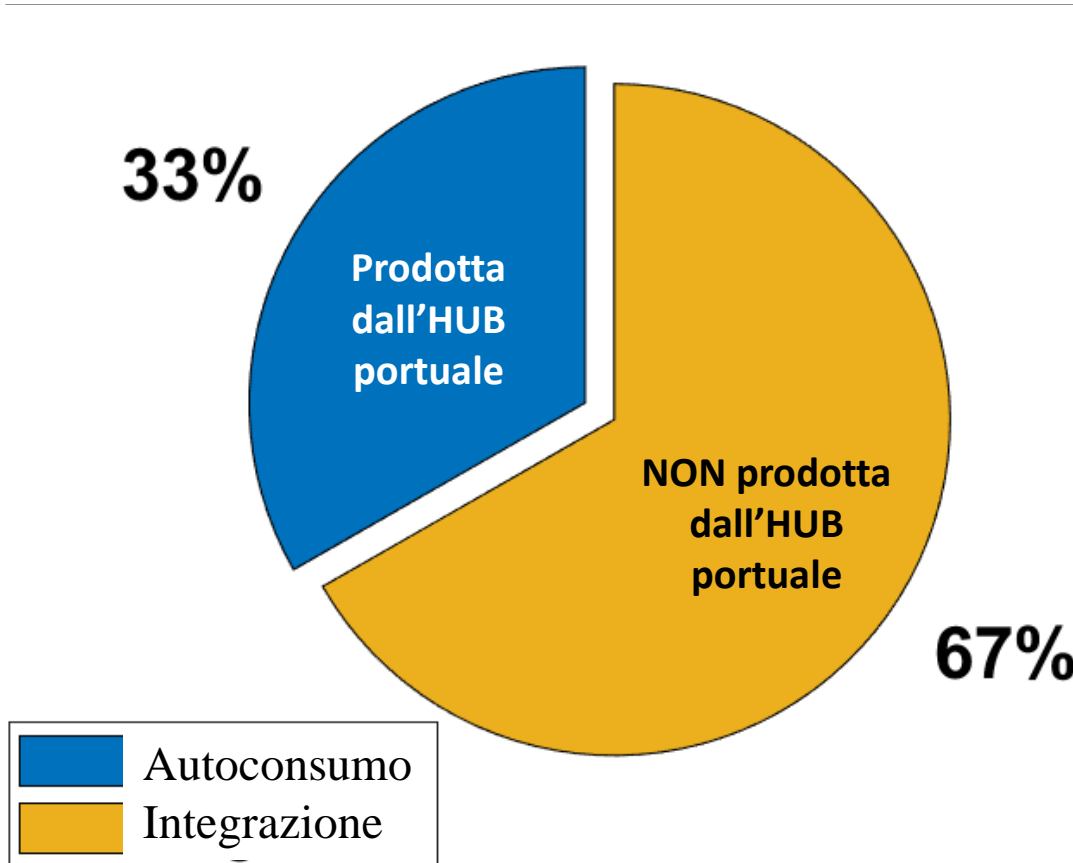
$C_{\text{u,CHP}}$	1.04 k€/kW
$C_{\text{u,ASS}}$	0.22 k€/kW _f
$C_{\text{u,PV}}$	1.0 k€/kW
$C_{\text{u,INV}}$	0.20 k€/kW _{PV}
$C_{\text{u,WAVES}}$	1.25 k€/kW
$C_{\text{u,BATT}}$	0.35 k€/kWh

