



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

# Solare fotovoltaico

## Workshop Transizione Energetica

*INFN Catania, 21 febbraio 2023*

**Simona De Iuliis - Dipartimento Tecnologie Energetiche e Fonti Rinnovabili**



1101 0110 1100  
0101 0010 1101  
0001 0110 1110  
1101 0010 1101  
1111 1010 0000



# Scenari per il PV

Fonte: ITRPV 2023

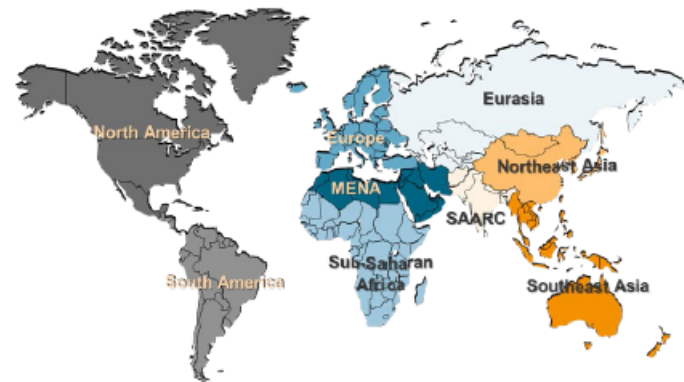
# Confronto tra scenari: capacità e produzione al 2050

Mixed scenario:

18 TWp capacità

30 PWh produzione

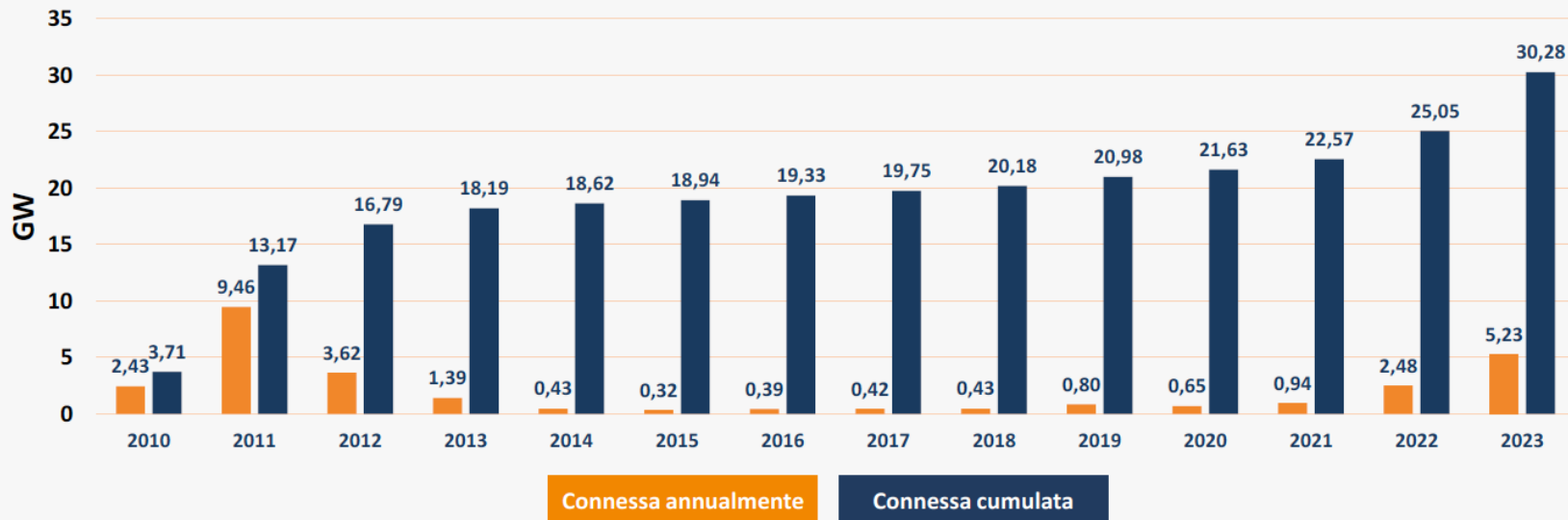
Scenario	Region	Installed power 2050 [TWp]	PV Power generation 2050 [PWh]
IEA Scenario	Americas	2.0	
	AsiaPacific	6.5	
	MENA	0.8	
	Afrika	0.7	
	Europe	0.8	
	ROW	0.5	
	Net Zero adder	4.6	
	total	15.5	27.0
BNEF scenario	total	17.4	
100% Renewables	Sub-Saharan Africa	2.9	
	MENA	4.6	
	North America	7.0	
	Northeast Asia	17.8	
	SAARC	11.9	
	South America	2.3	
	Southeast Asia	5.3	
	Eurasia	2.6	
	Europe	8.9	
	total	63.4	104.0
100% Renewables	Africa + MENA	4.3	
	Americas	2.6	
	Asia	5.0	
	Europe	1.4	
	ROW	4.8	
	total	18.1	



ITRPV 2023

# Dati statistici PV in Italia

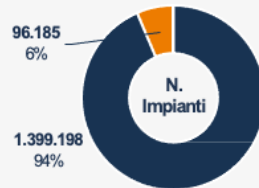
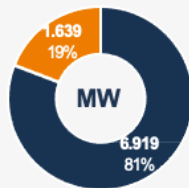
Fonte: Terna, GSE e Italia Solare



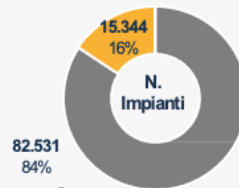
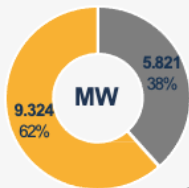
## Evoluzione della potenza installata al 2023

Fonte, Italia Solare

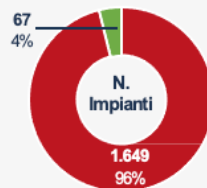
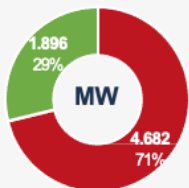
### Settore residenziale



### Settore C&I



### Settore utility scale



	P < 12 kW	12 kW ≤ P < 20 kW	Totale
Potenza connessa (MW)	6.919	1.639	8.558
N. Impianti connessi	1.399.198	96.185	1.495.383
Potenza media impianto connesso (kW)	4,94	17,04	5,72

