



**ENERGIA E SOSTENIBILITÀ  
PER LA  
PUBBLICA AMMINISTRAZIONE**

# Strumenti di analisi economico/ambientale delle strategie di gestione di reti energetiche integrate

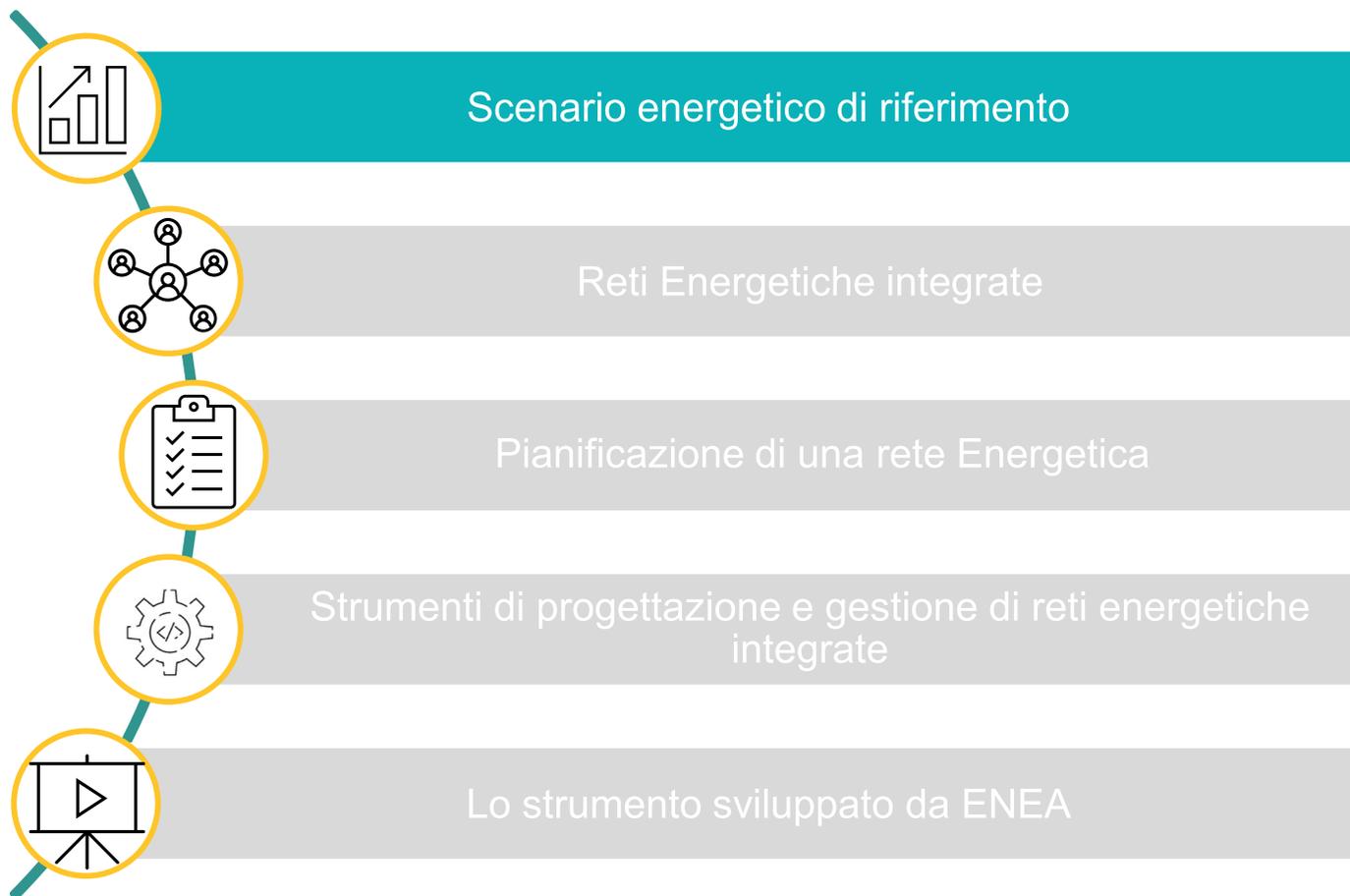
*Salvatore Fabozzi*

*17/05/2023*

**Dipartimento Tecnologie Energetiche e Fonti Rinnovabili ENEA  
Laboratorio Smart Grid e Reti Energetiche**



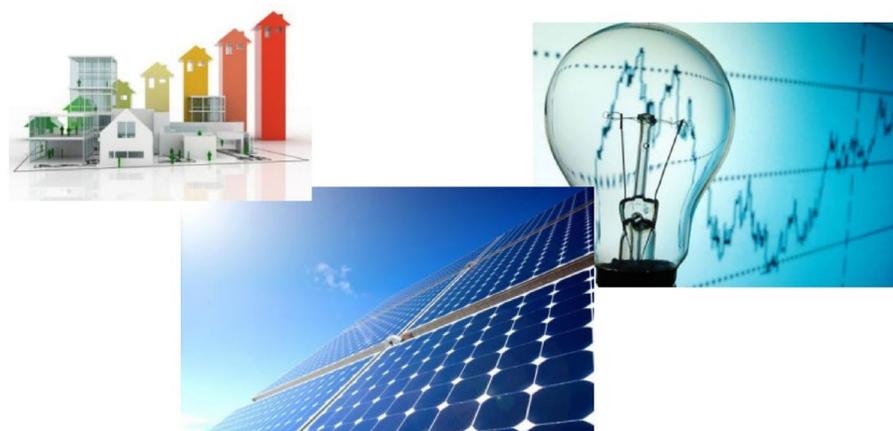
# Agenda



## Scenario energetico di riferimento

### Scenario energetico di riferimento

- ✓ La consapevolezza, ormai diffusa a livello globale, che gli investimenti sull'efficienza energetica per i sistemi di approvvigionamento energetico rappresentano una vera e propria necessità energetica e un'importante opportunità di crescita e di sviluppo economico, ha fatto da traino, negli ultimi anni, alla definizione di policy volte ad un uso razionale ed efficiente delle fonti energetiche.