Produzione/acquisto e utilizzo dell'energia elettrica nel porto

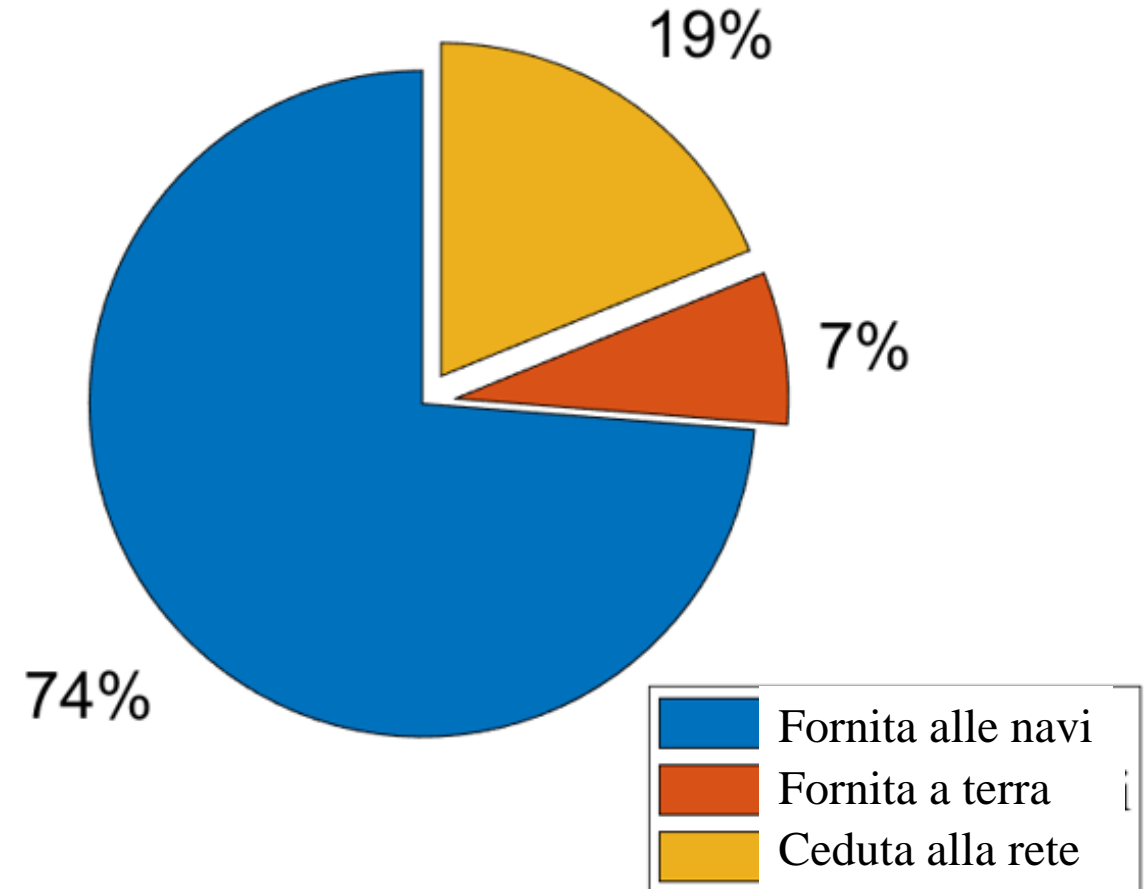


Energia elettrica

Produzione/acquisto sulle navi

