

## Analisi economica della generazione elettrica da biomassa solida nel medio termine



Introduzione e descrizione delle attività

Metodologia

Ipotesi di scenario

Risultati

Sensitività

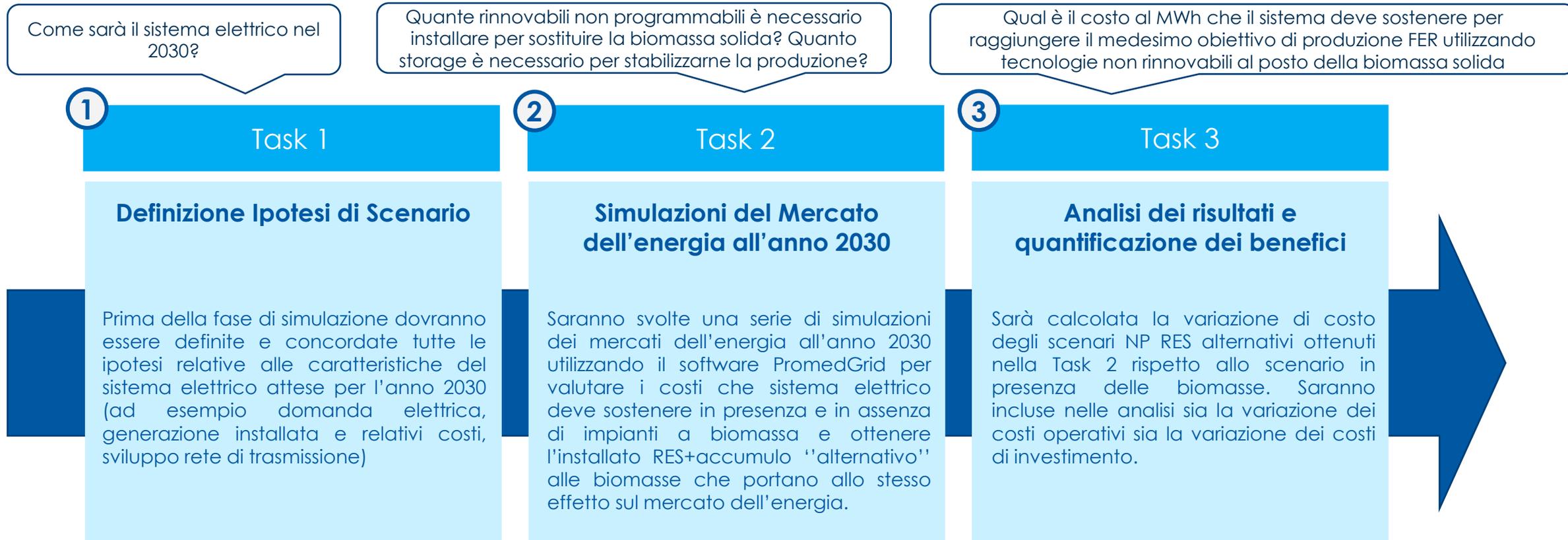
# Introduzione e descrizione delle attività

## Obiettivi

L'obiettivo dello studio è **stimare il beneficio che è possibile ottenere dalla generazione a biomassa solida in uno scenario di medio-lungo termine** considerando le sue caratteristiche di programmabilità.

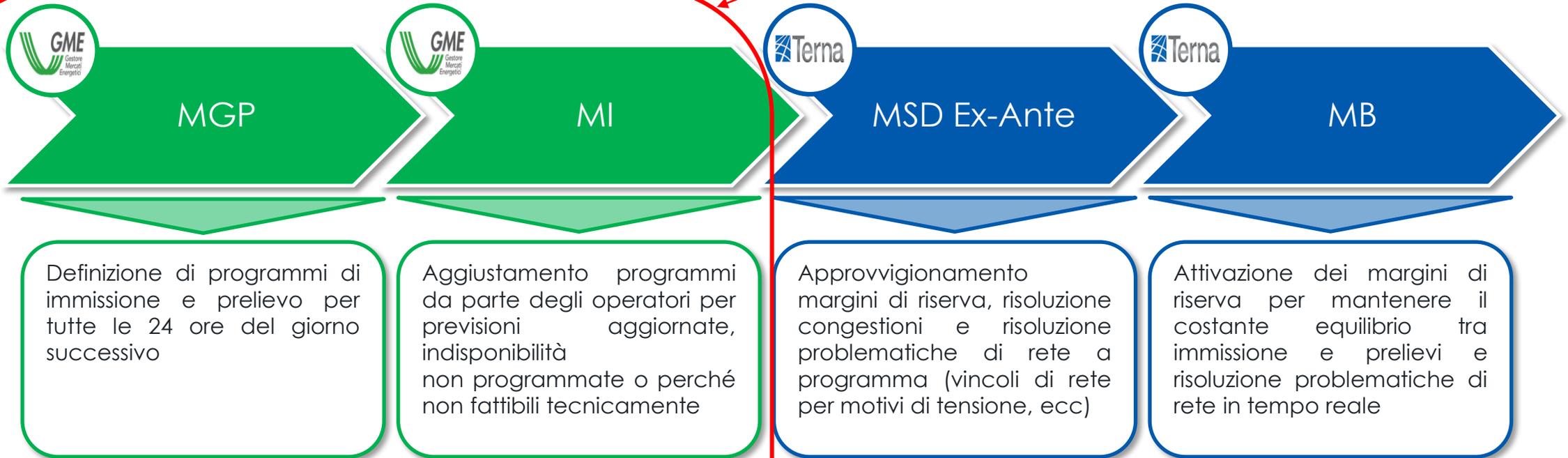
Lo studio prevede la **valutazione dei benefici confrontando i costi che il sistema elettrico deve sostenere in presenza e in assenza di impianti a biomassa per raggiungere il medesimo obiettivo di produzione da fonti rinnovabili all'anno orizzonte 2030.**

## Fasi dello studio



# Introduzione e descrizione delle attività

## Panoramica dei mercati elettrici spot



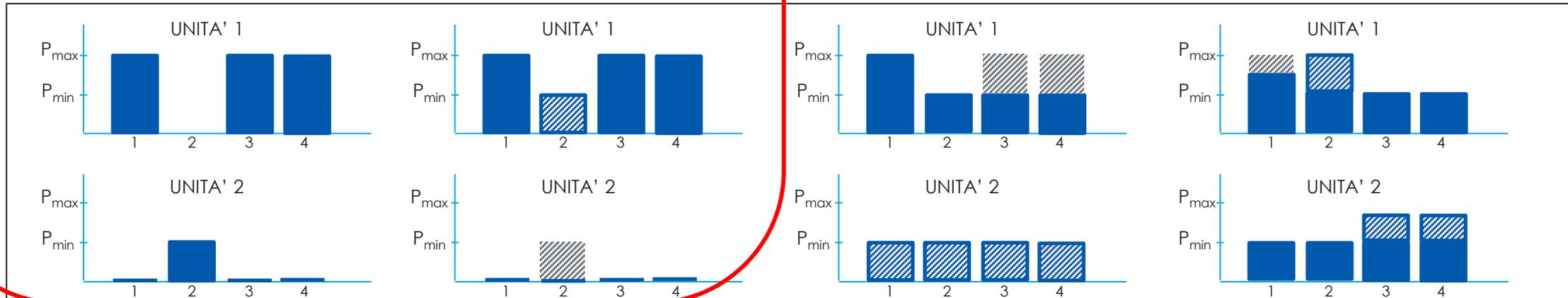
Definizione di programmi di immissione e prelievo per tutte le 24 ore del giorno successivo

Aggiustamento programmi da parte degli operatori per previsioni aggiornate, indisponibilità non programmate o perché non fattibili tecnicamente

Approvvigionamento margini di riserva, risoluzione congestioni e risoluzione problematiche di rete a programma (vincoli di rete per motivi di tensione, ecc)

Attivazione dei margini di riserva per mantenere il costante equilibrio tra immissione e prelievi e risoluzione problematiche di rete in tempo reale

ESEMPIO



# Agenda

---

Introduzione e descrizione delle attività

Metodologia

Ipotesi di scenario

Risultati

Sensitività

Quali sono i parametri caratteristici del mercato in presenza degli impianti a biomassa?