	20 kW ≤ P < 200 kW	200 kW ≤ P < 1 MW	Totale
Potenza connessa (MW)	5.821	9.324	15.145
N. Impianti connessi	82.531	15.344	97.875
Potenza media impianto connesso (kW)	70,54	607,67	154,74

	1 MW ≤ P < 10 MW	P > 10 MW	Totale
Potenza connessa (MW)	4.682	1.896	6.578
N. Impianti connessi	1.649	67	1.716
Potenza media impianto connesso (MW)	2,84	28,30	3,83

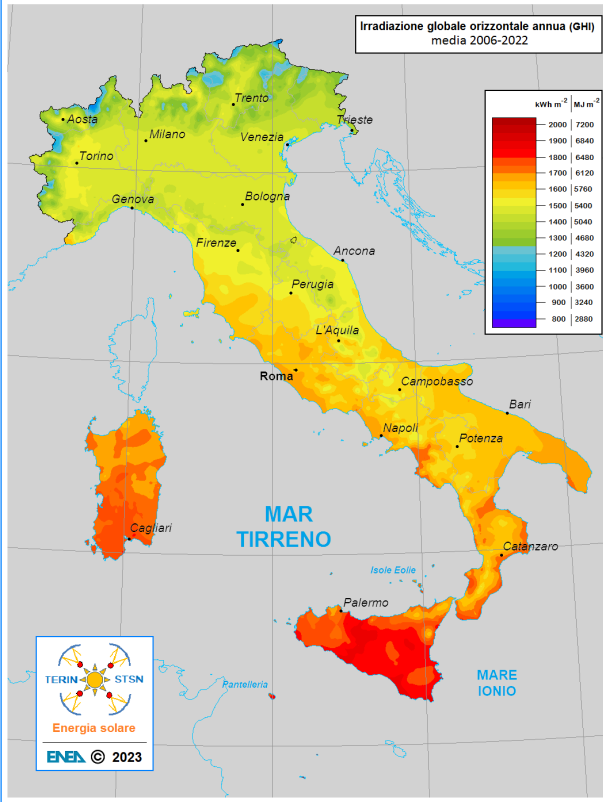
## Installazioni per settore e classi di potenza al 2023

Fonte, Italia Solare

## ITALIA

Carta della radiazione solare

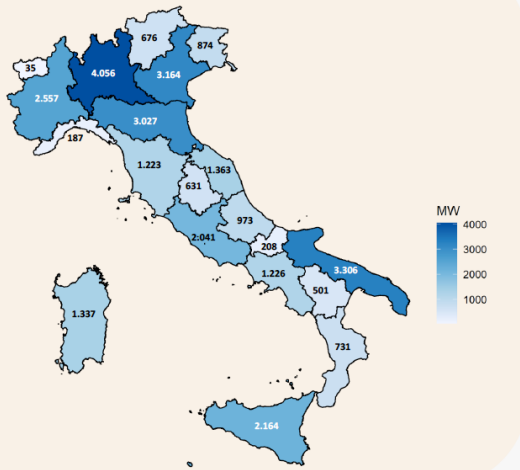
Irradiazione globale orizzontale annua (GHI)  
media 2006-2022



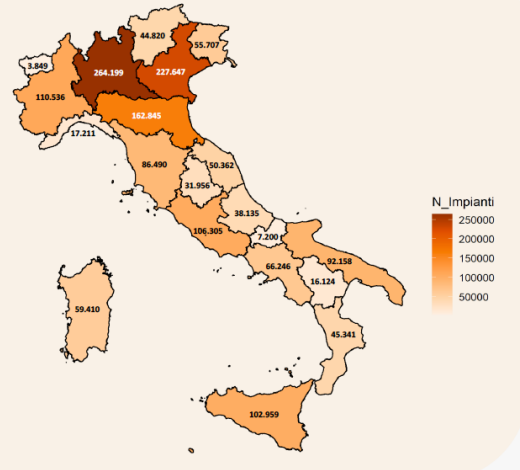
# Distribuzione regionale per potenza e numero di impianti al 2023

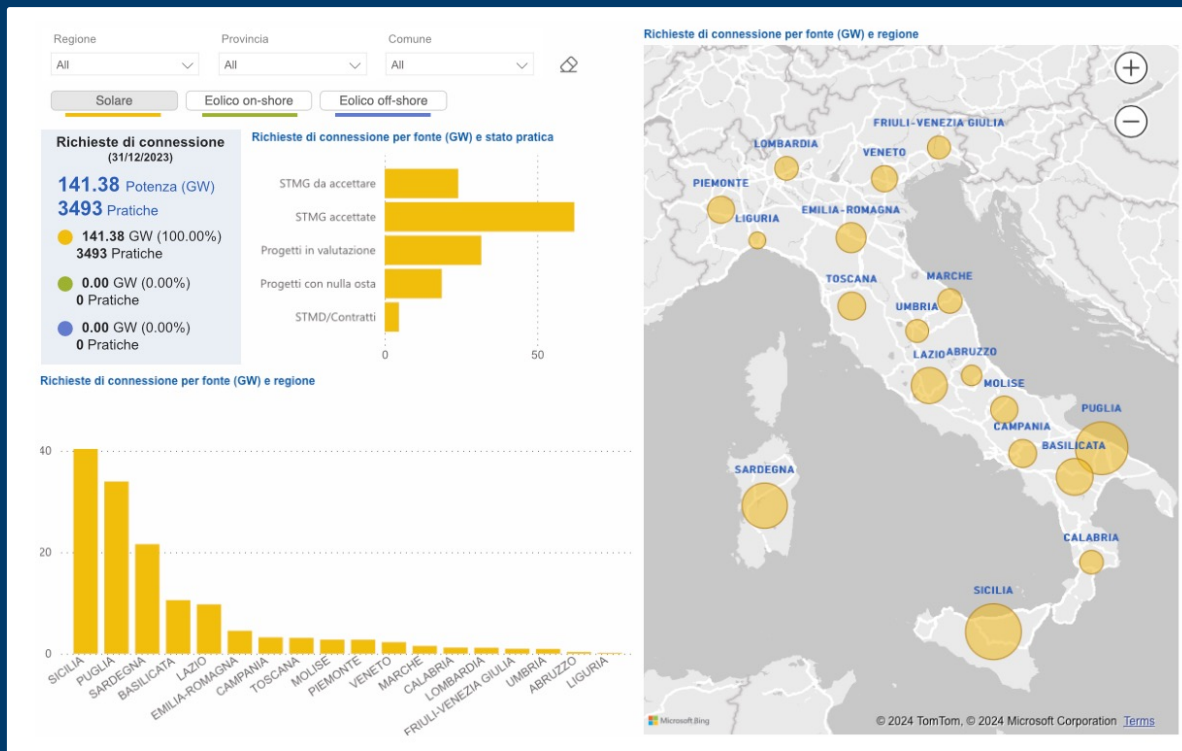
Fonte, Italia Solare

Distribuzione regionale potenza connessa



Distribuzione regionale N. Impianti connessi





**Richieste di connessione per fonte (GW) e regione**

Microsoft Bing © 2024 TomTom, © 2024 Microsoft Corporation [Terms](#)