# Obiettivi della Strategia Energetica Nazionale

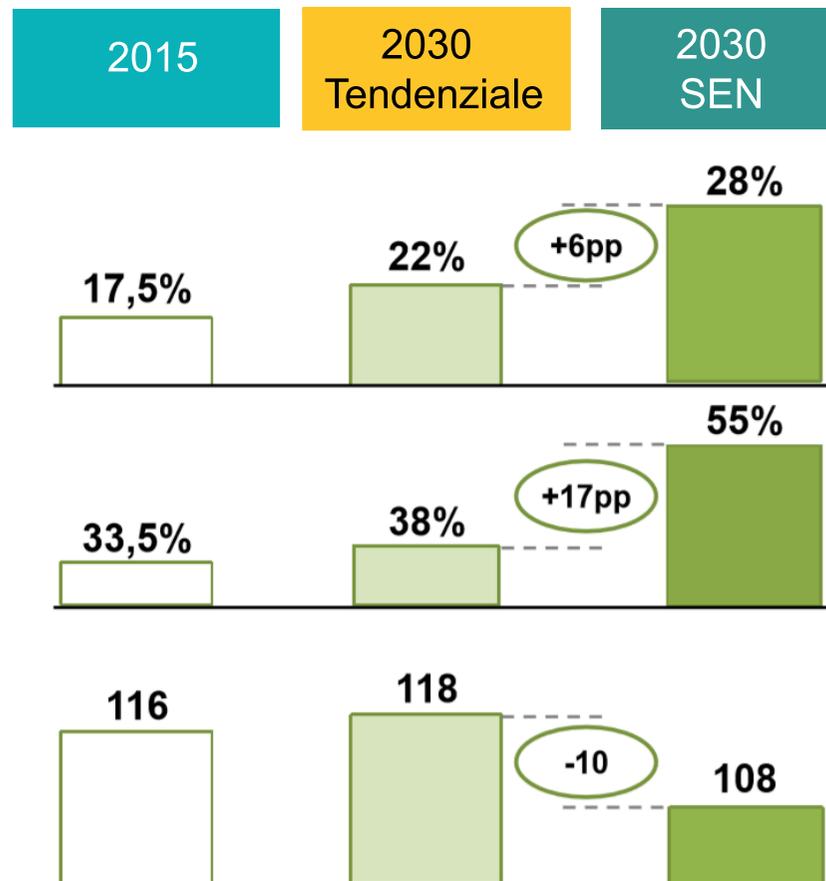


% su tutti i consumi

% sui consumi elettrici



consumi di energia in MTep



- Si va oltre gli obiettivi UE (27% al 2030) su tutti i consumi **finali**

# Scenario energetico di riferimento (EU)

## ➤ 2050 LOW-CARBON ECONOMY

- La tabella di marcia verso un'economia europea a basse emissioni di carbonio, quindi più rispettosa del clima ed efficiente dal punto di vista del consumo energetico, prevede che entro il 2050 l'UE riduca le emissioni di gas a effetto serra dell'80% rispetto ai livelli del 1990 unicamente attraverso riduzioni interne (cioè senza ricorrere a crediti internazionali).
- Per ottenere questo risultato è necessario che:
  - ✓ si abbia una riduzione delle emissioni del 40% entro il 2030 e del 60% entro il 2040
  - ✓ tutti i settori (produzione di energia, industria, trasporti, edifici, edilizia e agricoltura) diano il loro contributo in funzione delle rispettive potenzialità economiche e tecnologiche
  - ✓ la transizione verso un'economia a basse emissioni di carbonio sia economicamente abbordabile

# Scenario energetico di riferimento (EU)

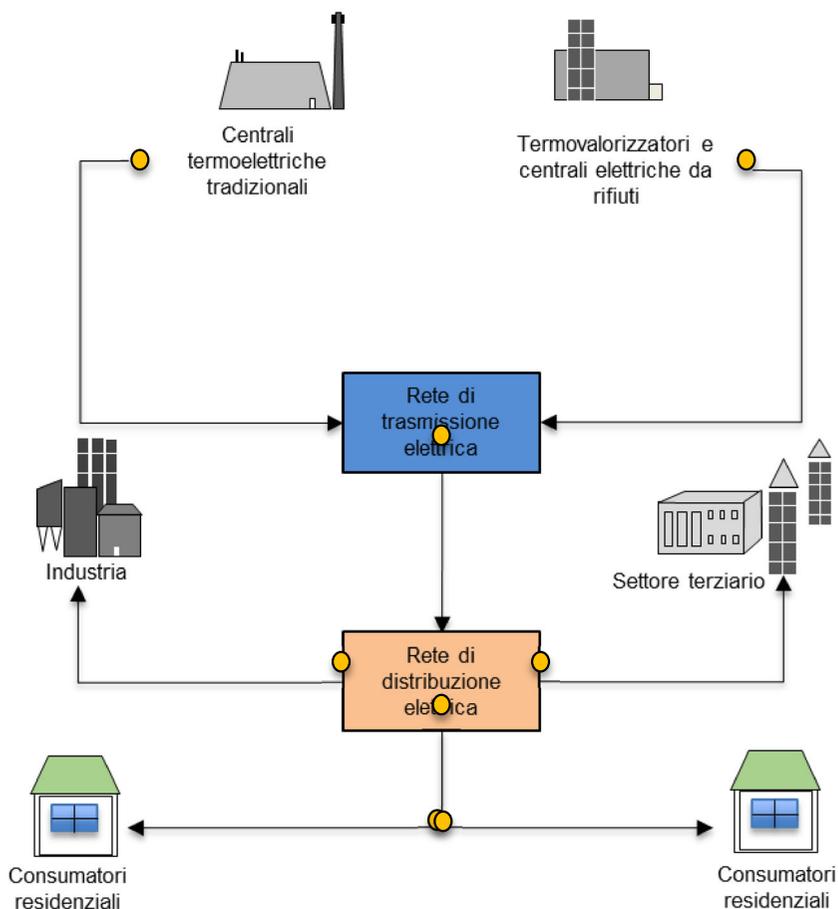
- Oltre all'importanza di ridurre i consumi energetici dal lato "domanda", è altresì cruciale il risparmio energetico nei sistemi di approvvigionamento energetico, attraverso una politica basata sull'uso razionale ed efficiente delle fonti energetiche.
- Con specifico riferimento al contesto Europeo, l'Unione Europea (UE) si pone da tempo tra i leader mondiali nella promozione e nello sviluppo di politiche di efficientamento per i sistemi di approvvigionamento energetico.



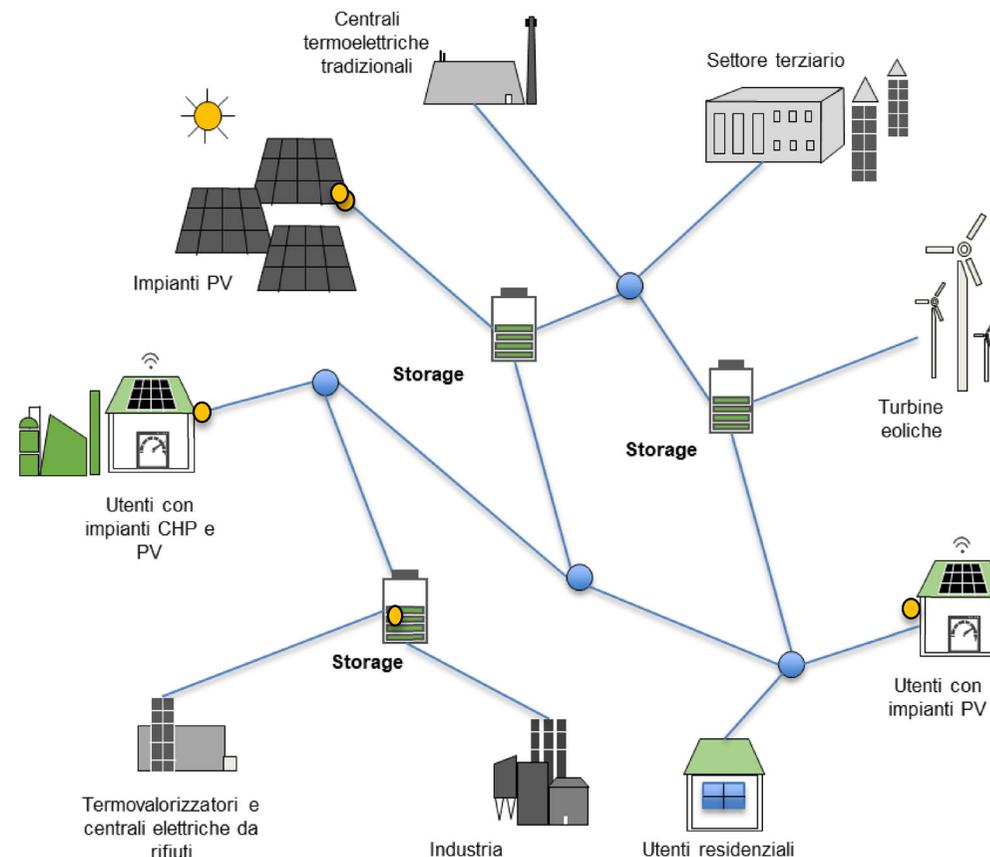
- A supporto di questa strategia, nel Novembre del 2016, mediante la definizione del Clean Energy Package, l'Europa ha avviato il percorso di costruzione di un'Unione dell'Energia, che possa consentire a tutti i cittadini dell'UE di poter usufruire di energia sicura, sostenibile e a prezzi competitivi.