Gli impianti a biomassa possono essere sostituiti da impianti rinnovabili (PV, eolico). Perché tali impianti abbiano le stesse qualità di programmabilità delle biomasse è necessario che siano accoppiati ad accumuli (es, batterie/H<sub>2</sub>).

Quale dimensionamento PV+Eolico+Accumulo è necessario perché si raggiunga la stessa «stabilità» delle biomasse?

Qual è il costo dell'energia rinnovabile che può sostituire le biomasse a parità di condizioni per il sistema (assicurando alla rete la stessa programmabilità)?

A partire da questo valore è possibile proporre un valore di incentivazione coerente con le alternative di mercato.

1

## Analisi scenario base

### Simulazione in presenza degli impianti a biomassa

Simulazione dello **scenario di riferimento in presenza di tutti gli impianti a biomassa solida**.  
**Calcolo dei parametri caratteristici dei risultati di mercato** (es., taglio rinnovabili, surplus dei consumatori/produttori). Tali parametri costituiscono il riferimento per le simulazioni in assenza di biomasse.

2

## Analisi scenari alternativi

### Simulazioni con PV + Eolico + Accumulo in sostituzione alle biomasse

Agli **impianti a biomassa** vengono **sostituiti impianti rinnovabili accoppiati ad accumuli** (es., PV+accumulo, eolico+accumulo).  
**Si dimensionano gli impianti** al fine di garantire lo **stesso output delle biomasse al minimo costo** per l'investitore.  
Si **quantificano gli effetti** che tali installazioni avrebbero **sul mercato dell'energia**.

3

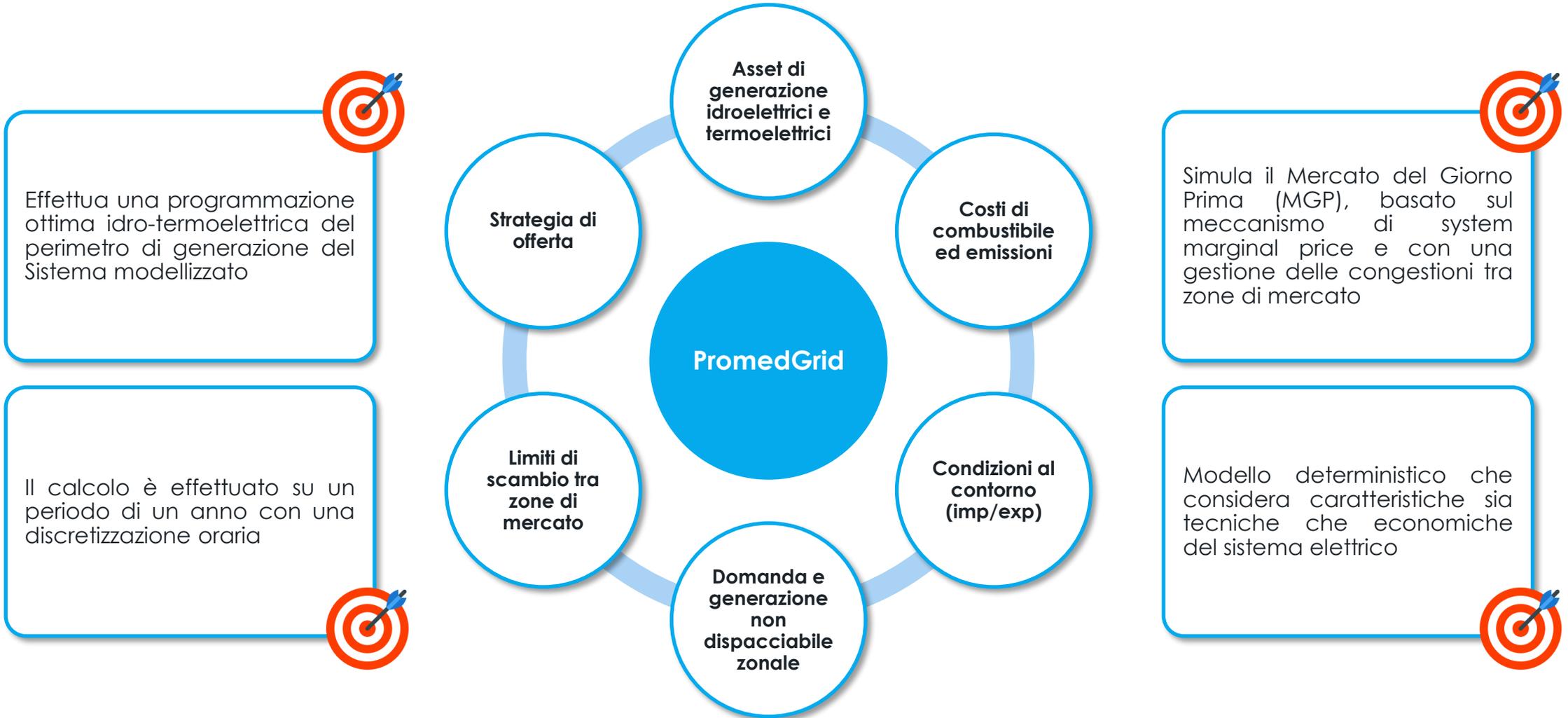
## Costo scenari alternativi

### Calcolo costo combinazioni PV + Eolico+Accumulo equivalenti

Viene calcolato il costo **delle combinazioni PV + Eolico + accumulo** dimensionate allo step precedente. Il costo è valutato tra un massimo (contando il solo investimento) ed un minimo (quantificando anche gli effetti sul mercato dell'energia).  
Il costo unitario (€/MWh) rappresenta il costo di sostituzione dell'energia fornita dalle biomasse.

L'intera analisi presuppone **l'assenza d'investimenti in nuovi impianti** a biomassa: la generazione considerata deriva da **centrali a biomassa solida già esistenti**.

## Simulazione dei mercati dell'energia con il software PromedGrid sviluppato da CESI



# Agenda

---

Introduzione e descrizione delle attività

Metodologia

Ipotesi di scenario

Risultati

Sensitività

## Scenari 2030 selezionati

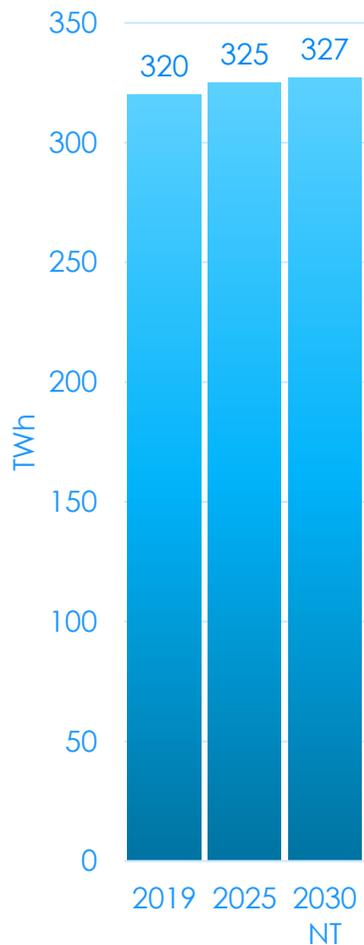
- ❑ L'analisi svolta in modo differenziale ha preso in esame **due scenari (VRES e BIO)** con caratteristiche descritte nelle slide seguenti riguardo:
  - Carico
  - Generazione termoelettrica
  - Rete di trasmissione
  - Biomasse solide
  - Generazione PV
  - Generazione Eolico On Shore
  - Storage

Le ipotesi degli scenari non evidenziate sono relative allo **scenario NT 2030** descritto da:

- **Piano Nazionale Integrato per Energia e Clima (PNIEC)**. Il piano riflette gli obiettivi vincolanti concordati nel quadro dell'Unione europea e descrive in dettaglio la strategia per raggiungerli.
- Documento descrizione scenari **TERNA**. Descrive una visione dettagliata delle ipotesi per il raggiungimento degli obiettivi attesi fissati dal PNIEC nel settore energetico.