## Richiesta nuove connessioni al 31/12/2023 - Terna

<https://www.terna.it/it/sistema-elettrico/rete/econnexion>



## Costi elettricità da PV in Italia

Fonte: GSE, GME, ARERA, RE-Source, Italia Solare

Con gas già solo a 30 €/MWh e CO<sub>2</sub> a 60-90 €/ton, costo elettricità da gas difficilmente scende sotto 90-100 €/MWh

PV fatto con criteri di efficienza conviene, sia in rete che in autoconsumo

## Costo elettricità FV ( $\geq 1$ MW) in rete e da mercato

- PV in CfD ASTE ( $P \geq 1$  MW): circa 2300 MW aggiudicati con aste in ambito DM 4 luglio 2019 a tariffe intorno a **70 €/MWh** nei bandi 2021-23
- PV in PPA: oltre 800 MW in 2023 a prezzi **60-80 €/MWh**
- PUN medio annuo:
  - 2021: 125,46 €/MWh
  - 2022: 303,5 €/MWh
  - 2023: 127,24 €/MWh

Fonti: per FV sito GSE; per PUN sito GME, per PPA: RE-Source

# Costo elettricità al consumo e da FV < 1 MW

- **Costo elettricità da mercato al consumo**
  - Utenze domestiche maggior tutela
    - prezzo di riferimento 1° trimestre 2024: 252,4 €/MWh (da luglio mercato libero)
  - Utenze media tensione
    - Prezzo da mercato libero
    - In ogni caso, prezzo al consumo include voci regolate proporzionali a consumi: parti variabili di oneri di sistema e di rete, perdite di rete, dispacciamento imposte: valore attuale di queste voci circa 50 €/MWh
- **Costo energia da PV (<1 MW):** variabile con dimensioni, collocazione..., ma tipicamente 100-150 €/MWh (si vedano anche registri DM 4 luglio 2019)
- Su energia autoconsumata non si pagano voci regolate proporzionali a consumi

Fonte: Arera per utenze al consumo; stima per voci proporzionali al consumo

# Obiettivi PV in Italia al 2030

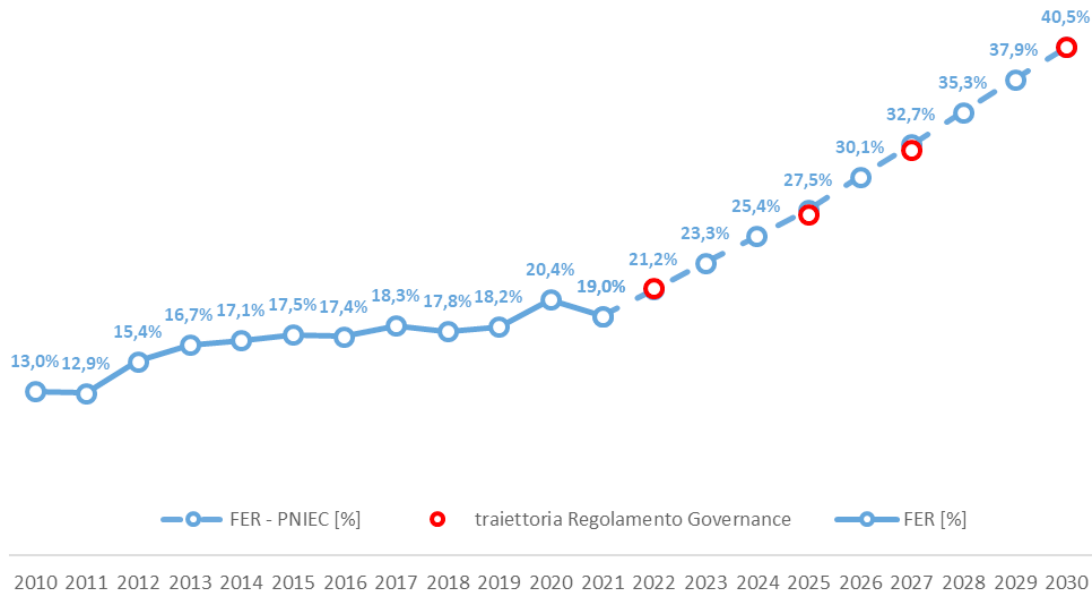
Fonte: PNIEC

# Obiettivi Italia 2030

Dimensione della decarbonizzazione

Traiettoria della quota dei Consumi Finali Lordi (CFL) di energia coperta da fonti rinnovabili\*

Al 2030, CFL circa 106 Mtep, di cui circa 43 Mtep da FER (40,5%)



\* Per gli anni fino al 2020 si applicano i criteri contabili della RED I; a partire dal 2021 si applicano i principi contabili della RED II, così come modificata dalla RED III.