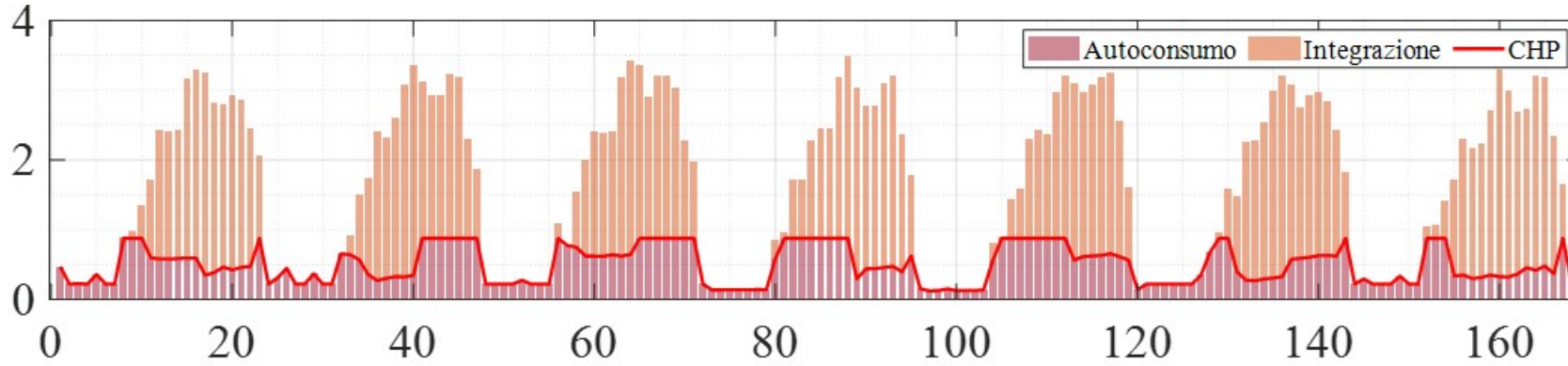


Ripartizione della produzione dell'HUB

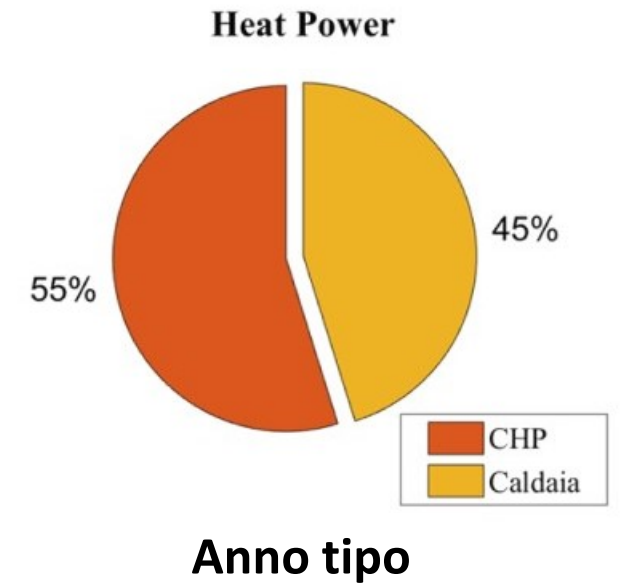
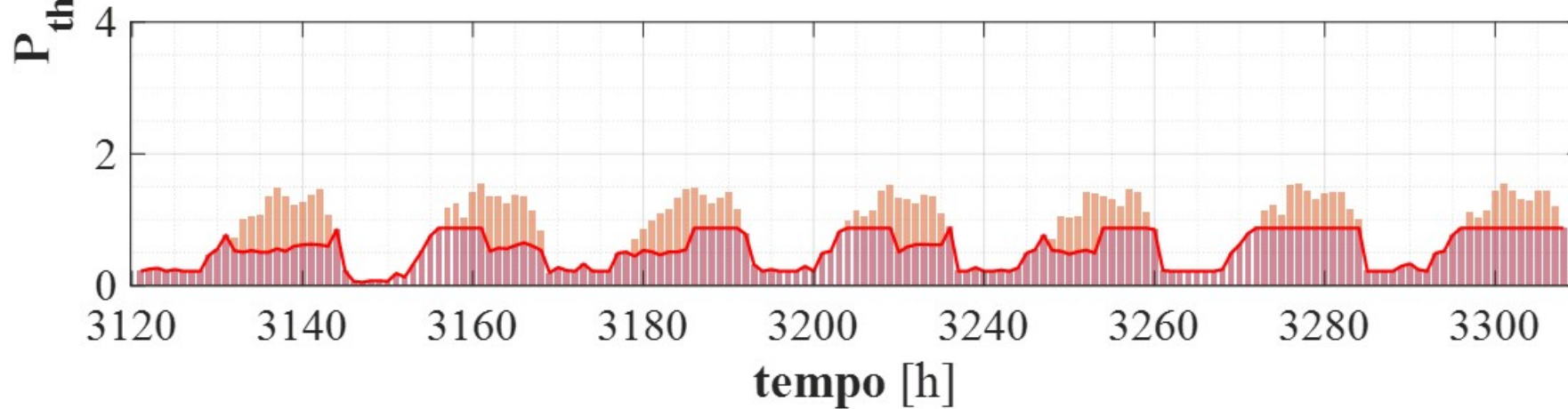