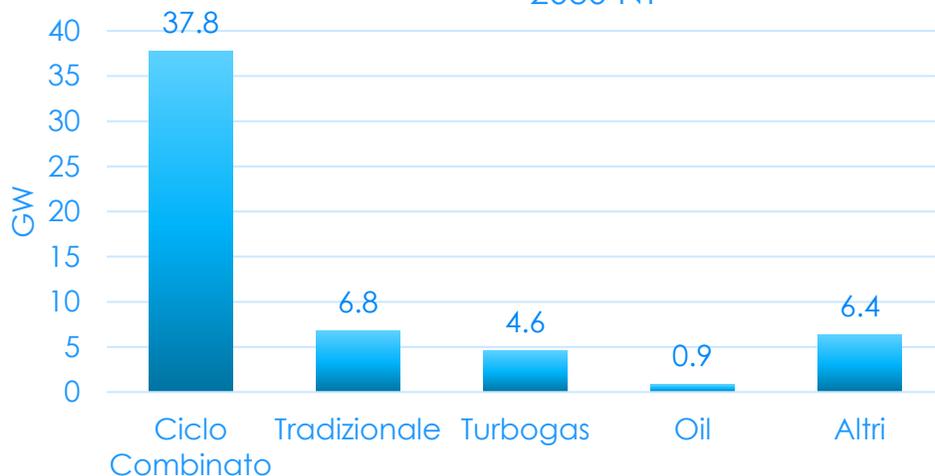
## Carico – Generazione Termoelettrica – Rete Elettrica

Carico Elettrico Italiano

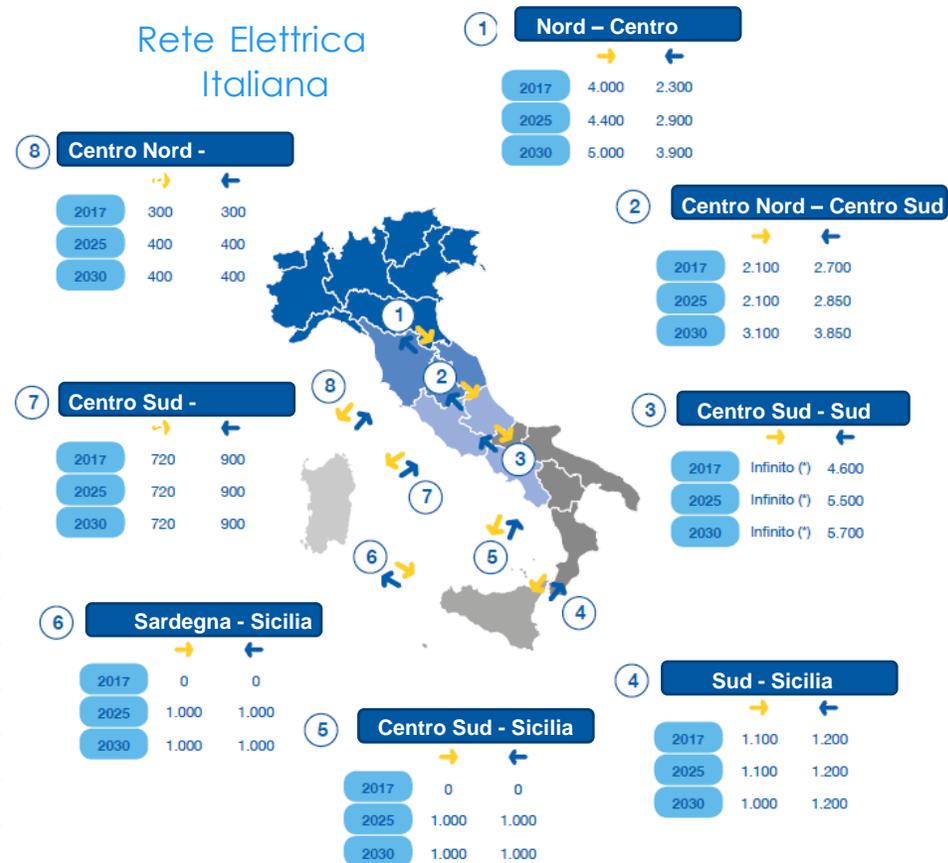


Carico elettrico, generazione termoelettrica e capacità di trasmissione elettrica sono uguali per gli scenari **VRES** e **BIO**.

Produzione Termoelettrica Italiana 2030 NT



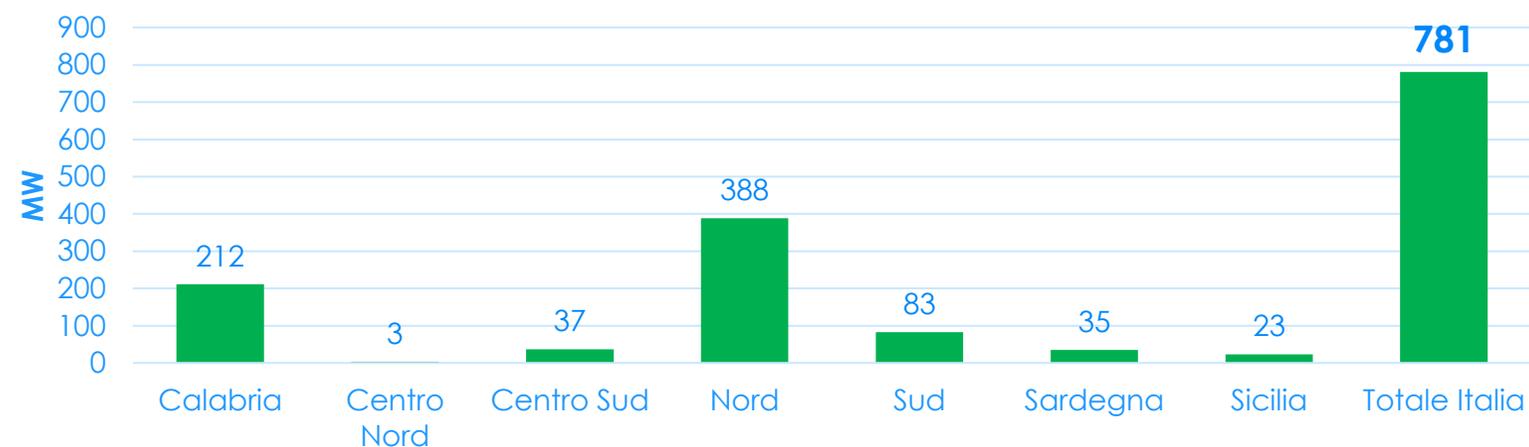
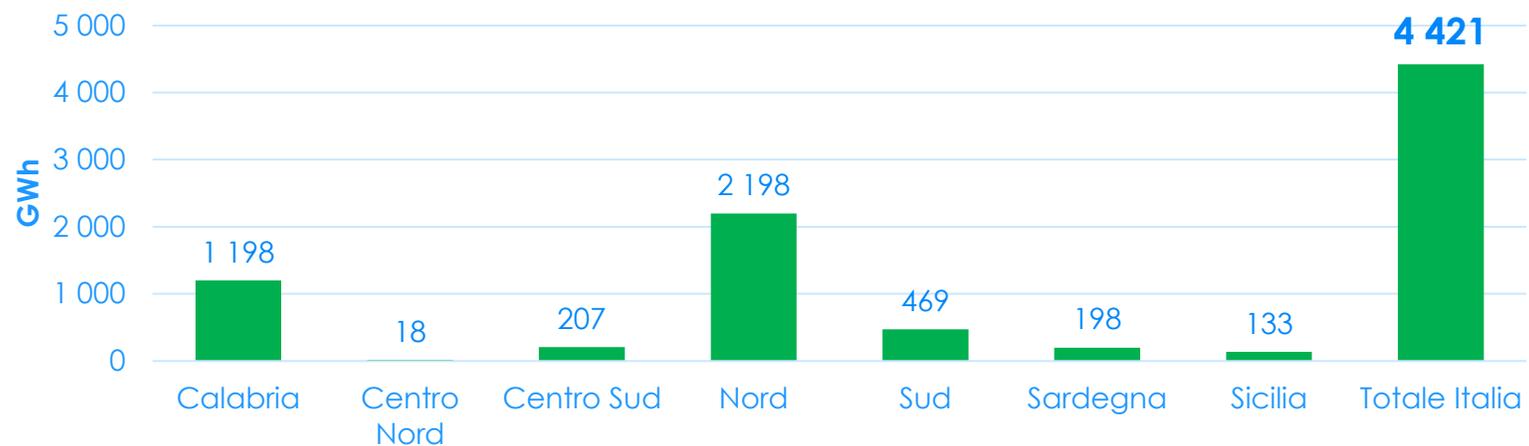
Rete Elettrica Italiana



# Ipotesi di Scenario

## Biomasse solide

BIO



I valori di energia e capacità di biomassa solida inserita nello scenario **BIO** (nei grafici a sinistra) derivano dal **rapporto statistico FER 2020 del GSE (2022)**.