# Scenario energetico di riferimento

Schema di reti tradizionali



Reti con generazione distribuita



- Le reti sono state tradizionalmente gestite come sistemi **passivi monodirezionali**.

- Ma l'integrazione delle risorse distribuite sta trasformando queste reti in sistemi attivi a controllo distribuito e flussi di potenza **bidirezionali**.
- Sono necessari nuovi concetti per l'espansione delle reti di distribuzione **attive**
- uno dei più strutture di rete promettenti si basano sulle **smart grid**.

# Scenario energetico di riferimento

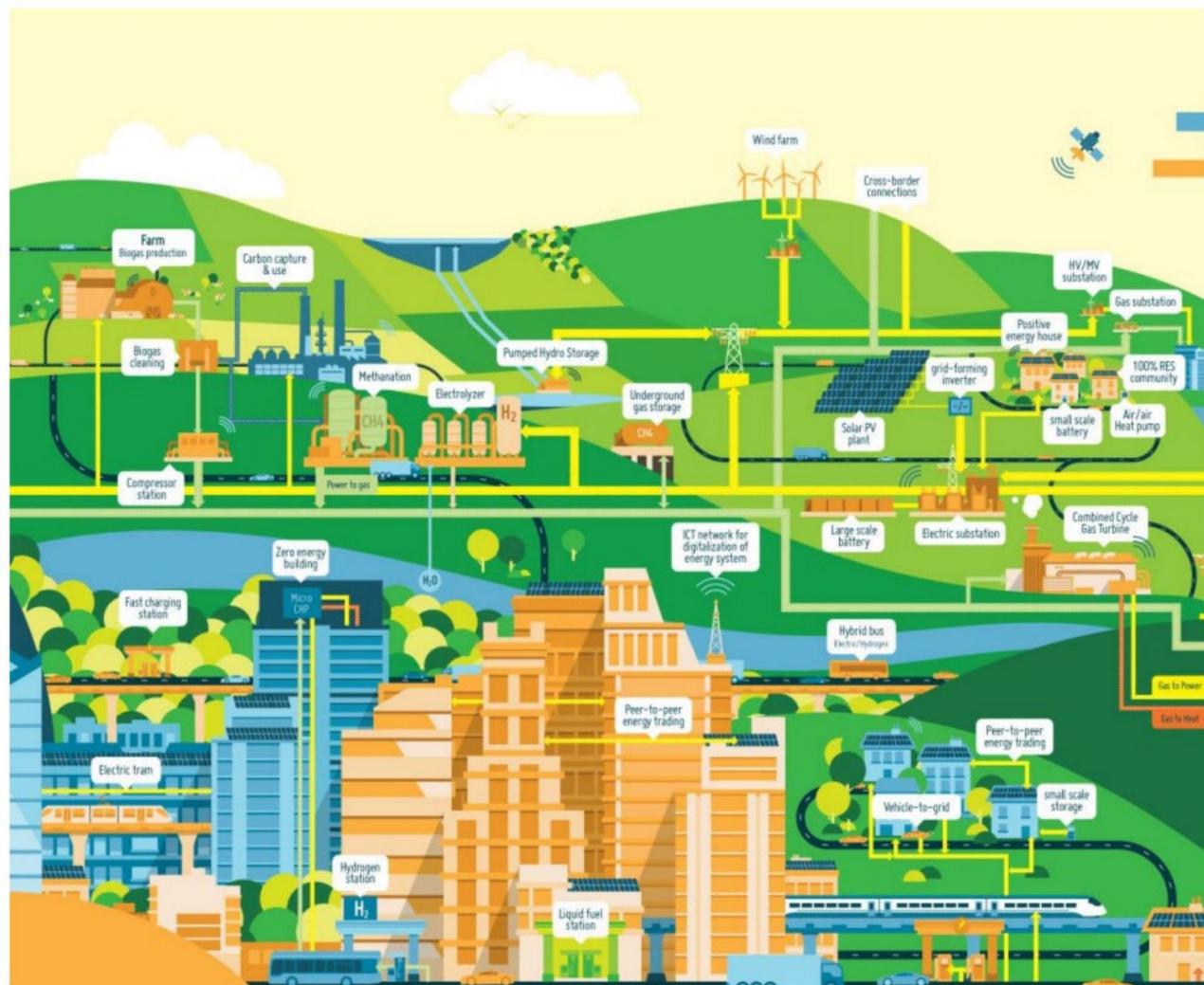
Fonte: ETIP SNET  
VISION 2050

## Scenario energetico di riferimento

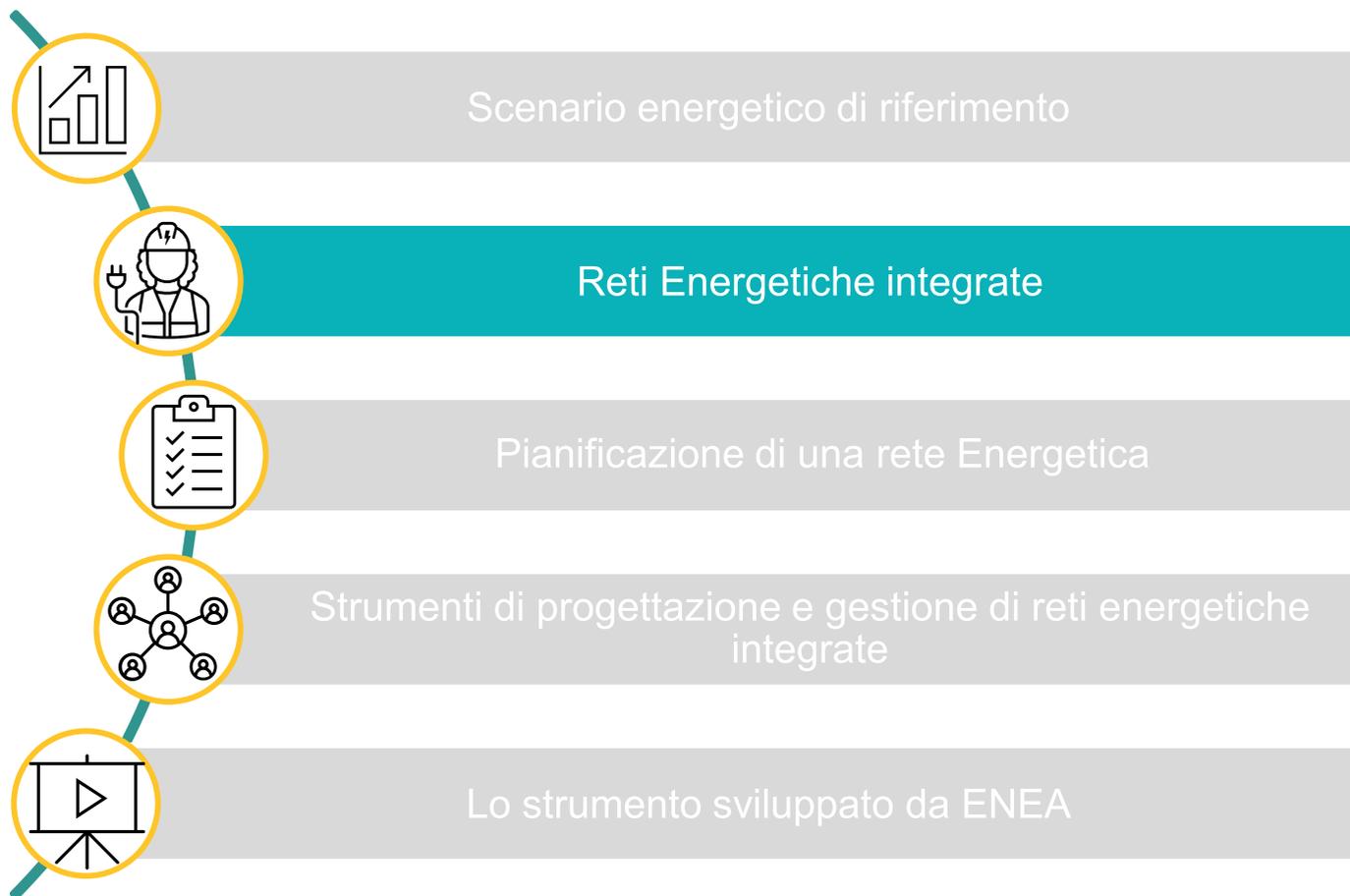
I sistemi energetici integrati:

*A System of Systems*

Infrastruttura integrata per tutti i vettori energetici con il sistema elettrico come spina dorsale, caratterizzata da un elevato livello di integrazione tra tutte le reti energetiche (elettricità, gas, riscaldamento e raffrescamento)

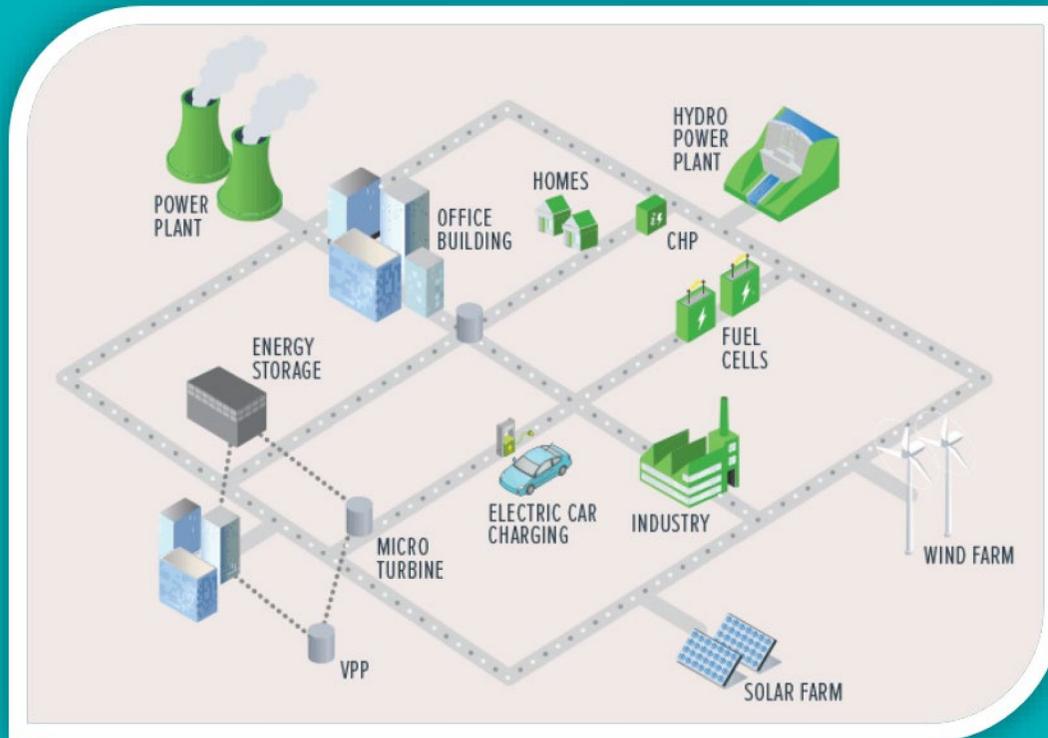


# Agenda





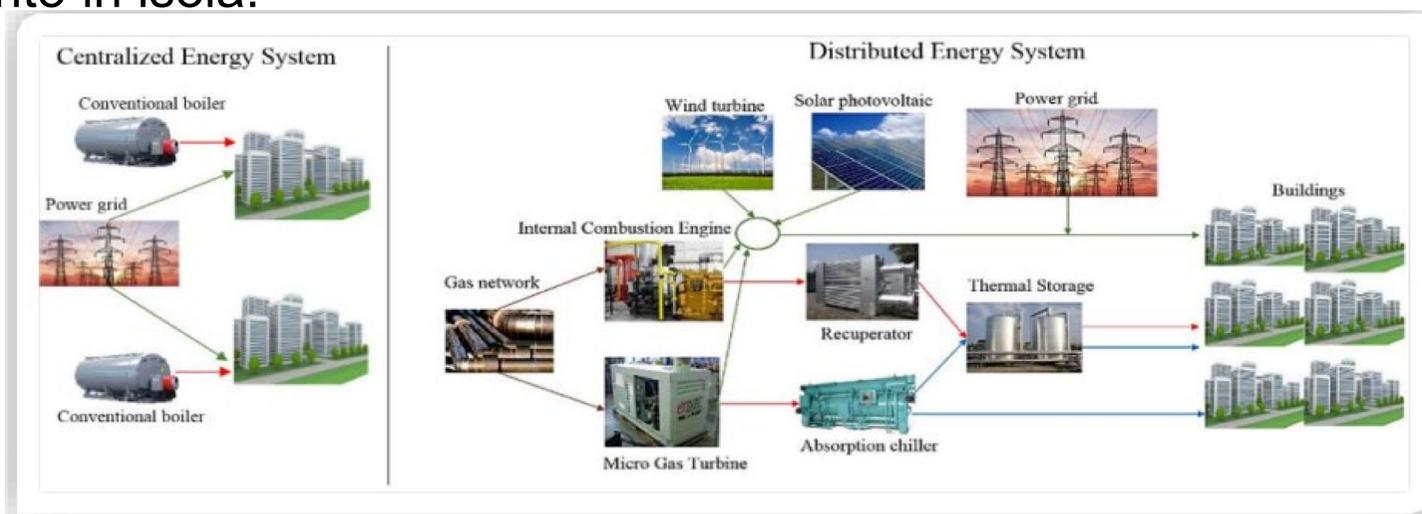
# Reti energetiche integrate



In piena coerenza con questa roadmap strategica, si è intensificato, negli ultimi anni, l'interesse verso le reti energetiche integrate, che sono state riconosciute come un'alternativa sostenibile ai sistemi di approvvigionamento convenzionali e come una valida opzione per lo sviluppo sostenibile dell'approvvigionamento energetico futuro.

# Reti energetiche integrate

- Una rete energetica integrata è un **sistema energetico integrato di risorse energetiche** (elettriche e termiche) distribuite all'interno di un'area geografica ben definita e caratterizzata da collegamenti elettrici e termici fisici tra le varie unità e da un unico punto di connessione con la rete di distribuzione esterna. Dal punto di vista della rete, essa è vista come un unico sistema i cui output, ovvero l'energia elettrica e termica, sono resi disponibili in prossimità dell'utente finale, tipicamente caratterizzato da un cluster di edifici. Pur operando prevalentemente connessa con la rete di distribuzione, essa è anche in grado di essere configurata per il funzionamento in isola.



# Reti energetiche integrate

## Rete Energetica

### Vantaggi

- Sfruttamento di risorse locali
- Integrazione di fonti rinnovabili
- Impatto ambientale ridotto
- Mix energetico diversificato
- Uso più efficiente delle risorse (mediante co- e trigenerazione).