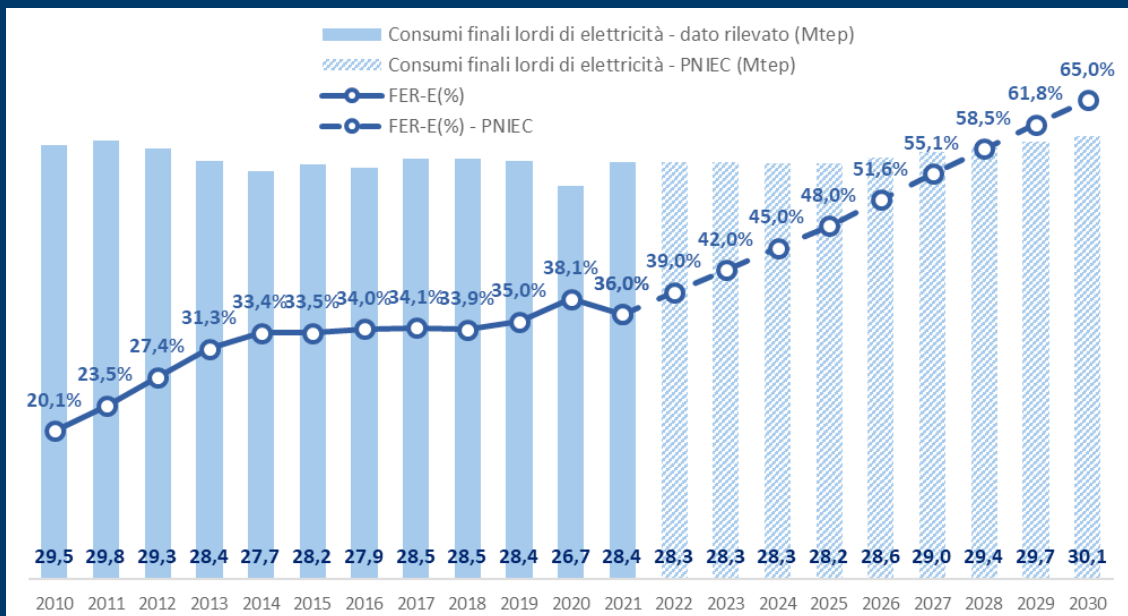
# Obiettivi Italia 2030

Dimensione della decarbonizzazione

Traiettoria della quota dei Consumi Finali Lordi (CFL) di elettricità coperta da fonti rinnovabili elettriche\*

Al 2030, CFL circa 30,1 Mtep, di cui circa 19 Mtep da FER-E (65%)

PIANO NAZIONALE INTEGRATO PER L'ENERGIA E IL CLIMA - giugno 2023



\* Per gli anni fino al 2020 si applicano i criteri contabili della RED I; a partire dal 2021 si applicano i principi contabili della RED II, così come modificata dalla RED III.

# Obiettivi FER elettrica al 2030: capacità e produzione

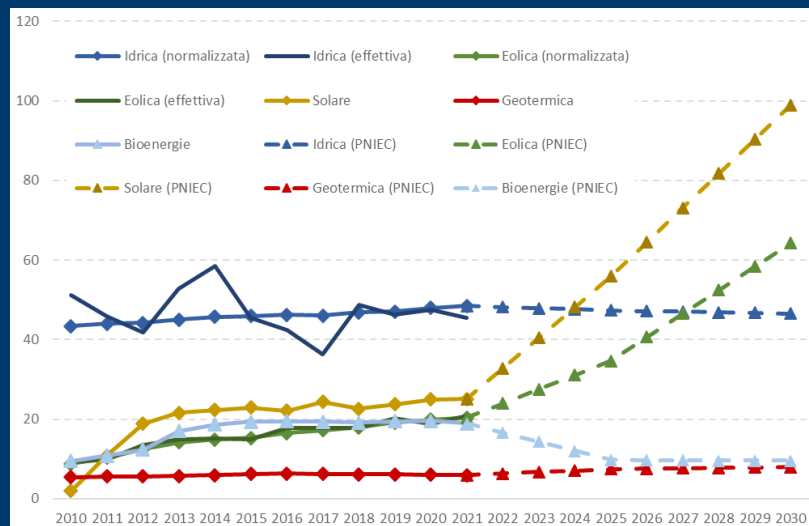
Circa 80 GW di nuova capacità e 227 TWh di generazione complessiva (19 Mtep)

Obiettivi di crescita della potenza da fonte rinnovabile al 2030 (MW)

	2020	2021	2025	2030
Idrica*	19.106	19.172	19.172	19.172
Geotermica	817	817	954	1.000
Eolica	10.907	11.290	17.314	28.140
- di cui off shore	0	0	300	2.100
Bioenergie	4.106	4.106	3.777	3.052
Solare	21.650	22.594	44.848	79.921
- di cui a concentrazione	0	0	300	873
<b>Totale</b>	<b>56.586</b>	<b>57.979</b>	<b>86.065</b>	<b>131.285</b>

\*sono esclusi gli impianti di pompaggio puro e misto.

Obiettivi di crescita al 2030 della quota rinnovabile nel settore elettrico (TWh)



Obiettivi PV al 2030 da PNIEC:  
considerazioni

## Limitare l'impatto sul consumo del suolo

- Stimolare nuova produzione, ma anche preservare quella esistente e anzi, laddove possibile, incrementarla promuovendo il revamping e repowering di impianti.  
promuovendone l'installazione innanzitutto su **edificato**, tettoie, parcheggi, aree di servizio, ecc.
- Diffusione di grandi impianti fotovoltaici a terra, privilegiando però zone improduttive, non destinate ad altri usi, quali le superfici non utilizzabili a uso agricolo, anche attraverso il processo di identificazione delle **aree idonee**.  
andranno favorite le realizzazioni in aree marginali, siti contaminati, discariche e aree lungo il sistema infrastrutturale.
- Si favoriranno altresì installazioni **agrivoltaiche**, volte a massimizzare la sinergia tra la produzione di elettricità e l'attività agricola, nel rispetto di determinati requisiti tecnici e ambientali.
- Si favorirà la realizzazione di impianti fotovoltaici di tipo **"floating"**, sia su acque interne sia offshore.