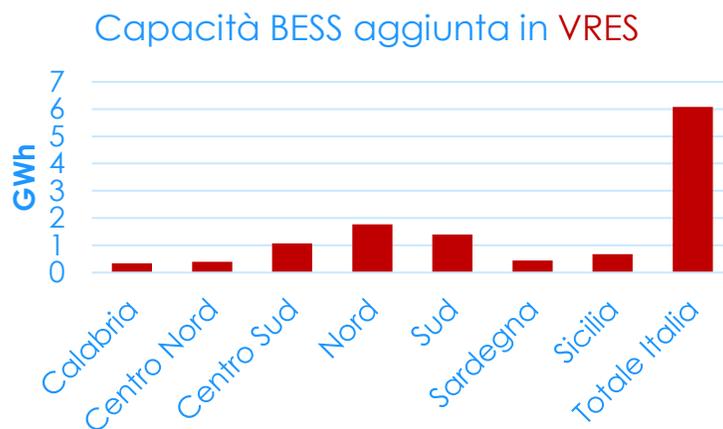
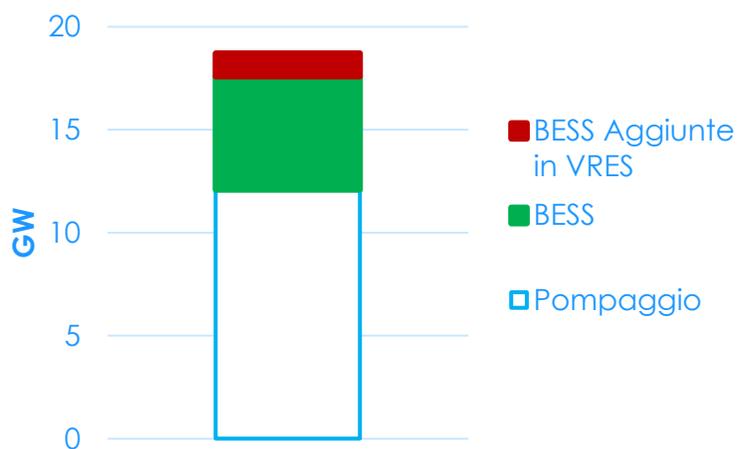
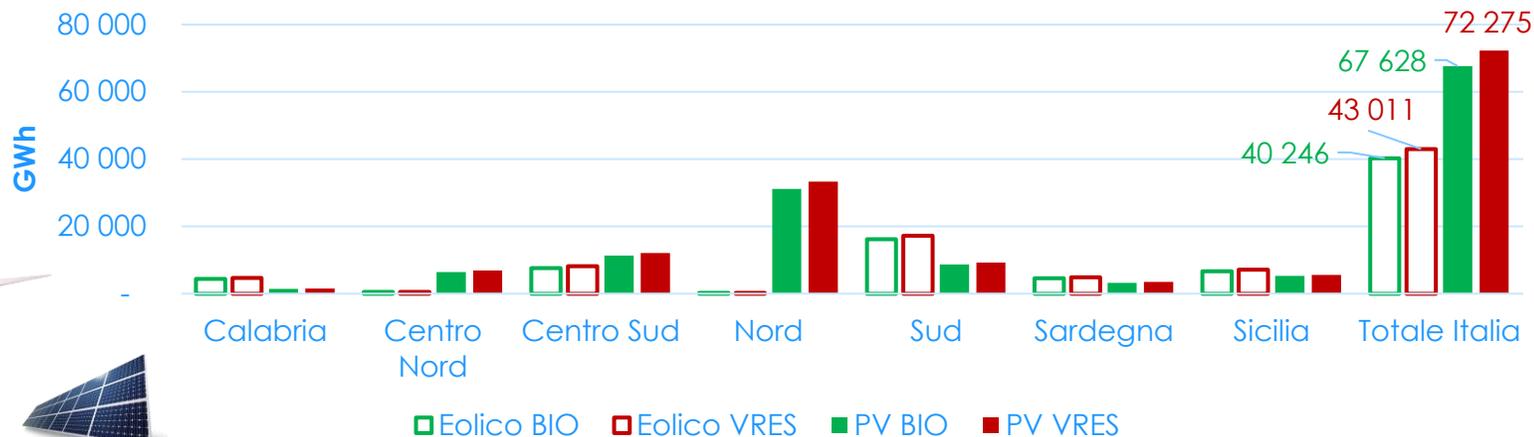
Nello scenario **VRES** non sono presenti invece biomasse solide in quanto nell'originale **PNIEC** sono **assenti nel 2030**.

# Ipotesi di Scenario

## PV – Eolico On Shore - Batterie

BIO

VRES



Lo scenario **VRES** presenta **7.41 TWh** di generazione da PV ed eolico on-shore in più rispetto allo scenario **BIO**.

La necessità di aggiungere **più RES** rispetto alle biomasse solide non aggiunte nello scenario **VRES** è giustificato dall'ottimizzazione e dal rendimento delle **batterie**.

# Ipotesi di Scenario

## Costi di investimento PV, Eolico-On Shore e Batterie usate per calcolo annuity – Scenari Base

	Fotovoltaico	Eolico Onshore		Batterie Li-On
Capacity Factor [Ore Equivalenti]	15% [1323 heq]	25% [2187 heq]	Rapporto energia/potenza	6
Capex 2030 [M€/MW]	0.83	1.35	Capex 2030 [M€/MW]	1.91 (1.56 Solo Storage)
Opex 2030 [%Capex /anno]	2.0%	2.0%	Opex 2030 [%Capex /anno]	0.33%

Sono stati calcolati **2 valori di incentivo** per 2 **casi base** che descrivono due situazioni opposte di **gestione delle batterie** aggiunte nello scenario **VRES**:

- BEST CASE** - Profilo di produzione tra **biomasse** solide in **BIO** e generazione **PV più Eolico** in **VRES uguale** grazie all'aggiunta di **batterie**.
- WORST CASE** - **Ottimizzazione** delle stesse **batterie e rinnovabili** aggiunti nel **BEST CASE** nel solo scenario **VRES**, ma utilizzate secondo le esigenze del sistema elettrico (i.e. minimizzando i costi complessivi di sistema).

❑ Per calcolare i valori di costo unitari per MWh saranno utilizzati i seguenti parametri economici: tasso di sconto WACC = 8%, vita utile = 15 anni, vita utile Storage batterie = 10 anni.