Produzione e utilizzo dell'energia termica nel porto

Settimana invernale

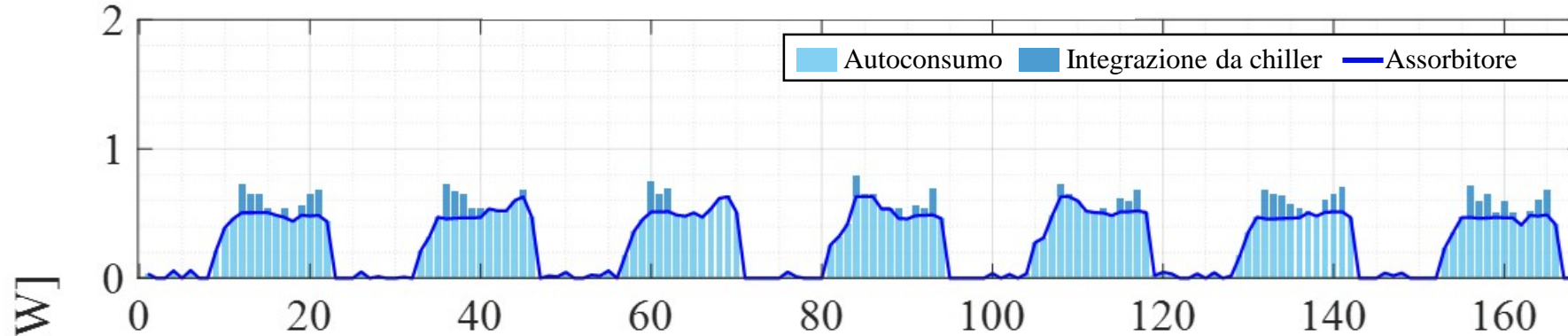


Settimana estiva

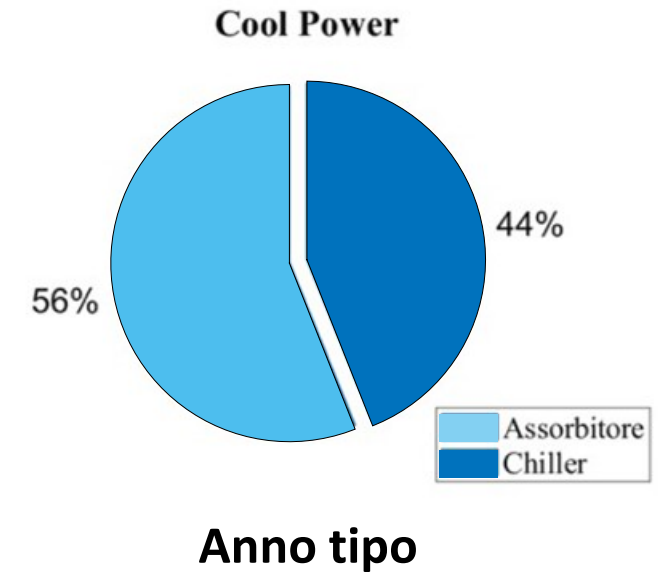
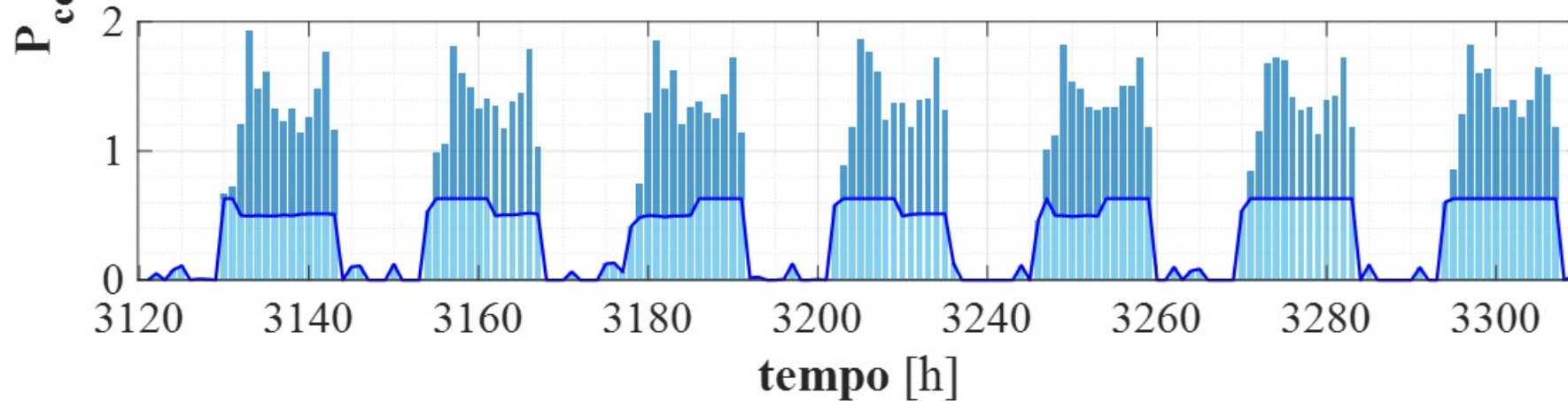


Produzione e utilizzo dell'energia frigorifera nel porto

Settimana invernale



Settimana estiva



Ottimizzazione multi-obiettivo del'HUB portuale



Ottimizzazione multi-obiettivo: indici e definizione del problema

Obiettivi economici		
Simple Payback	Valore Attuale Netto	Indice di Profitto
$SPB = \frac{CI}{profit - costs}$	$VAN = \sum_{t=1}^{t=n} \left(\frac{profit_t - costs_t}{(1+a)^n} \right) - CI$	$IP = \frac{VAN}{CI}$

Obiettivi energetici	
Self-consumption	Self-sufficiency
$SC = \frac{\sum_{k=1}^{k=T} \min(P_{prod,k}, P_{load,k}) \Delta t}{\sum_{k=1}^{k=T} P_{prod,k} \Delta t}$	$SS = \frac{\sum_{k=1}^{k=T} \min(P_{prod,k}, P_{load,k}) \Delta t}{\sum_{k=1}^{k=T} P_{load,k} \Delta t}$