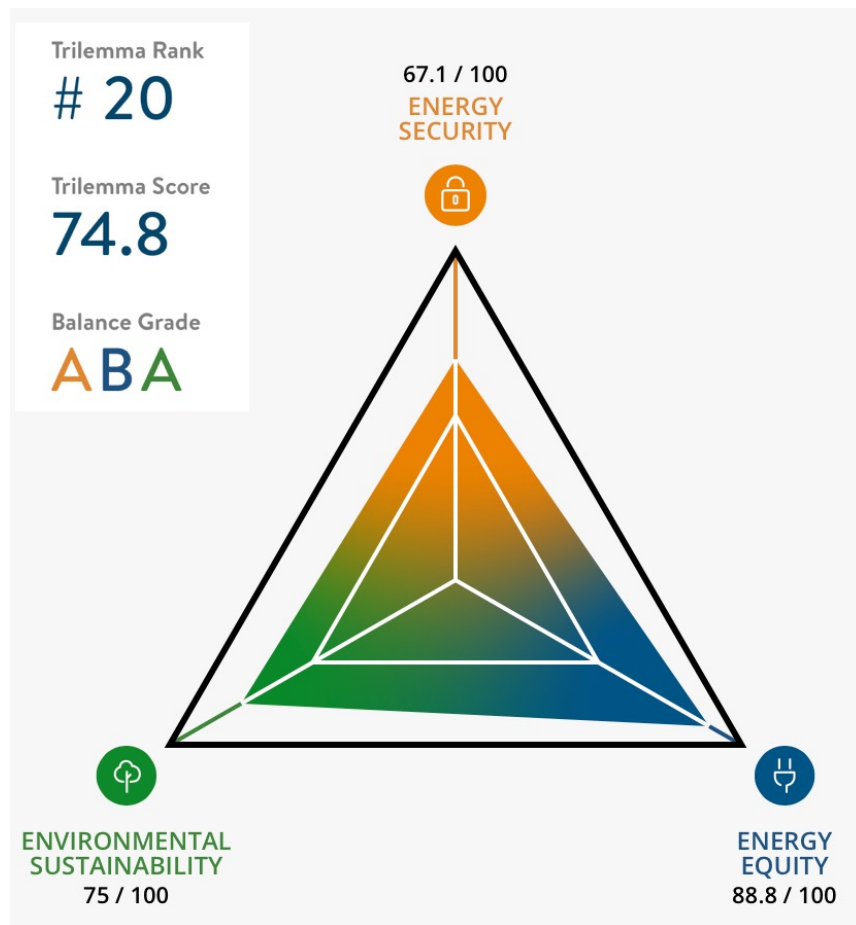
# Il trilemma dell'energia

Impegna tutti gli Stati a trovare un bilanciamento il più possibile ottimale ed equilibrato di tre aspetti chiave:

- la **sicurezza** nell'approvvigionamento energetico;
- la **sostenibilità** ambientale, anche in risposta all'emergenza climatica; e
- l'**equità** energetica, ossia la garanzia di accesso della popolazione all'elettricità a un prezzo conveniente.

Va trovato il giusto equilibrio tra varie esigenze, ognuna delle quali ha pari importanza.

World Energy Council  
dati per l'Italia al 2022



## Il ruolo della ricerca

La ricerca deve proporre «**soluzioni**» innovative a livello di singola **tecnologia** e di **sistema** per fornire gli strumenti che abilitino la transizione lungo l'intera filiera e garantire il raggiungimento dei target energetici e ambientali nazionali, Europei e mondiali.

# Principali obiettivi

- Sviluppare metodologie innovative per **ottimizzare la gestione e la collocazione di impianti FV**, contribuendo così a massimizzare la produzione di energia elettrica da solare fotovoltaico;
- Studiare **nuove soluzioni** che favoriscano la penetrazione del FV nel sistema elettrico (agrivoltaico, BIPV, ...);
- **Migliorare l'efficienza di generazione** elettrica dei moduli FV mediante lo studio di **nuovi materiali e architetture di dispositivo** ad alta efficienza e più sostenibili.



# Installazione su edifici

Strumenti di pianificazione efficaci: «Il catasto solare»

Mappa "catastale" per calcolare il potenziale del fotovoltaico in città

Si tratta di uno strumento GIS che consente di valutare in maniera accurata il potenziale di energia fotovoltaica producibile in città, tenendo conto di geometria degli edifici, aree verdi, inquinamento dell'aria e attività antropiche

Il catasto solare è stato già sperimentato a Portici, dove si è stimato che l'installazione di pannelli fotovoltaici sui tetti potenzialmente idonei consentirebbe di produrre circa 500 GWh/anno.



Portici

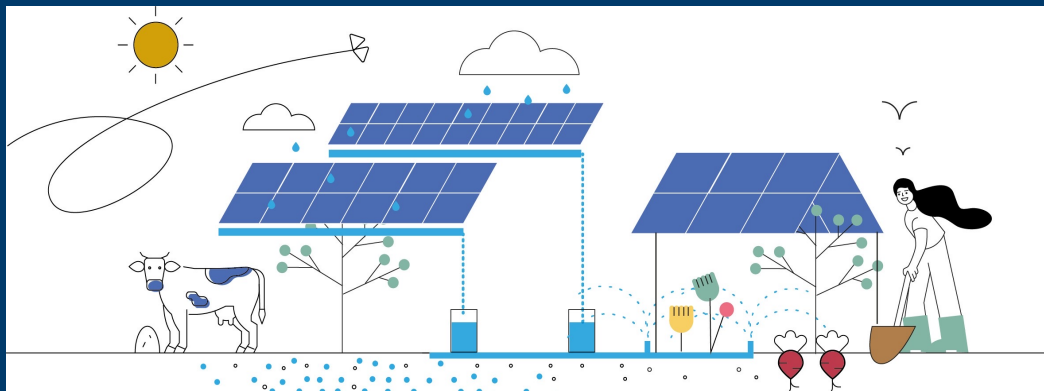


Centro Ricerche ENEA di Portici



Reggia di Portici

# Agrivoltaico



<https://www.associazioneitalianagrivoltaicosostenibile.com>

## La S che fa la differenza

La sostenibilità di un sistema agrivoltaico deriva dal valore aggiunto apportato alla produzione agricola, all'ambiente e al paesaggio, nel rispetto e o nel miglioramento della biodiversità e delle qualità ecosistemiche dei siti a supporto delle comunità locali.



# ALGOVOLTAICO, IL DIMOSTRATORE @ENEA PORTICI

Due generatori da 9 moduli FV (3,4kWp) con moduli std e bifacciali, ognuno con un fotobioreattore  
Allo scarico dei circuiti è collegata un'unica centrifuga per la separazione delle microalghe dall'acqua di coltura e la raccolta ( 30kg/anno)



# MAPPA DEL POTENZIALE AGRIVOLTAICO NAZIONALE



Fattoruso Grazia et al., G. A Spatial Multicriteria Analysis for a Regional Assessment of Eligible Areas for Sustainable Agrivoltaic Systems in Italy, Sustainability 2024, 16, 911.  
<https://doi.org/10.3390/su16020911>

Earthstar Geographics



## PIANO TRIENNALE DI REALIZZAZIONE 2022-2024 DELLA RICERCA DI SISTEMA ELETTRICO NAZIONALE

**Progetto integrato Fotovoltaico ad alta efficienza**

Accordo di Programma ENEA-MASE

Responsabile: Paola Delli Veneri





# REALIZZAZIONE E MONITORAGGIO DI UN DIMOSTRATORE

## ENEA

- Progettazione e realizzazione di un impianto dimostratore agrivoltaico fisso presso Scalea, dotato dei necessari strumenti di monitoraggio dei parametri elettrici e agronomici.
- Monitoraggio dei dati di irraggiamento, dei parametri elettrici e della produzione energetica dell'impianto.