# Agenda

---

Introduzione e descrizione delle attività

Metodologia

Ipotesi di scenario

**Risultati**

Sensitività

# Ottimizzazione Scenario **VRES**

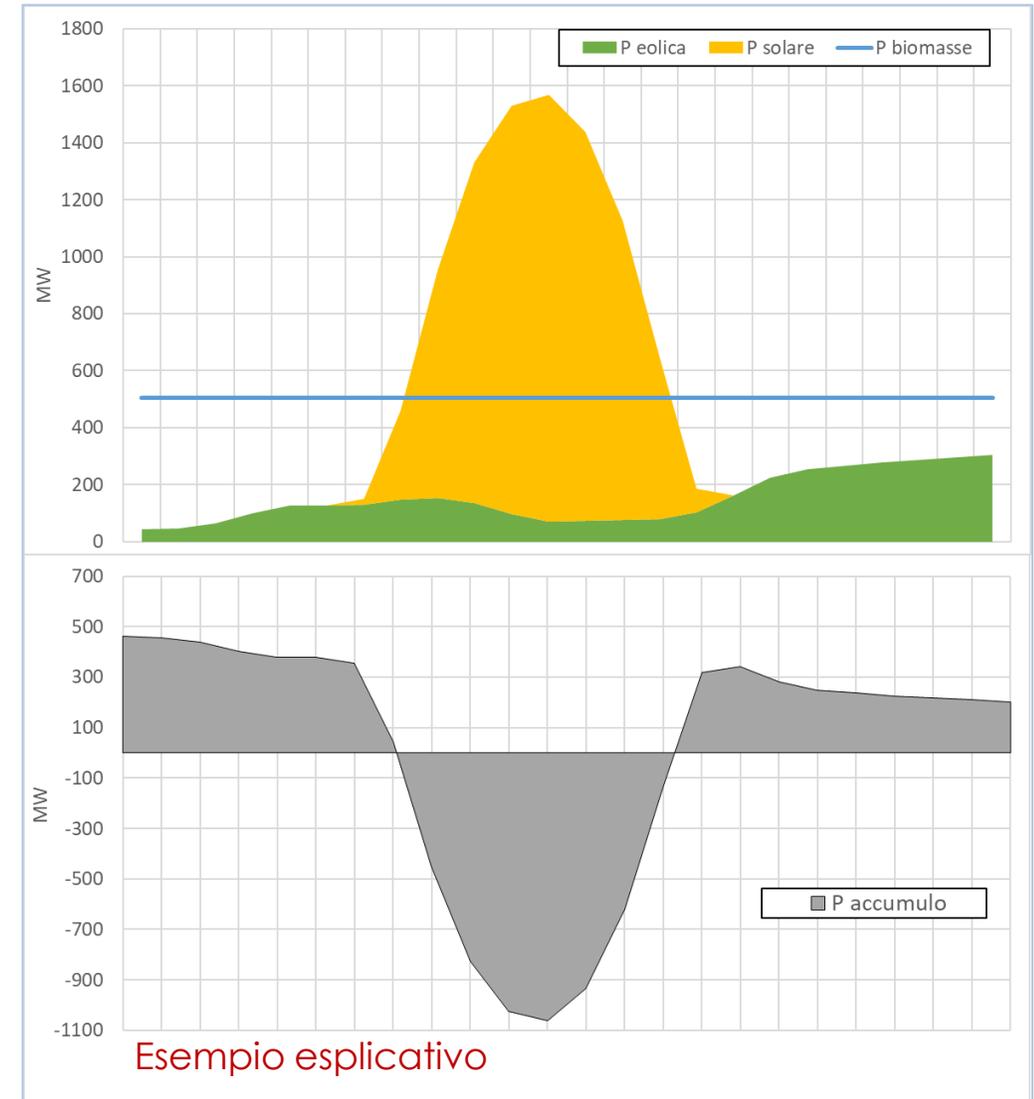
## Dimensionamento BESS, PV e generazione eolica aggiunta nello scenario VRES

Il dimensionamento degli impianti equivalenti PV+Eolico+Batterie è operato sotto l'ipotesi di una perfetta **sostituzione** delle biomasse.

Affinché per il sistema la presenza di PV+Eolico+Accumulo sia **perfettamente equivalente** alla presenza delle biomasse si ipotizza che l'output orario delle due soluzioni coincida.

Si assume una **produzione costante delle biomasse** tale da generare 4.4 TWh in un anno.

È stato sviluppato un **modello di ottimizzazione** che calcola la **soluzione impiantistica meno costosa in termini di CAPEX ed OPEX** con l'obiettivo di **assicurare** sull'intero anno un **output costante identico a quello delle biomasse**.



# Ottimizzazione Scenario VRES

## Dimensionamento BESS, PV e generazione eolica aggiunta nello scenario VRES

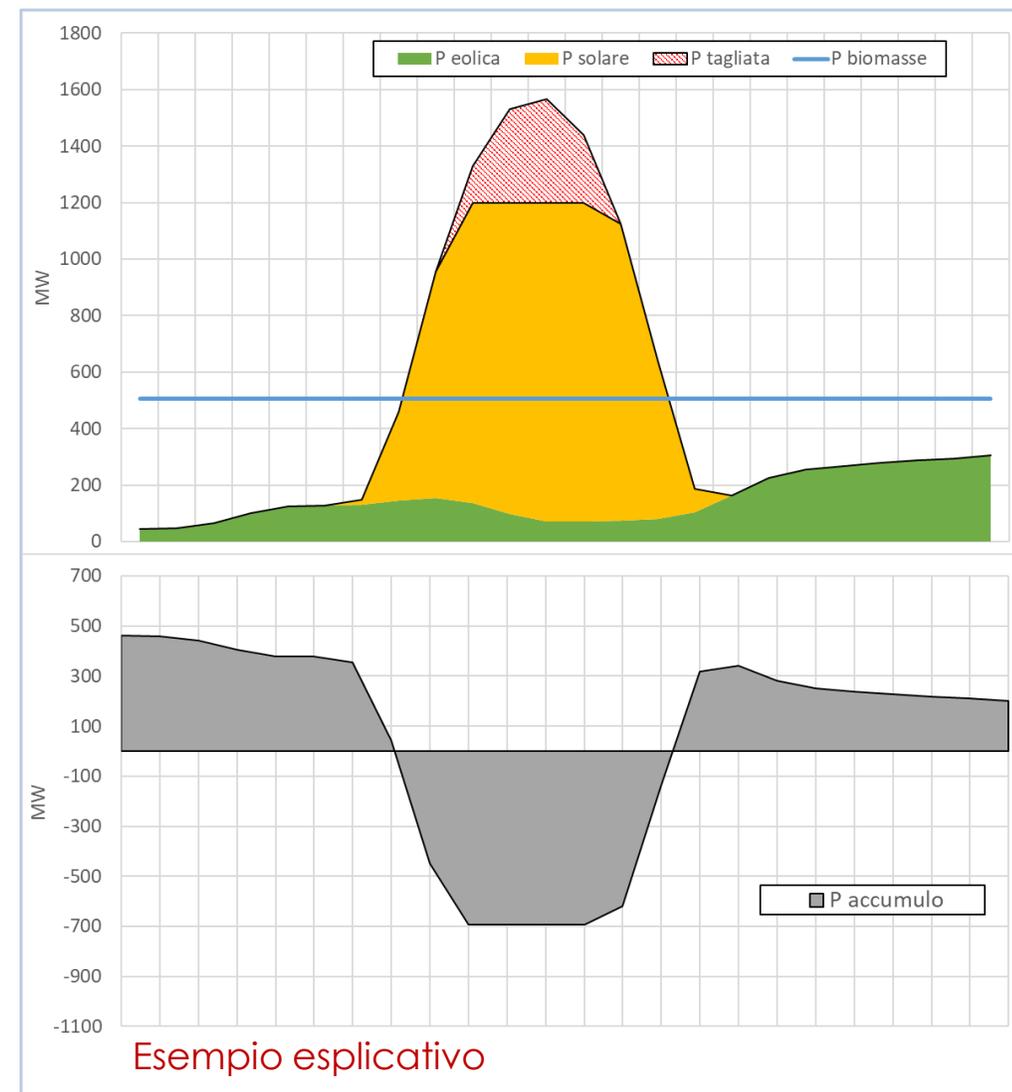
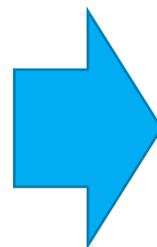


$\eta_{round} = 81\%$

CAPEX	OPEX	Dimensionamento ottimo
1.35 M€/MW	2% Capex/anno	<b>1264 MW</b>
0.83 M€/MW	2% Capex/anno	<b>3514 MW</b>
0.35 M€/MW 0.26 M€/MWh	0.33% Capex/anno	<b>6074 MWh</b> <b>1129 MW</b>

Il dimensionamento ottimo garantisce - al **minimo costo di investimento** - la possibilità di **sostituire le biomasse** a parità di profilo di produzione immesso in rete.