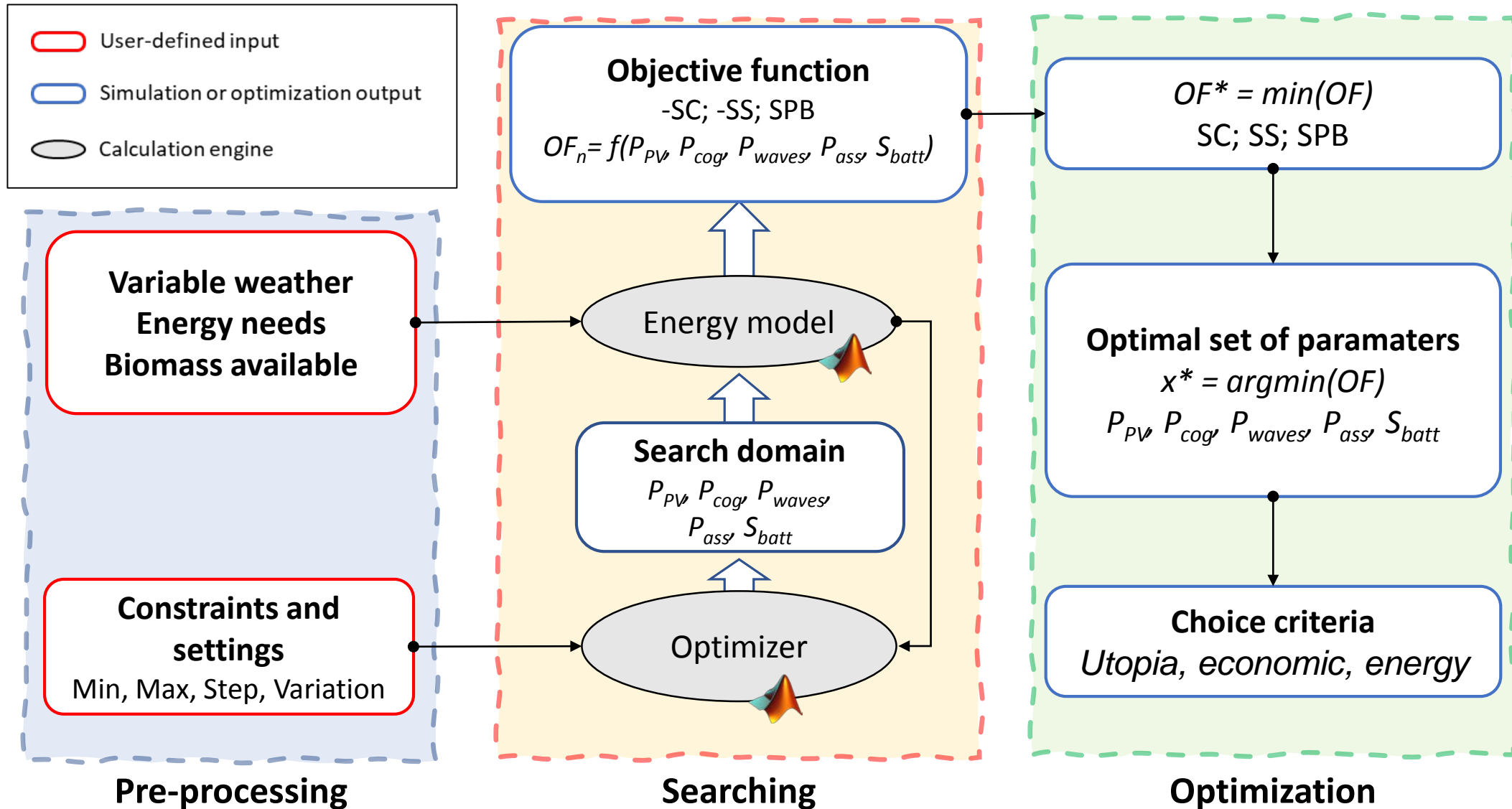
Problema di ottimizzazione

$$\min_{x \in \mathbf{X}} f(\mathbf{x}) = f(x^*) \quad \text{con } x^* = \operatorname{argmin}(f(x))$$

$$\text{dove: } \mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n) \text{ e } \mathbf{X} \subseteq \mathbf{R}^N$$

$$\text{con: } g_i(\mathbf{x}) \leq 0 \quad \text{dove: } i = 1, 2, \dots, L$$

Algoritmo di ottimizzazione



Parametri progettuali ottimizzati

P_{cog} [MW]	P_{PV} [MW]	P_{ass} [MW]	P_{waves} [MW]	S_{batt} [MWh]
2-4 (passo 0.5)	1-5 (passo 1)	0.3; 0.7; 1; 1.2	2-6 (passo 2)	1-5 (passo 1)

Strategia 1

Priorità alla produzione non programmabile + cogeneratore che produce costantemente

Strategia 2

Priorità alla produzione non programmabile + cogeneratore che produce su richiesta

Strategia 3

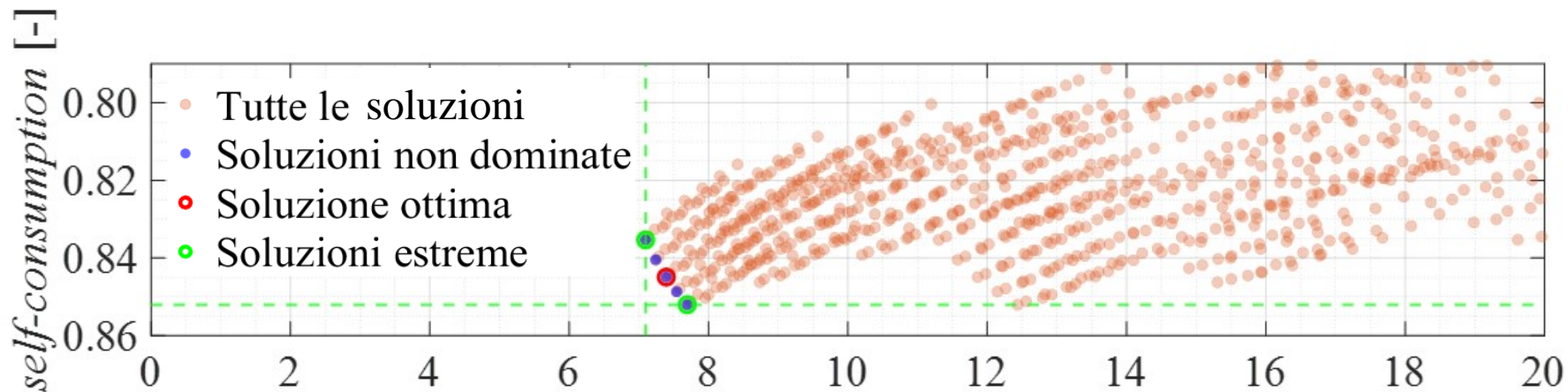
Priorità alla produzione del cogeneratore che produce costantemente