### Svantaggi

- Processo di pianificazione complesso.

## Sistema di approvvigionamento convenzionale (generazione separata di energia elettrica e termica)

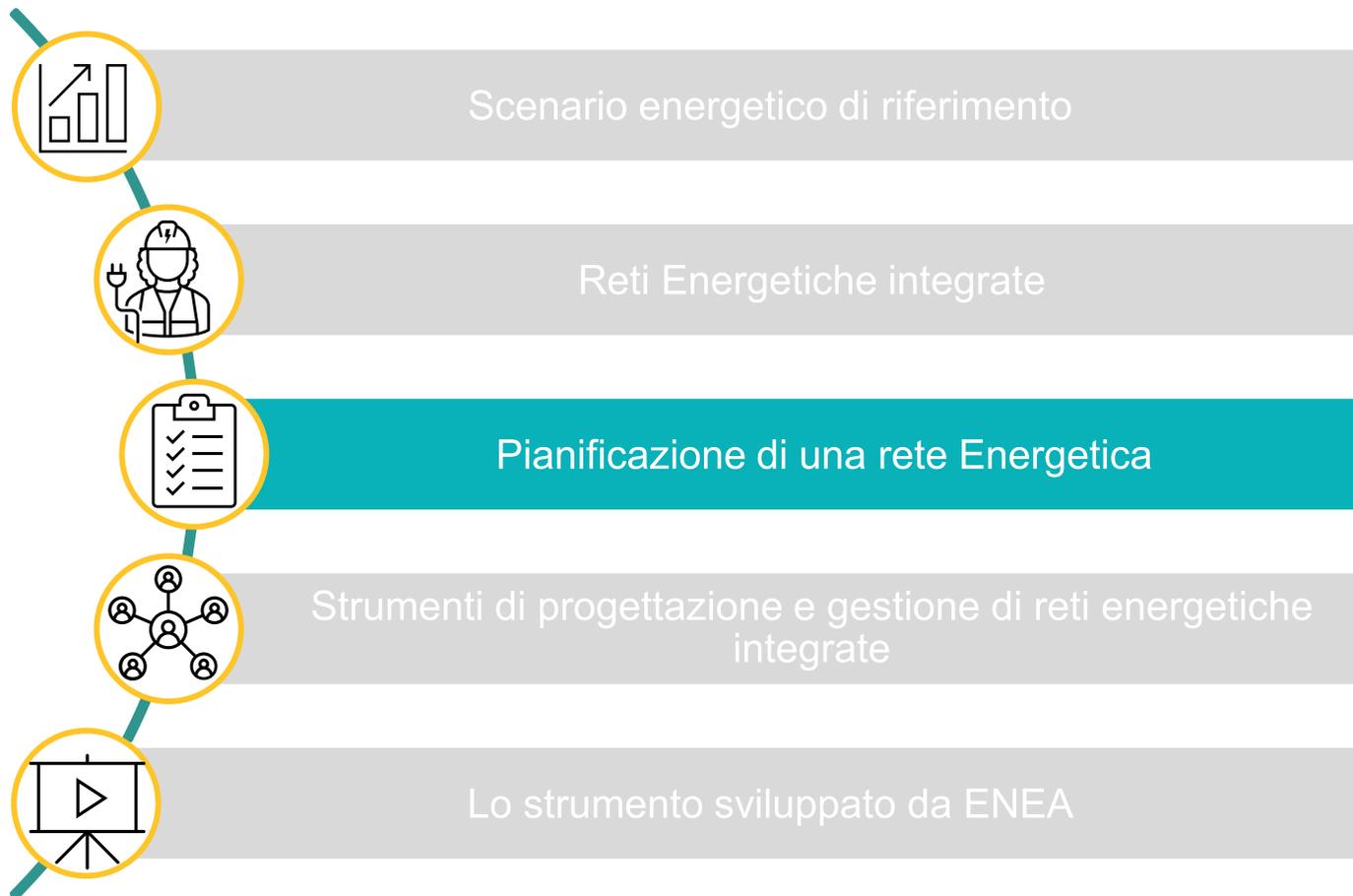
### Vantaggi

- Assenza di pianificazione.

### Svantaggi

- Maggiore impatto ambientale
- Difficoltà di integrazione delle rinnovabili
- Maggiore spreco di fonti fossili (generazione separata di energia elettrica e termica).

# Agenda



## Pianificazione di una rete energetica

### Pianificazione di una rete energetica

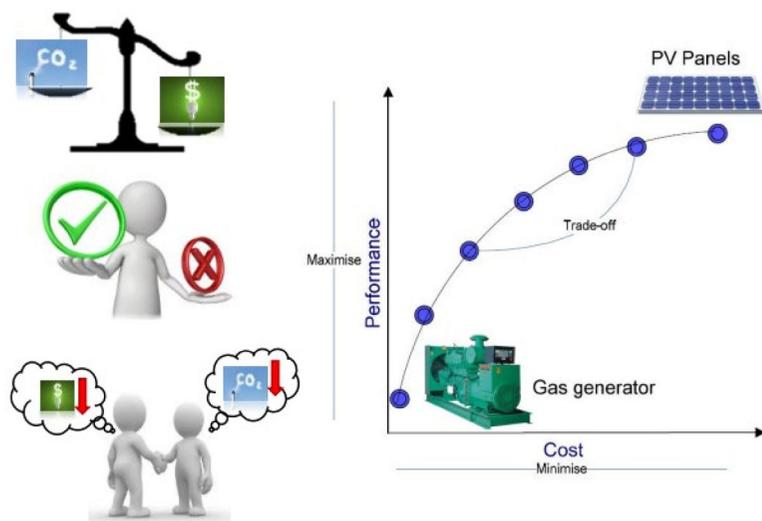
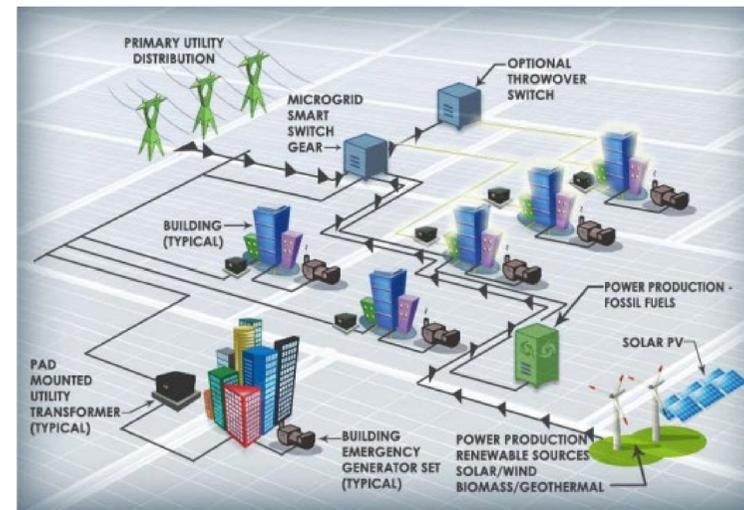
Per poter ottenere i potenziali attesi di una rete energetica, è necessario pianificarla in maniera opportuna, definendo, tra le numerose alternative offerte dal mercato, sia il mix ottimale di tecnologie in termini di tipologie, numeri e taglie, sia le loro strategie di funzionamento, per soddisfare il fabbisogno energetico di un'utenza o un gruppo di utenze

- ✓ La pianificazione di una rete energetica è intesa come quel processo decisionale volto ad ottimizzare il suo design, ovvero la sua configurazione, selezionando il mix appropriato di tecnologie in termini di tipologie, numeri e taglie, al fine di conseguire uno o più obiettivi, come ad esempio quello economico e/o quello ambientale, o quel processo decisionale volto ad ottimizzare il funzionamento dei componenti della rete, sempre al fine di conseguire uno o più obiettivi.