Primo prototipo - Scalea (CS)  
Photo credit: EF Solare Italia - Le Greenhouse

# RISULTATI FISIOLÓGICI E PRODUTTIVI SPECIE ARBOREE DIVERSE

Università di Bari "Aldo Moro", Dipartimento di Scienze del Suolo, della Pianta e degli Alimenti

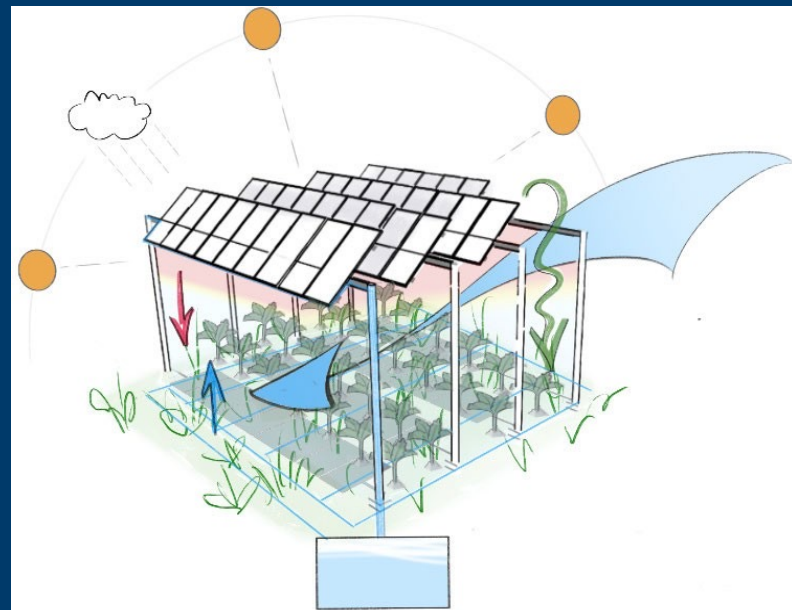
- Caratterizzazione/descrizione di specie frutticole e/o arbustive potenzialmente impiegabili nei sistemi agrivoltaici.
- I dati micro-ambientali, fisiologici, qualitativi e produttivi delle specie poste sotto moduli fotovoltaici forniranno precise informazioni al fine di stabilire la compatibilità delle specie esaminate con la presenza e la tipologia dei moduli.



# INDIRIZZI PER LA SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE DEL PROGETTO

Università di Napoli “Federico II”, Dipartimento di Architettura

- Linee guida per la sostenibilità ambientale nel progetto di sistemi agrivoltaici, come indirizzi e strumenti di supporto ai diversi attori coinvolti nei processi decisionali;
- Tool di valutazione delle prestazioni ambientali di sistemi agrivoltaici attraverso cui simulare con uno strumento agile e user friendly le prestazioni offerte da differenti alternative di sistemi agrivoltaici.



# STRUMENTI DI SUPPORTO ALLE DECISIONI PER UNA CORRETTA INTEGRAZIONE NEL PAESAGGIO

Università della Campania “Luigi Vanvitelli”,  
Dipartimento di Architettura e Disegno Industriale

- Messa a punto di una metodologia replicabile per l'individuazione e la prioritizzazione a scala regionale dei siti più adatti alla realizzazione di impianti agrivoltaici e per migliorarne l'integrazione in diversi contesti paesaggistici;
- Stesura di Linee Guida a supporto della valutazione della compatibilità tra sistemi agrivoltaici e paesaggio, quale elemento chiave per orientare la transizione energetica come parte integrante delle strategie di sviluppo territoriale.

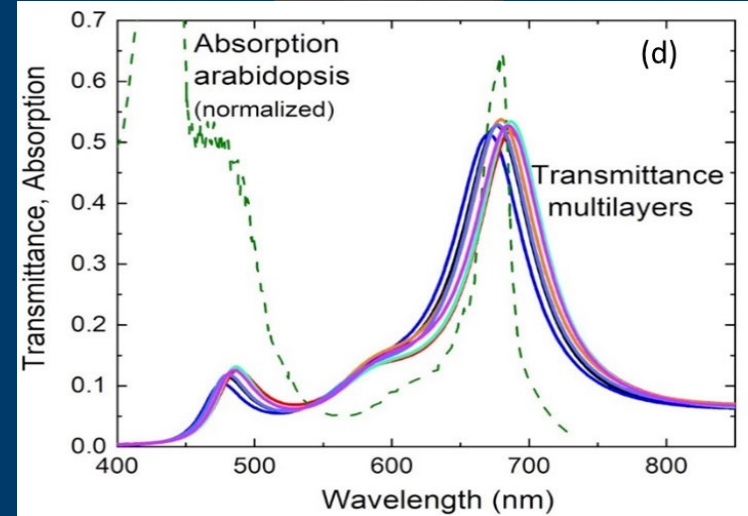
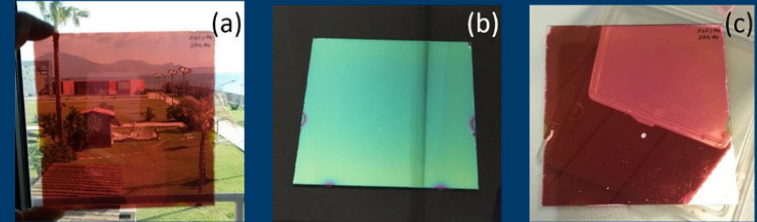




# CELLE SOLARI A FILM SOTTILE DI NUOVA GENERAZIONE PER APPLICAZIONE IN SERRE FOTOVOLTAICHE

ENEA

- Realizzazione e caratterizzazione di celle solari a film sottile di Si spettralmente selettive su area di  $1\text{cm}^2$ ;
- Realizzazione di un prototipo di serra su piccola scala con una appropriata sorgente di illuminazione a LED per studiare l'uso integrato della luce per fotovoltaico e fotosintesi in un ambiente controllato;
- Realizzazione e caratterizzazione di celle solari organico semi-trasparenti di piccola area (circa  $25\text{ mm}^2$ ) con una buona trasmittanza nel range  $400-700\text{nm}$ .