Strategia 4

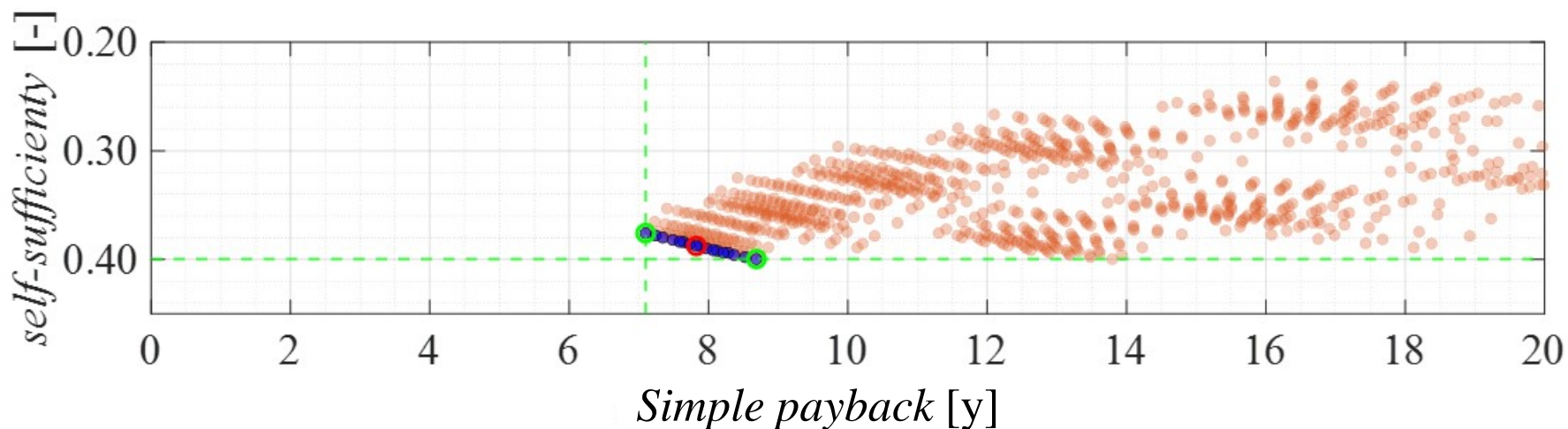
Priorità alla produzione del cogeneratore che produce su richiesta

6000 diverse combinazioni!

Risultati dell'ottimizzazione (strategia 2 con PUN = 125 €/MWh)



	SPB	Self cons.
Ener.	7.7	85%
Utop	7.4	84%
Econ.	7	83%



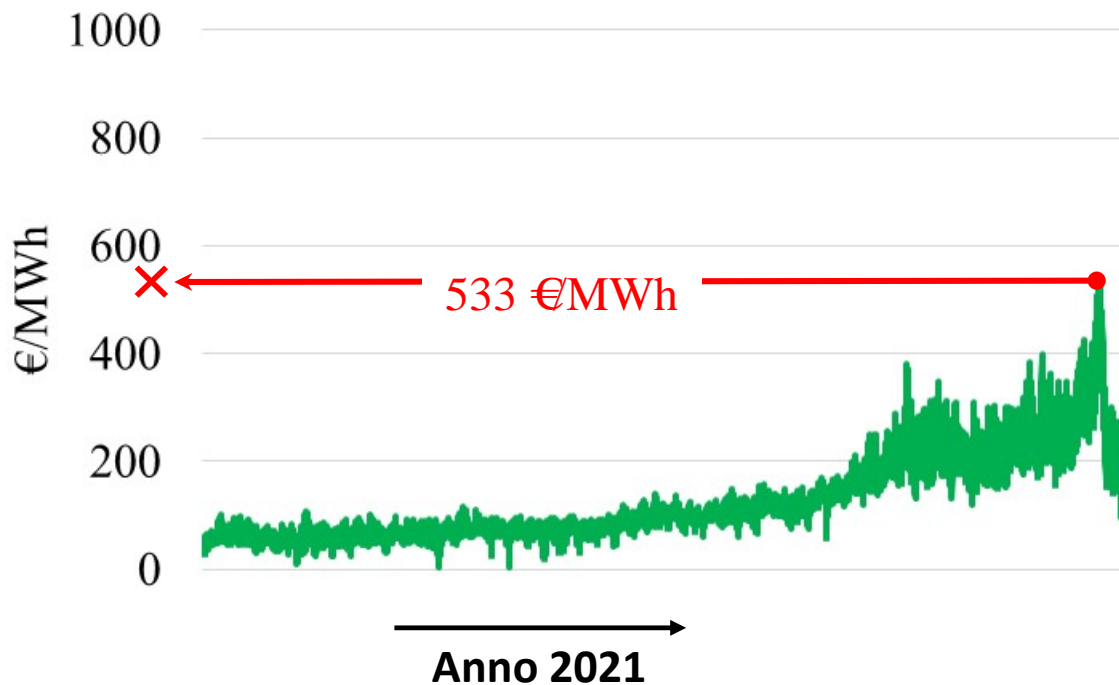
	SPB	Self suff.
Ener.	8.7	40%
Utop.	7.8	39%
Econ.	7	37%