- Il CAPEX+OPEX attualizzato è pari a **7595 M€**;
- La producibilità di PV+Eolico è pari a 7.4 TWh (67% in più delle biomasse). Il sovradimensionamento è dovuto a:
  - Rendimento carica/scarica degli accumuli;
  - Possibilità di tagliare energia in eccedenza.



## Overdimensioning BESS

L'obiettivo dell'*overdimensioning* è quello di ottenere un dimensionamento delle batterie capace di fornire **in media** il valore di ottimo per tutta la durata della loro vita (10 anni): considerando una perdita di capacità lineare, si dovrà ottenere l'**ottimo dopo 5 anni di vita**.

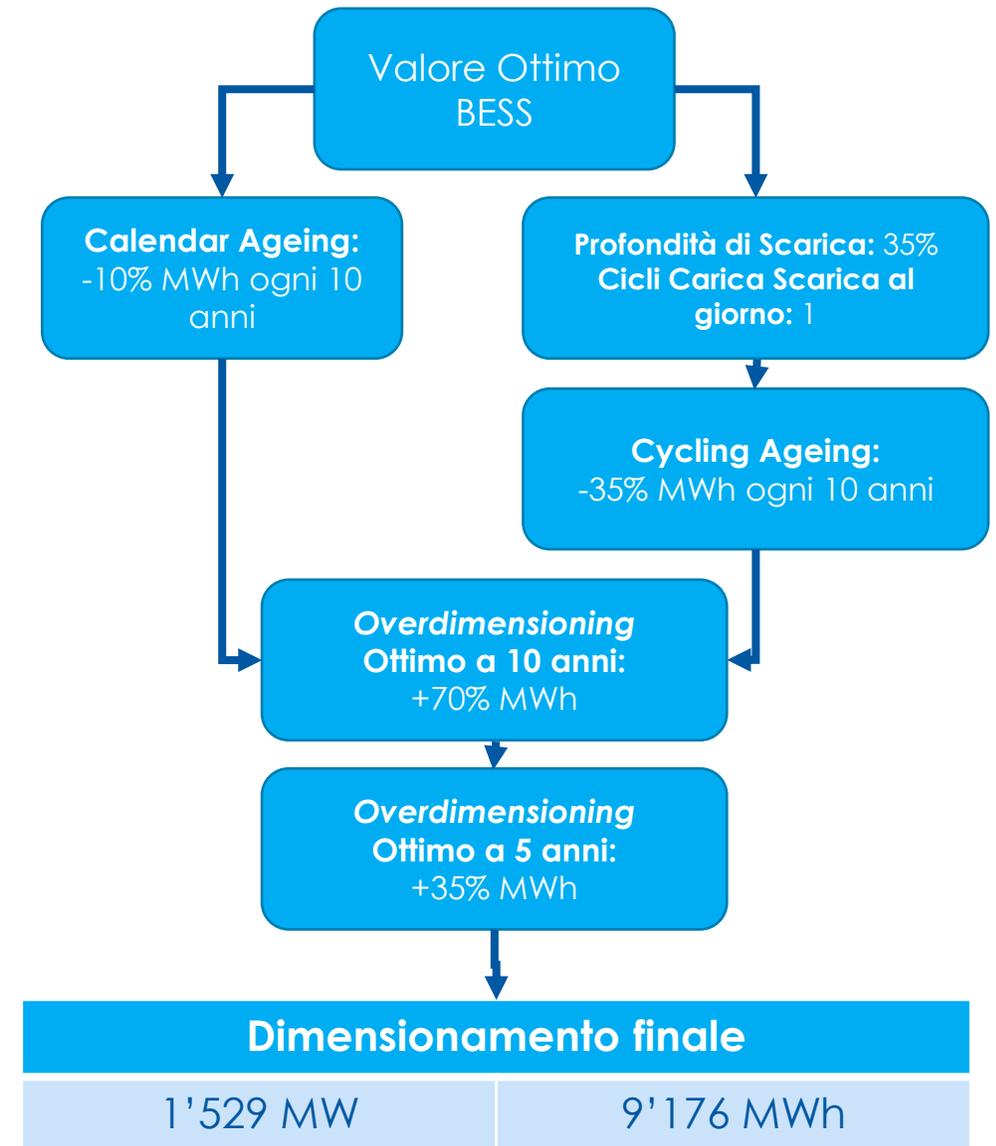
Si è considerata la perdita di capacità delle batterie durante la loro vita inserendo i fattori di:

- **Calendar Ageing** – causa invecchiamento;
- **Cycling Ageing** – causa utilizzo;

Considerando quindi l'andamento lineare della perdita di capacità delle batterie il fattore di *overdimensioning* è stato calcolato essere pari al **35%**.

Tale Capacità dovrà essere sostituita nuovamente dopo 10 anni: la sostituzione riguarderà solo la componente energia.

Fonte: *Lifetime Models for Lithium-Ion Batteries used in Virtual Power Plants* – Aalborg University



# Valore Terminale

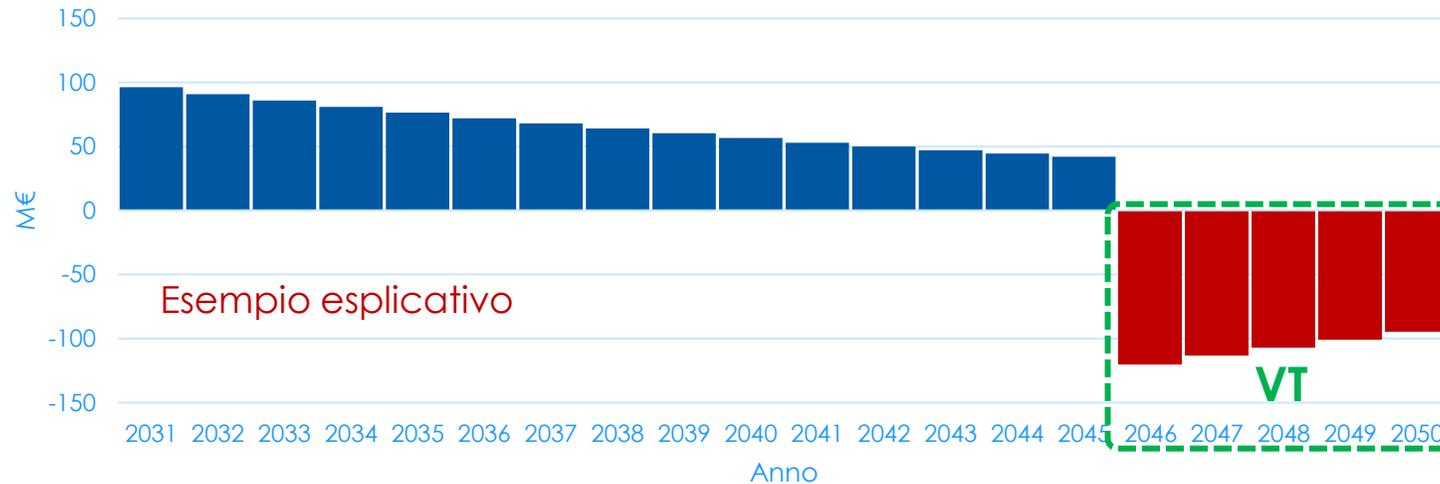
Il Valore Terminale considerato (**VT**) è la somma dell'opposto dei **benefici** che lo scenario **VRES** otterrebbe in più se per altri 5 anni si confrontasse con lo scenario base senza biomasse (scenario **NT 2030**) – si considera che la vita utile di PV, Eolico e componenti di potenza delle batterie sia di 5 anni superiore alle biomasse solide attualmente esistenti.