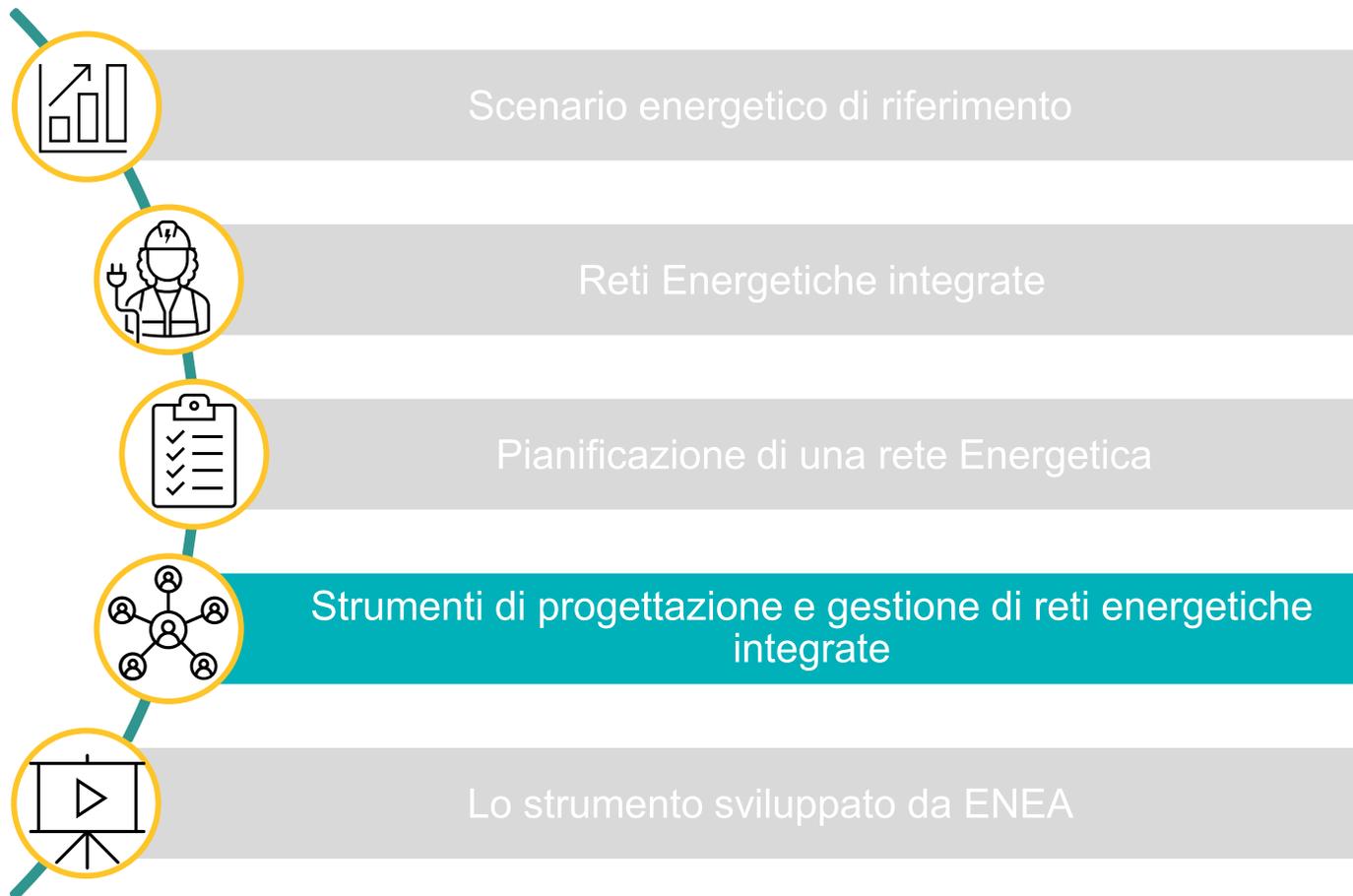
## Pianificazione di una rete energetica

- La complessità di tale processo decisionale è legata alla presenza di molteplici sistemi di conversione e sistemi di accumulo dell'energia che convertono e accumulano una serie di vettori energetici con interazioni tra loro complesse, per soddisfare i carichi di un'utenza o gruppo di utenze in regime dinamico.



- La complessità è anche legata alla presenza di diversi stakeholder interessati allo sviluppo e conseguente diffusione di questo nuovo paradigma energetico, che definisce la necessità di adottare un approccio multi-obiettivo.

# Agenda



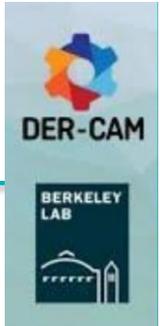
# Strumenti di progettazione e gestione di reti energetiche integrate

Oggi sono disponibili diversi strumenti per la progettazione e gestione di reti energetiche integrate:

- **DER-CAM**
- **HOMER**
- **EnergyPRO**
- **EnergyPLAN**



# Strumenti di progettazione e gestione di reti energetiche integrate



## DER-CAM: Distributed Energy Resources-Consumer Adoption Model

Uno strumento di ottimizzazione per la pianificazione di microreti energetiche, implementato in GAMS. Il tool fornisce come output:

- Selezione ottimale delle tecnologie da implementare e relative taglie
- Posizionamento ottimale delle tecnologie all'interno della microrete
- Strategie di gestione operativa delle tecnologie della microrete
- Costi di fornitura di energia per il soddisfacimento dei carichi
- Emissioni di carbonio associate alla fornitura di energia per il soddisfacimento dei carichi

DER-CAM è ampiamente utilizzato per problemi relativi all'investimento ottimale e alla gestione delle risorse energetiche distribuite (DER), nonché per l'analisi economica e ambientale delle DER nel contesto dei sistemi energetici locali

# Strumenti di progettazione e gestione di reti energetiche integrate

## DER-CAM: Distributed Energy Resources-Consumer Adoption Model

Tipologia	Open e gratuito
Technology Readiness Level (TRL)	8-9 Livello commerciale
Tipologia di utenti	Ambito accademico e pianificatori energetici
Vettori energetici modellati	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elettricità</li> <li>• Calore</li> <li>• Raffrescamento</li> </ul>
Domanda modellata	Tutte (in forma aggregata)
Funzioni obiettivo	Finanziaria e ambientale
Funzionalità	Progettazione e gestione
Risoluzione temporale	Risoluzione temporale di un anno, ma possono essere definiti giorni di riferimento con di un minuto
Orizzonte temporale	Max. 20 anni

# Strumenti di progettazione e gestione di reti energetiche integrate



**HOMER Energy**  
by UL

## HOMER: Hybrid Optimization of Multiple Electric Renewables

HOMER consente di simulare e ottimizzare sistemi energetici locali autonomi e connessi alla rete che comprendono turbine eoliche, solare fotovoltaico, idroelettrico, biomassa, generatori convenzionali e accumulo di energia.

Per il problema di progettazione ottimale, consente di identificare i componenti da includere nel sistema, nonché il numero e la taglia di ciascun componente, in base alla funzione obiettivo selezionata.