SC_{opt} → CHP = 2.5 MW, PV = 4 MW, ASSORBITORE = 1 MW, ONDE = 6 MW, BATTERIE = 1 MWh
 SS_{opt} → CHP = 3 MW, PV = 1 MW, ASSORBITORE = 1 MW, ONDE = 4 MW, BATTERIE = 5 MWh

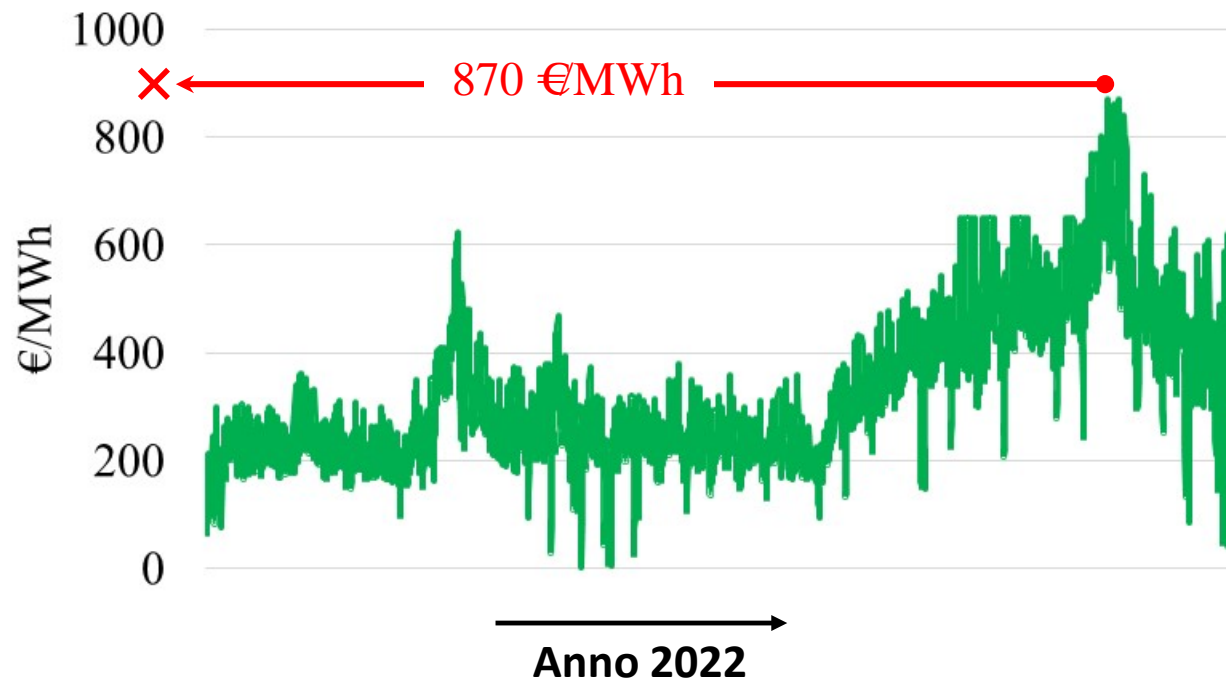


Variazione del prezzo d'acquisto dell'energia elettrica

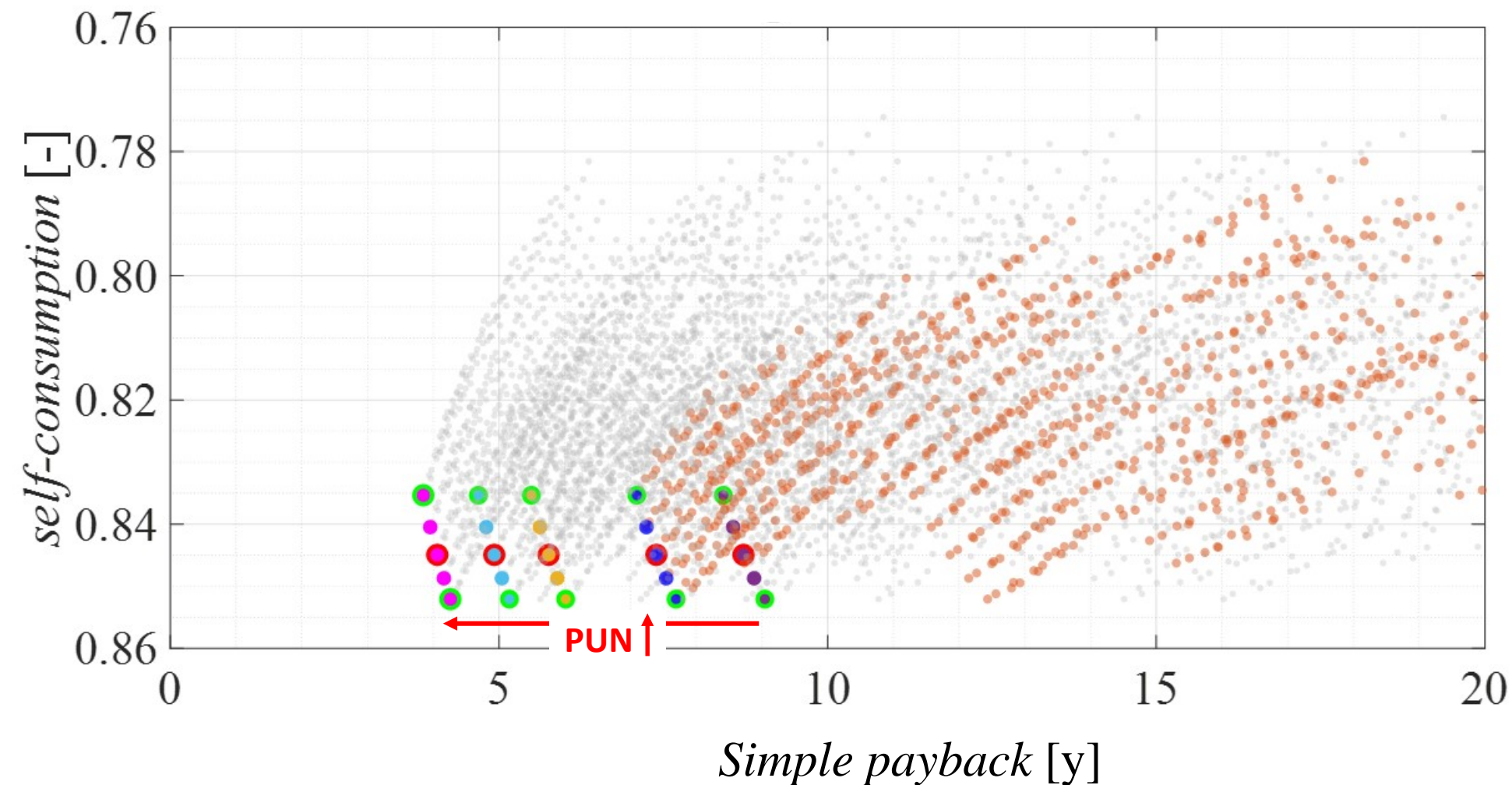
Prezzo Unico Nazionale - anno 2021



Prezzo Unico Nazionale - anno 2022



Risultati dell'ottimizzazione (strategia 2 con PUN variabile)



	PUN [€/MWh]	SBP
●	87	8.7
●	125	7.4
●	196	5.7
●	250	4.9
●	330	4

Risultati dell'ottimizzazione

CRITERIO DI OTTIMIZZAZIONE	SOLUZIONE	
	<i>self-consumption</i>	<i>self-sufficiency</i>
ENERGETICO	Strategia 2 Strategia 4	Tutte le strategie
PUNTO DI UTOPIA	Strategia 4	Strategia 3
ECONOMICO	Strategia 3	

Conclusioni

- È stato sviluppato un **modello matematico ed un tool informatico** per il calcolo delle **prestazioni energetiche, economiche ed ambientale** di un sistema di poligenerazione basato su **tecnologie rinnovabili**.
- Il modello è appositamente concepito per effettuare studi di fattibilità ed analisi energetiche/economiche di qualsiasi **edificio o sistema portuale (inteso come hub energetico)**.
- Attraverso l'adozione di una subroutine sviluppata ed implementata nel modello dinamico, è possibile effettuare **ottimizzazioni multi-obiettivo** che puntano a massimizzare le prestazioni energetiche ed economiche del sistema.