Il **beneficio** considerato per ogni anno è quindi la differenza del **costo del sistema** valutato come Social Economic Welfare (**SEW**) tra **VRES** e **NT 2030**.

$$VT_{t=15} = \sum_{t=15}^{t=20} DCF (\text{Scenario VRES} - \text{Scenario NT 2030})$$

Si ipotizza inoltre il **valore di mercato** sia **nullo** sia delle **biomasse** (2045) che delle **RES e BESS** (2050) **a fine vita**.

## Discounted Cash Flow - Investimenti



# Risultato 1 – BEST CASE

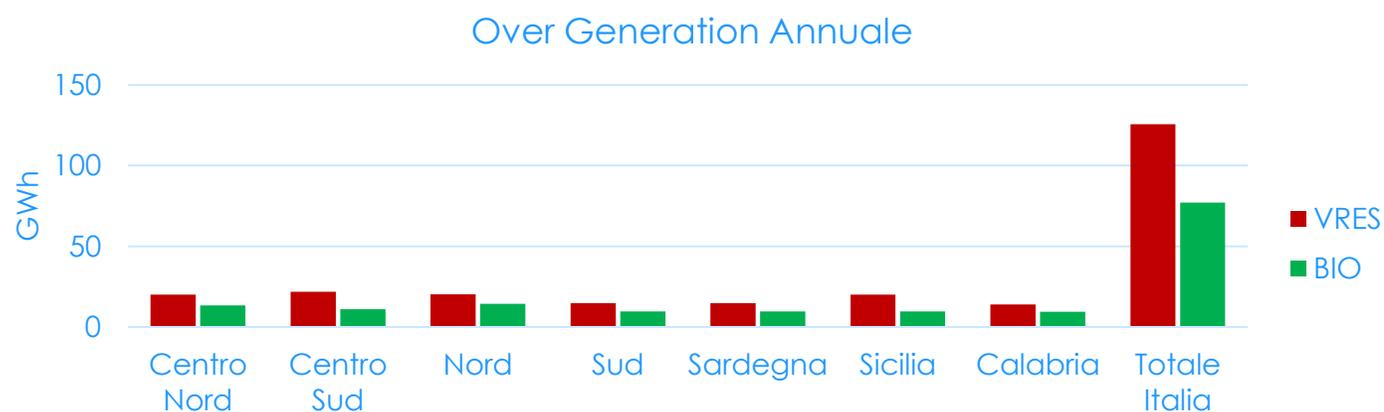
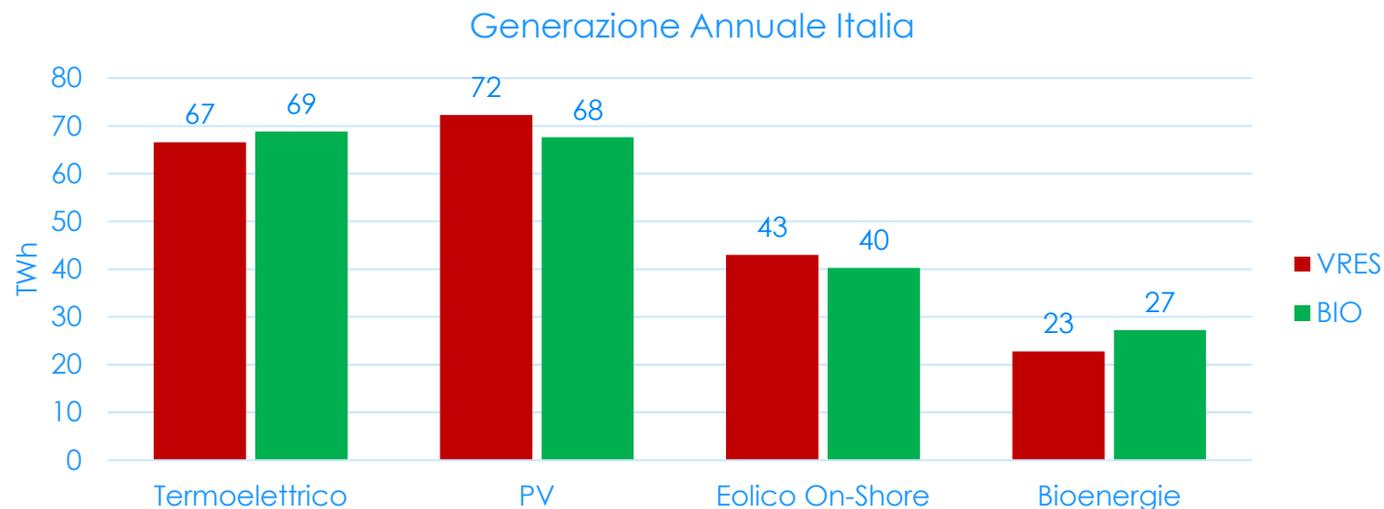
Nel caso in cui tali batterie e rinnovabili vengano usate con lo stesso profilo di produzione delle biomasse (Risultato 1 – **BEST CASE**) si ottiene un **costo di sistema elettrico identico** tra i due scenari.

Imputando il costi di Capex ed Opex di BESS+PV+Eolico sulla sostituzione di **15 anni di biomasse** è possibile calcolare il valore di incentivo in €/MWh tale per cui le due soluzione di scenario **VRES** e **BIO** sono equivalenti.

Il valore di tale incentivo è pari a circa **242 €/MWh**.

BIO - VRES		Valore
Capex PV	M€	2916.92
Opex PV	M€/anno	58.34
Capex Eolico Onshore	M€	1706.71
Opex Eolico Onshore	M€/anno	34.13
Capex BESS	M€	2921.26 + 2385.95 dopo 10 anni
Opex BESS	M€/anno	9.64
Present Value	M€	9137.14
Annualità	M€/anno	1067.49
Energia Prodotta	TWh/anno	4.42
Remunerazione	€/MWh	<b>241.51</b>

# Risultato 2 - WORST CASE



Nel **WORST CASE** si è ipotizzato che lo stesso dimensionamento **BESS+PV+Eolico** venga sfruttato al fine di **massimizzare i benefici** sul mercato dell'energia, anziché per garantire lo stesso profilo di produzione delle biomasse.

Questa ipotesi corrisponde ad un **utilizzo ottimo** per il sistema **delle batterie, disaccoppiate dalla generazione PV+Eolico** aggiuntiva in **VRES**.

# Risultato 2 – WORST CASE

Il **guadagno di sistema** assicurato da questo utilizzo ottimo va considerato come **beneficio** dello scenario **VRES** rispetto a **BIO**.

Come tale, può essere sottratto al Capex+Opex di PV+BESS+Eolico per un **calcolo più cautelativo** dell'incentivo.

Con queste ipotesi l'incentivo è pari a circa **206 €/MWh**.