L'output del software include l'ottimizzazione e l'analisi di sensibilità del sistema energetico, il consumo di combustibili, le emissioni e i costi con grafici e report dettagliati dei dati

# Strumenti di progettazione e gestione di reti energetiche integrate

## HOMER: Hybrid Optimization of Multiple Electric Renewables

<b>Tipologia</b>	Commerciale
<b>Technology Readiness Level (TRL)</b>	8-9 Livello commerciale
<b>Tipologia di utenti</b>	Ambito accademico e pianificatori energetici
<b>Vettori energetici modellati</b>	Microreti e sistemi elettrici distribuiti che possono includere una combinazione di fonti di energia rinnovabile, accumulo e generazione a base fossile. Il focus è sul vettore di energia elettrica
<b>Domanda modellata</b>	Elettrica e termica
<b>Funzioni obiettivo</b>	Prevalentemente finanziaria
<b>Funzionalità</b>	Progettazione
<b>Risoluzione temporale</b>	Minuti
<b>Orizzonte temporale</b>	Diversi anni

# Strumenti di progettazione e gestione di reti energetiche integrate



## EnergyPRO

EnergyPRO è un pacchetto software di modellazione completo per l'analisi tecnicoeconomica combinata e l'ottimizzazione di impianti di cogenerazione e trigenerazione, nonché altri tipi di impianti energetici complessi con una fornitura combinata di energia elettrica e termica (vapore, acqua calda o raffrescamento) da più unità di produzione di energia.

EnergyPRO è tipicamente utilizzato per l'analisi tecnico-economica di impianti di cogenerazione di teleriscaldamento con motori a gas abbinati a caldaie e accumuli termici, impianti di cogenerazione industriale che forniscono sia energia elettrica, vapore e acqua calda, impianti di cogenerazione con refrigerazione ad assorbimento (trigenerazione), impianti di cogenerazione alimentati a biogas con accumulo di biogas, impianti di cogenerazione a biomasse.

Altri tipi di impianti, ad es. geotermici, collettori solari, impianti fotovoltaici o eolici possono essere analizzati all'interno del software.

# Strumenti di progettazione e gestione di reti energetiche integrate

## EnergyPRO

<b>Tipologia</b>	Commerciale
<b>Technology Readiness Level (TRL)</b>	8-9 Livello commerciale
<b>Tipologia di utenti</b>	Ambito accademico e pianificatori energetici
<b>Vettori energetici modellati</b>	Elettricità, calore e raffrescamento
<b>Domanda modellata</b>	Tutte (in forma aggregata)
<b>Funzioni obiettivo</b>	Finanziaria, efficienza energetica, tecnica, criteri sociali/economici
<b>Funzionalità</b>	Progettazione
<b>Risoluzione temporale</b>	Minuti
<b>Orizzonte temporale</b>	Max 40 anni

# Strumenti di progettazione e gestione di reti energetiche

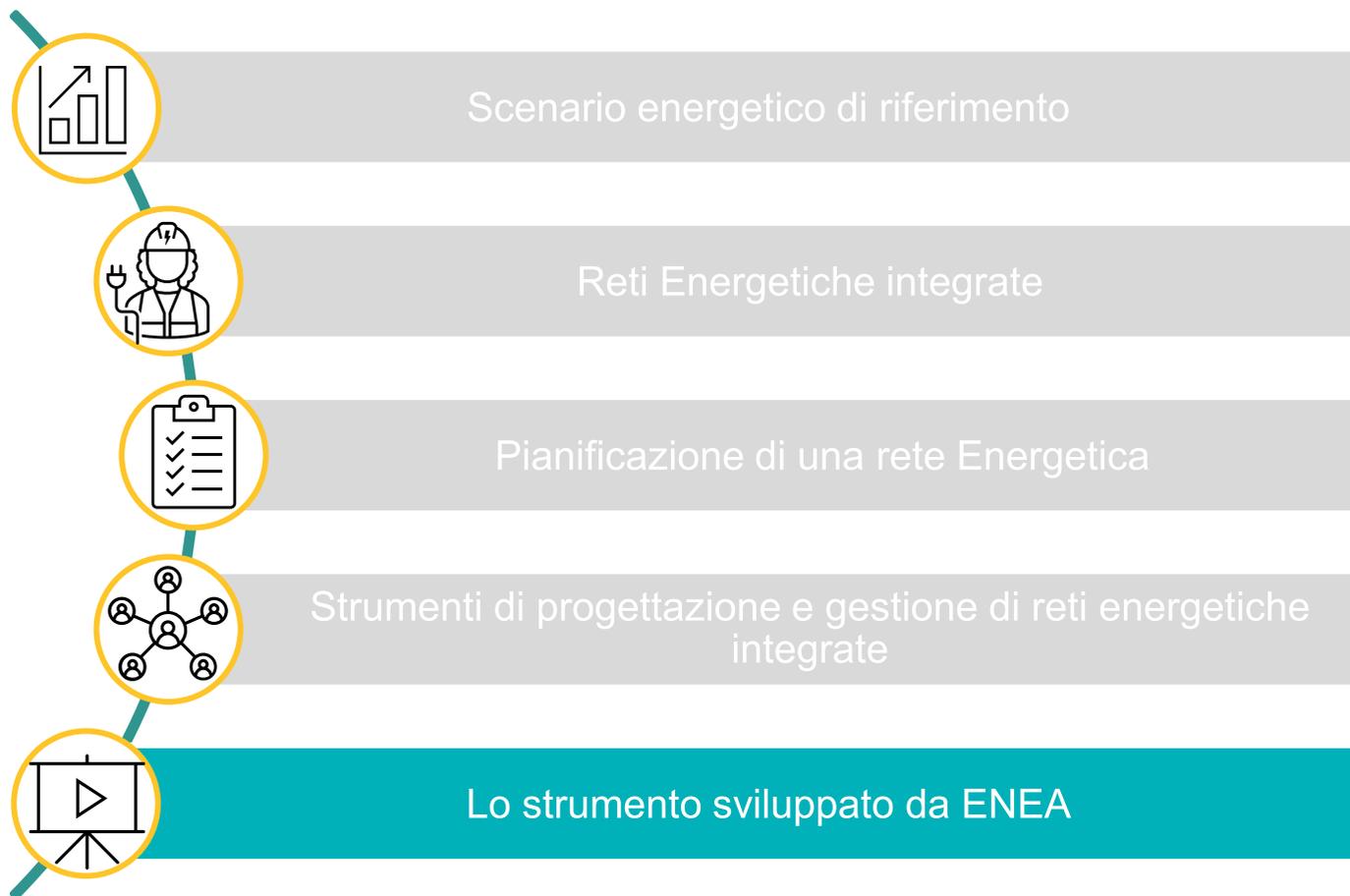
## EnergyPLAN

EnergyPLAN è un software gratuito che simula il funzionamento dei sistemi energetici nazionali su base oraria, inclusi i settori dell'elettricità, del riscaldamento, del raffreddamento, dell'industria e dei trasporti

Energy PLAN

<b>Tipologia</b>	Free
<b>Technology Readiness Level (TRL)</b>	8-9 Livello commerciale
<b>Tipologia di utenti</b>	Ambito accademico e pianificatori energetici
<b>Vettori energetici modellati</b>	Elettricità, calore, raffrescamento, trasporti
<b>Domanda modellata</b>	Elettricità, calore, raffrescamento, trasporti
<b>Funzioni obiettivo</b>	Finanziaria e ambientale
<b>Funzionalità</b>	Progettazione
<b>Risoluzione temporale</b>	Ore
<b>Orizzonte temporale</b>	Diversi anni

# Agenda



## Lo strumento sviluppato da ENEA

### Tool per la valutazione economico/ambiental e delle strategie di gestione di reti/microreti energetiche

- ✓ Il tool si configura come uno strumento di analisi economico/ambientale delle strategie di gestione di reti/microreti energetiche caratterizzate dalla presenza di impianti di poligenerazione distribuita e fonti rinnovabili elettriche e termiche.
- ✓ Il tool consente di determinare il costo energetico totale giornaliero e la quantità totale di emissioni di CO2 giornaliera relative alle strategie di gestione adottate per il funzionamento della rete/microrete energetica in esame.
- ✓ Il tool si rivolge alla PA allo scopo di migliorare la pianificazione energetica regionale nel settore della produzione da fonte rinnovabile e delle reti energetiche.
- ✓ Il tool consente di effettuare una valutazione multi-obiettivo (tecnico-economica e ambientale) delle diverse strategie/soluzioni adottabili nell'ambito di reti/microreti energetiche.