- Le potenzialità del modello sono state mostrate attraverso **2 casi studio relativi al porto di Napoli**.

Risultati relativi al caso studio “La nuova stazione marittima del Molo Beverello”

- Con l'implementazione di **chiller/pompe di calore** con scambio ad **acqua di mare** si ottengono risparmi di energia primaria fino al **26%**.
- L'adozione di **sistemi ombreggianti con pannelli fotovoltaici** integrati comporta un risparmio di energia primaria del **40%**.
- Per entrambi gli interventi il payback è **inferiore ai 10 anni** (senza incentivi).

Risultati relativi al caso studio “Il porto di Napoli: un HUB energetico con fonti rinnovabili”

- A seconda delle strategie di gestione scelte (considerando un PUN di 125 €/MWh), la configurazione ottimale comporta ritorni dell'investimento di circa **7-8 anni**, con elevati gradi di **autoconsumo (>80%)** e valori di **autosufficienza di circa il 40%**.
- Scenari economici con **PUN > 300 €/MWh** comporterebbero **payback** di circa **4 anni**.
- Non è stata considerata alcuna forma di incentivazione.
- Potranno essere implementate ulteriori tecnologie basate su fonte energetica rinnovabile.



Università degli Studi di Napoli Federico II

SCUOLA POLITECNICA E DELLE SCIENZE DI BASE

Dipartimento di Ingegneria Industriale



Grazie per l'attenzione

Ing. Giovanni Francesco Giuzio

Prof. ing. Adolfo Palombo

P.le V. Tecchio 80 – 80125 Napoli

Tel.: 0817682299, 3397798040

adolfo.palombo@unina.it