BIO - VRES		Valore
Guadagno Sistema (diff. SEW*)	M€/anno	-157.51
Capex PV	M€	2916.92
Opex PV	M€/anno	58.34
Capex Eolico Onshore	M€	1706.71
Opex Eolico Onshore	M€/anno	34.13
Capex BESS	M€	2921.26 + 2385.95 dopo 10 anni
Opex BESS	M€/anno	9.64
Present Value	M€	7788.93
Annualità	M€/anno	909.98
Energia Prodotta	TWh/anno	4.42
Remunerazione	€/MWh	<b>205.88</b>

\* Social Economic Welfare

# Agenda

---

Introduzione e descrizione delle attività

Metodologia

Ipotesi di scenario

Risultati

Sensitività

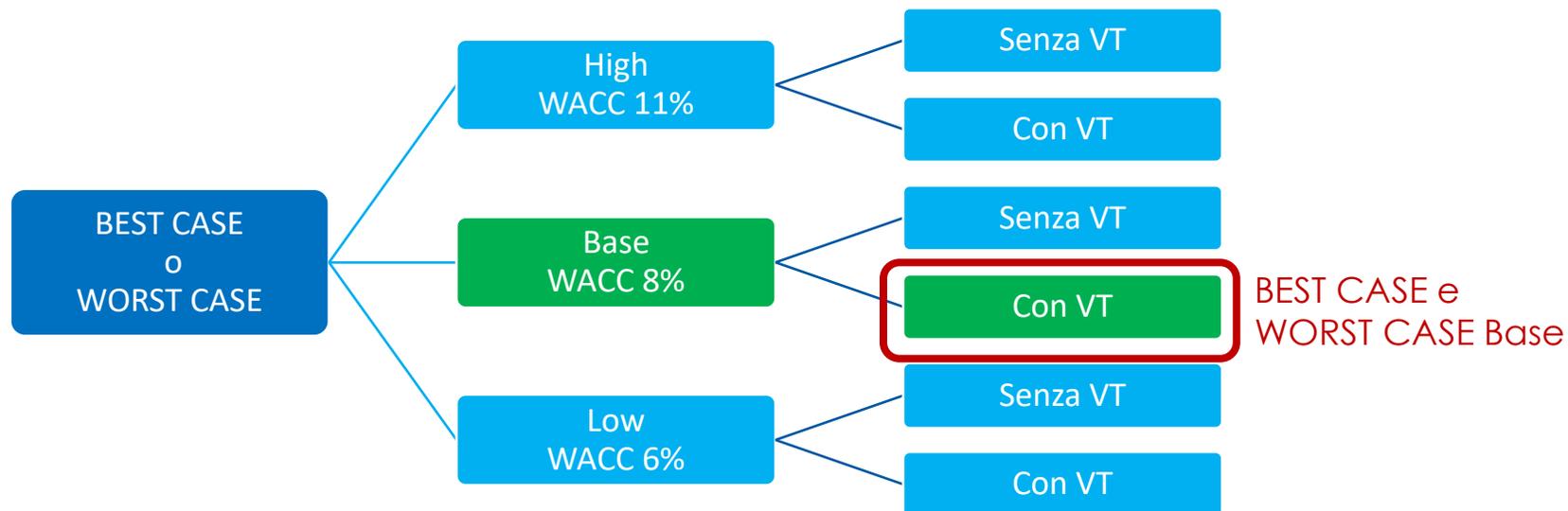
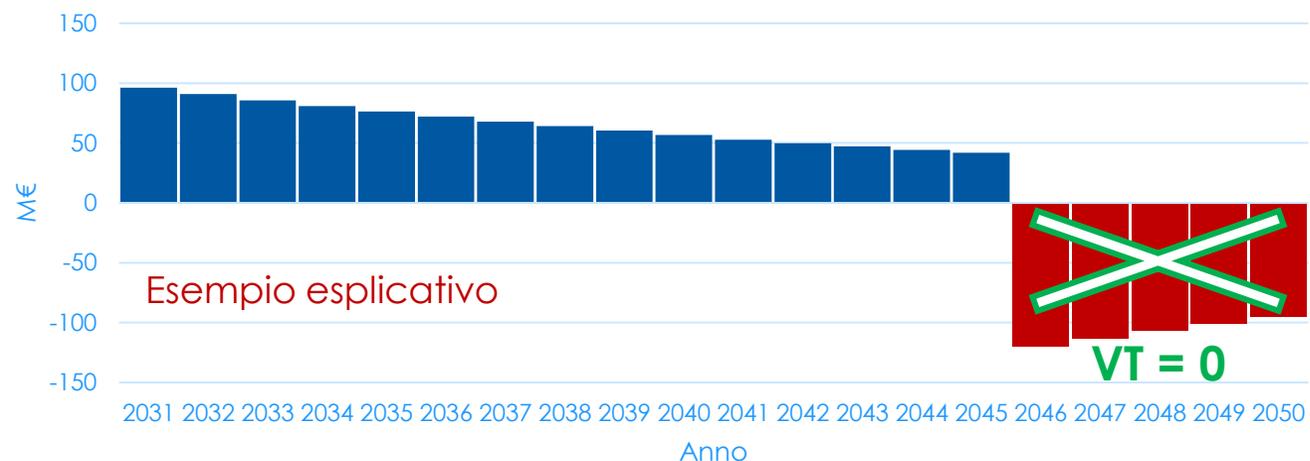
# Sensibilità

## Ipotesi di sensibilità

Dai due scenari base **BEST CASE** e **WORST CASE** sono state svolte analisi di sensibilità al variare di:

- WACC pari all'6% (**Low**) e 11% (**High**)
- Esclusione del Valore Terminale (**VT**) dell'investimento ipotizzando che le **rinnovabili** e le **batterie** abbiano la **stessa vita utile** delle centrali a **biomassa solida**

Discounted Cash Flow - Investimenti



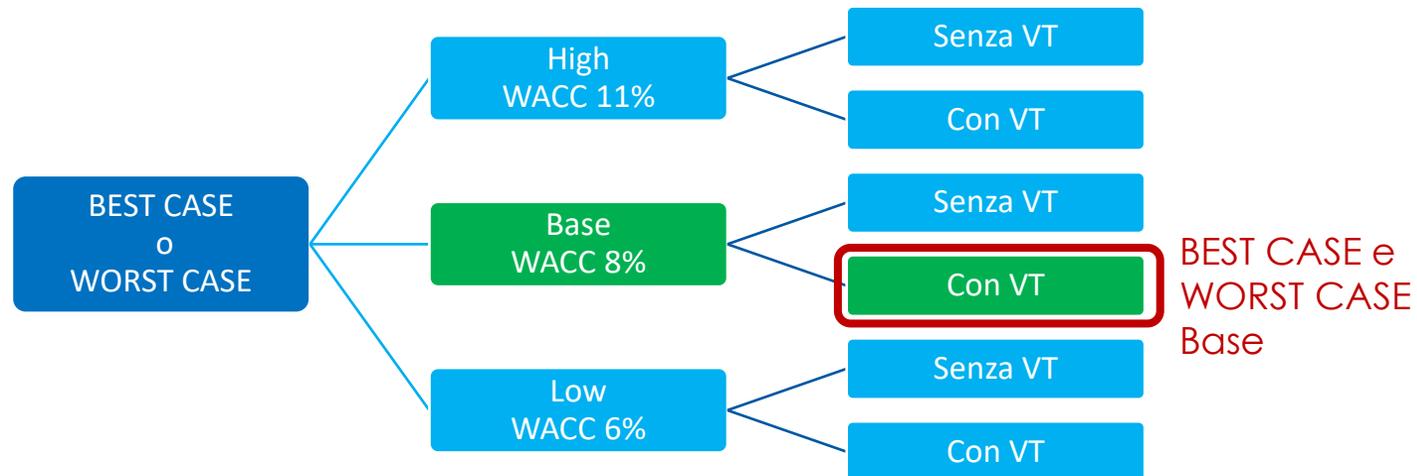
# Sensibilità

## Risultati di sensitività

Le analisi di sensitività effettuate riportano dei valori in linea con i 2 casi base, **BEST** e **WORST**.

La presenza o meno del **Valore Terminale** non risulta essere così determinante per il valore finale di remunerazione. Al contrario, l'analisi risulta essere più sensibile alla variazione di **WACC**.

In particolare il valor **minimo** della casistica presentata è pari a circa **182 €/MWh** di remunerazione per le Biomasse, fino ad un massimo di circa **287 €/MWh**.



Remunerazione €/MWh	Caso di Riferimento	Valore Terminale	Low WACC 6%	Base WACC 8%	High WACC 11%
	BEST	Senza	229.80	251.65	<b>286.85</b>
	BEST	Con	217.32	<b>241.51</b>	279.44
	WORST	Senza	194.16	216.02	251.22
	WORST	Con	<b>181.68</b>	<b>205.88</b>	243.81



Milan · Arnhem · Berlin · Mannheim · Prague · Dubai · Dammam · Santiago de Chile · Rio De Janeiro · Knoxville (USA) · Shanghai