## Lo strumento sviluppato da ENEA

### Manuale d'uso



- ✓ Il tool corrisponde ad un foglio di calcolo Excel che consente di determinare i costi energetici e le emissioni di CO<sub>2</sub> sia su base oraria che su base giornaliera, in funzione delle strategie di funzionamento adottate per le diverse tecnologie della rete energetica
- ✓ È stato ipotizzato che la rete possa includere le seguenti tecnologie:
  - **Cogeneratore alimentato a gas naturale;**
  - **Caldaia alimentata a gas naturale;**
  - **Impianto fotovoltaico;**
  - **Impianto solare termico.**
- ✓ Il tool ha una struttura modulare e consente di effettuare l'analisi anche nel caso in cui la rete in esame non sia costituita da tutte le tecnologie sopra elencate
- ✓ È stato ipotizzato che la rete energetica possa funzionare in modalità grid-connected per il prelievo dell'energia elettrica di rete
- ✓ Il tool consente però di effettuare valutazioni economico/ambientali anche nel caso in cui la rete preveda un funzionamento in isola. In questo caso, l'energia elettrica prelevata dalla rete deve essere imposta pari a zero per tutte le ore del giorno

### Dati di input

- **Dati di consumo:** valori orari espressi in kWh, nel giorno x da analizzare:
- **Elettricità prelevata dalla rete**
- **Elettricità prodotta dal cogeneratore.**
- **Elettricità prodotta dall'impianto fotovoltaico.**
- **Energia elettrica richiesta.**
- **Energia termica prodotta dal cogeneratore.**
- **Energia termica prodotta dalla caldaia.**
- **Energia termica prodotta dai collettori solari.**
- **Energia termica richiesta (acqua calda sanitaria + riscaldamento ambiente)**

### Dati economici:

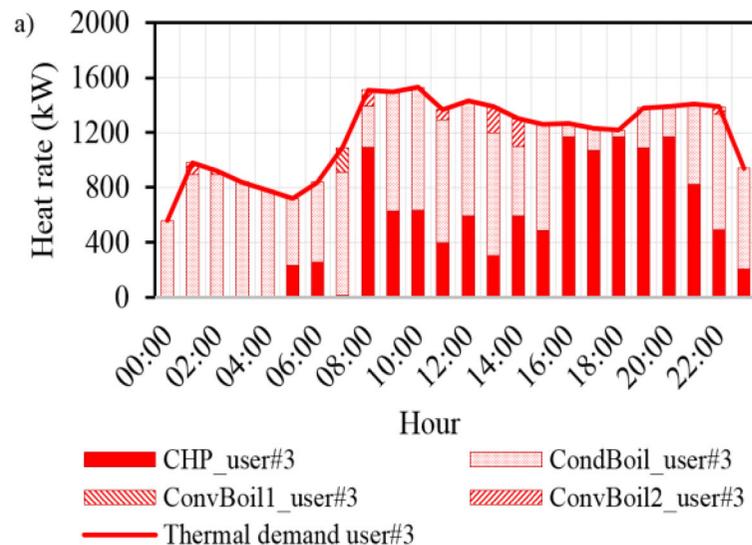
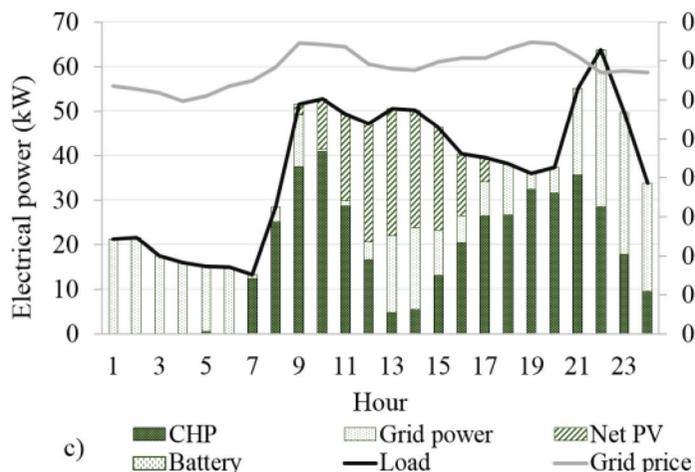
- **Prezzo dell'energia elettrica prelevata espresso in €/kWh.**
- **Prezzo del gas naturale espresso in €/Nm<sup>3</sup>.**

### Dati tecnici:

- **Efficienza elettrica media del cogeneratore e dei pannelli fotovoltaici.**
- **Efficienza termica media della caldaia e dei collettori solari.**

## Grafici di bilancio

- Sulla base dei dati di consumo elettrico e termico, il tool elabora i **grafici del bilancio elettrico e del bilancio termico**, mostrando, ora per ora, come viene soddisfatto il fabbisogno elettrico e termico dell'utente mediante le varie tecnologie in uso
- I grafici del bilancio elettrico e del bilancio termico **assicurano all'utente che, al variare delle strategie di gestione della rete/microrete energetica in esame, il fabbisogno di energia elettrica e termica dell'utente sia sempre soddisfatto**





### Risultati dell'analisi: output del tool

Una volta inseriti i dati di input e verificati i requisiti di bilancio, il tool consente di visualizzare i risultati del calcolo economico e del calcolo ambientale

I risultati del **calcolo economico** sono:

- Costo orario dell'elettricità prelevata dalla rete.
- Costo orario del cogeneratore.
- Costo totale orario giornaliero;
- Costo energetico giornaliero.

I risultati del **calcolo ambientale** sono:

- Emissioni orarie di CO2 relative all'energia elettrica prelevata dalla rete.
- Emissioni orarie di CO2 relative all'uso del cogeneratore.
- Emissioni orarie di CO2 relative all'uso della caldaia.
- Emissioni orarie totali di CO2.
- Emissioni giornaliere di CO2.

L'utente può variare le strategie di gestione della rete/microrete energetica in esame, al fine di ridurre il costo energetico totale giornaliero o l'impatto ambientale in funzione delle sue priorità economiche o ambientali

## Lo strumento sviluppato da ENEA

### Esempio di applicazione



#### Caratteristiche della rete

**Utente:** edificio con 50 appartamenti del settore residenziale, con una superficie totale di 5000 mq, localizzato in zona climatica E

#### Tecnologie:

- CHP con MCI da 50 kWe: eff elettrica: 30%, eff termica 60%
- Caldaia ausiliaria da 100 kWt: eff termica: 90%
- Impianto PV (400 mq installati): eff elettrica: 14%
- Impianto solare termico (100 mq installati): eff termica: 60%

Salvatore Fabozzi  
salvatore.fabozzi@enea.it  
Ricercatore ENEA Portici (Na)



ENERGIA E SOSTENIBILITÀ  
PER LA  
PUBBLICA AMMINISTRAZIONE



Agenzia nazionale per le nuove tecnologie,  
l'energia e lo sviluppo economico sostenibile



**UNIONE EUROPEA**

Fondo Sociale Europeo  
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



*Agenzia per la Coesione Territoriale*



**GOVERNANCE  
E CAPACITÀ  
ISTITUZIONALE  
2014-2020**