# STUDIO CRESCITA DI PIANTE IN SERRE FOTOVOLTAICHE

Università di Napoli “Federico II”, MUSA, Museo delle Scienze Agrarie

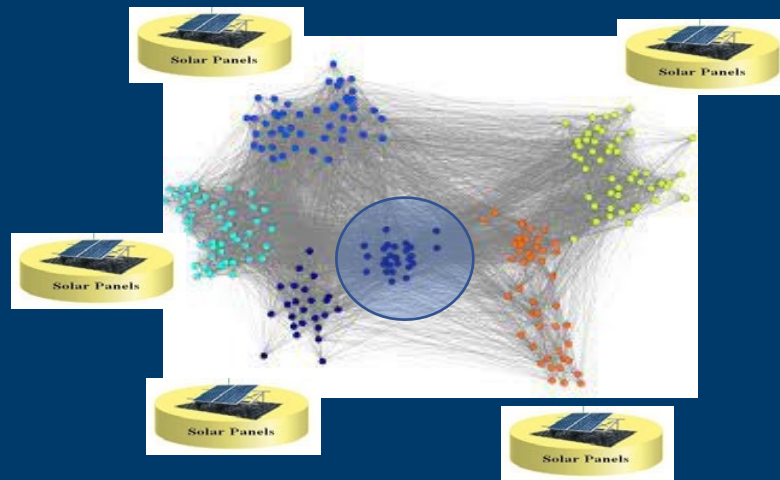
- Avanzamento della conoscenza rispetto all'efficienza combinata fotovoltaico-fotosintesi sulle rese produttive delle piante agrarie in contesti multisetoriali, valutando la potenzialità delle serre agrivoltaiche di supportare produzioni con caratteristiche quali-quantitative paragonabili rispetto a quelle prodotte in serre classiche.



# STRUMENTI PER LA MAPPATURA, IL MONITORAGGIO E L'OTTIMIZZAZIONE DELL'ENERGIA GENERATA DA FOTOVOLTAICO

## ENEA

- Sviluppo di Toolset comprendente script per addestramento ed inferenza di algoritmi machine learning per l'identificazione di anomalie di funzionamento da guasti;
- Sistema GIS per l'identificazione di siti adatti all'agrivoltaico sostenibile a livello regionale (perfezionamento indicatori).

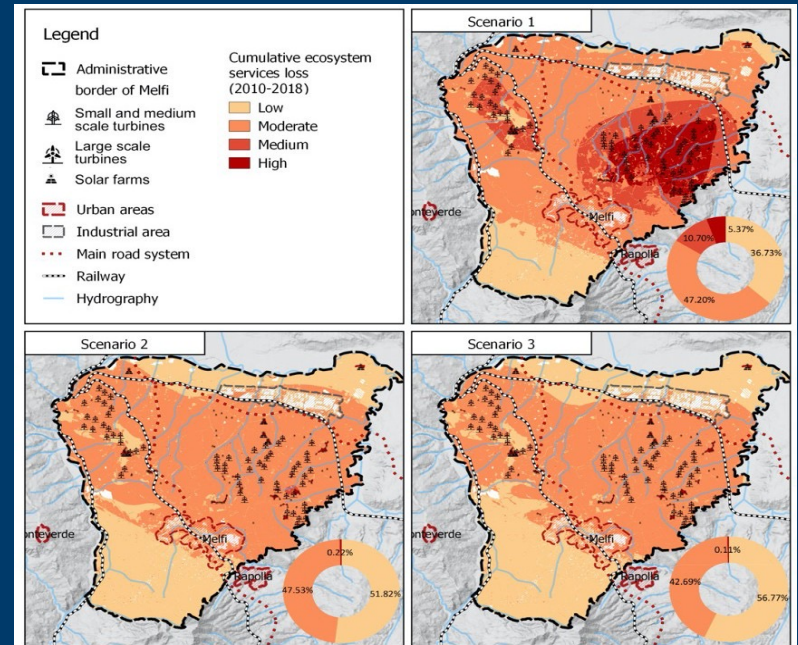


Diverging Behaviour Detection with GeoMetrics

# UN SISTEMA DI SUPPORTO ALLE DECISIONI GIS-BASED PER UN APPROCCIO SOSTENIBILE ALLA LOCALIZZAZIONE DEGLI IMPIANTI AGRIVOLTAICI

Università della Basilicata, Scuola di Ingegneria

- Mappatura dei servizi ecosistemici prima e dopo la potenziale localizzazione degli impianti agrivoltaici;
- Mappe di site suitability riguardanti la localizzazione ottimale degli impianti agrivoltaici;
- Sistema di monitoraggio territoriale basato sul GIS per un approccio sostenibile alla localizzazione degli impianti;
- Per ogni singolo scenario verrà prodotta una mappa spaziale multicriterio degli impatti territoriali.





# Il Progetto GOPV

Materiali di nuova Generazione Per celle fotoVoltaiche tandem

**RdS**  
RICERCA DI SISTEMA

Nuovi materiali per celle fotovoltaiche innovative e ad alta efficienza che consentano di ridurre le dimensioni degli impianti, ma anche i costi e l'impatto ambientale delle tecnologie, favorendone il trasferimento tecnologico verso l'industria.

Nello specifico il progetto GOPV mira a realizzare dispositivi in silicio e perovskite del tipo "tandem".

Coordinato da ENEA, con le università di Napoli "Federico II", Catania, Perugia, Roma Tor Vergata e Pavia, l'Istituto Italiano di Tecnologia (IIT) e l'azienda BeDimensional.

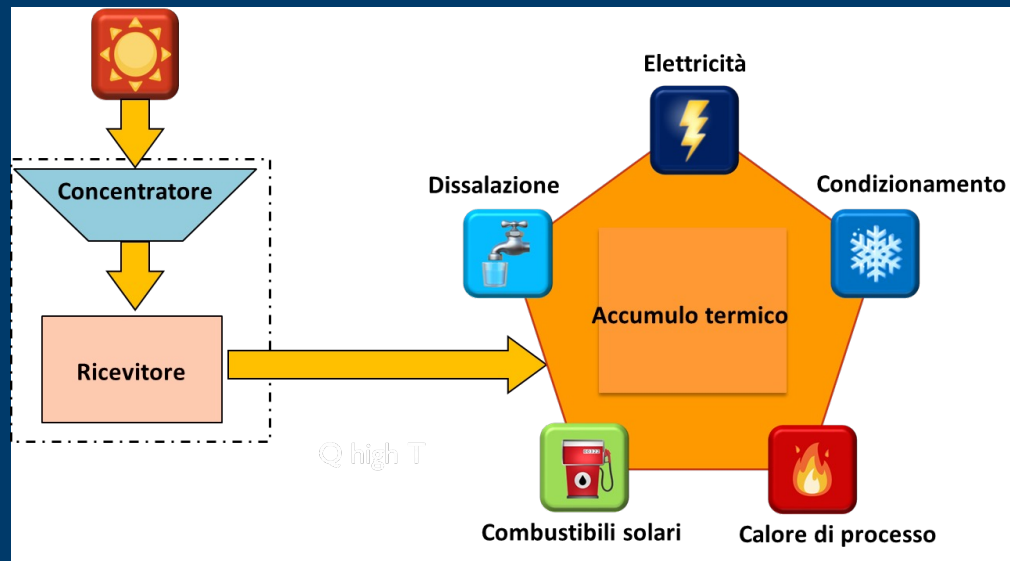


# Dall'energia solare non solo PV!

Le tecnologie del solare termico a concentrazione

# Produzione di elettricità e calore on demand!

- Conversione intermedia radiazione solare in calore ad alta temperatura (200-800°C)
- Accumulo del calore in «batterie termiche», di lunga durata (> 8h) che utilizzano materiali **facilmente reperibili e non strategici**
- Il calore ad alta temperatura può essere utilizzato per alimentare cicli di potenza o per soddisfare il **fabbisogno termico dell'industria**



La tecnologia, secondo stime dell'IEA, al 2050 potrà arrivare a coprire circa il 10% del fabbisogno globale di energia elettrica

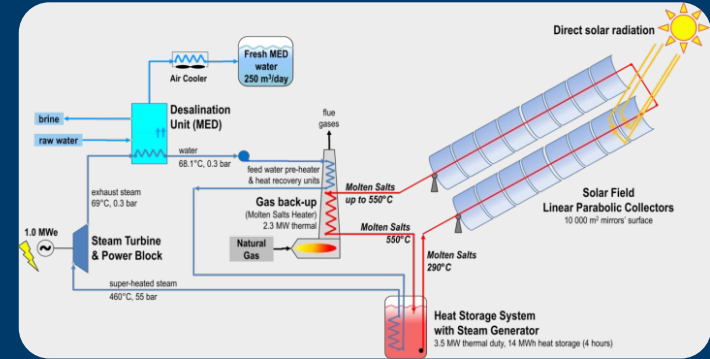
La tecnologia può contribuire significativamente alla decarbonizzazione dei processi industriali non elettrificabili, il cui fabbisogno termico è pari al 23% dei consumi energetici globali.



## Attualmente 6.3 GW installati nel mondo

- La maggior parte degli impianti commerciali è dotata di sistemi di **accumulo termico**, con capacità equivalente variabile
- Nell'ultimo decennio registrati rilevanti progressi in termini di **incremento dell'affidabilità ed efficienza impiantistica**
- La sfida risiede nella riduzione dei costi (di investimento e operativi), già dimezzati negli ultimi dieci anni

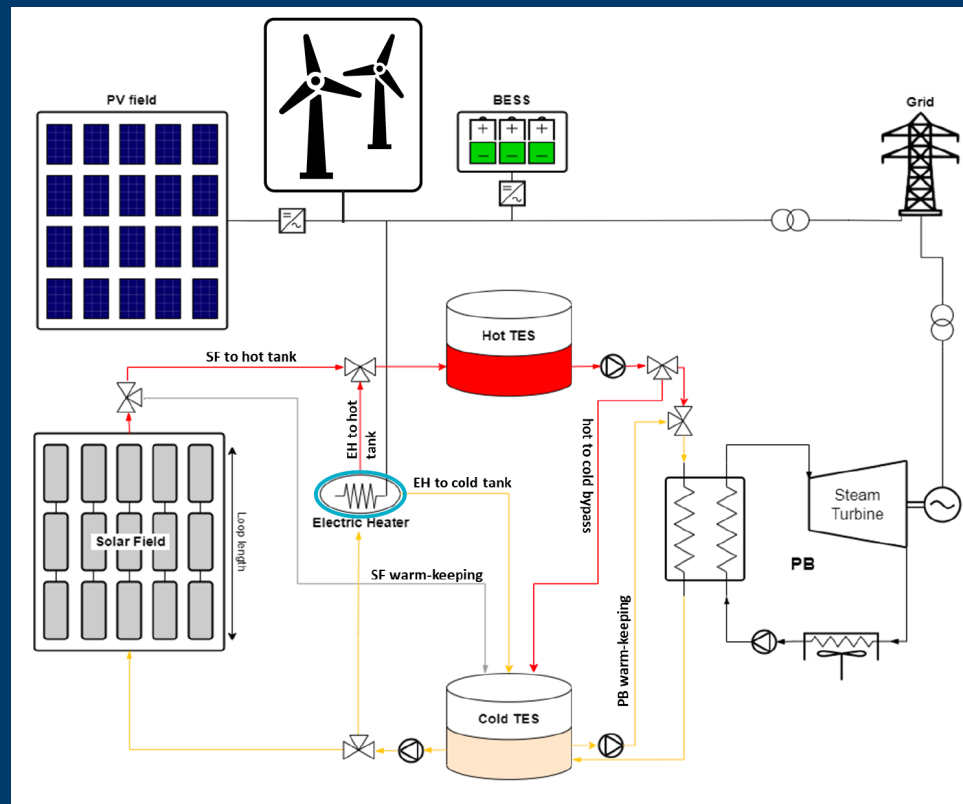
*Demo plant built close to City for Science and Technology (SRTA-City) nearby Alexandria (Egypt)*



# Verso impianti 100% rinnovabili

## Ibridizzazione PV-CSP

- Impianti Fotovoltaici ed Eolici sono forniscono elettricità rinnovabile non programmabile a basso costo
- Impianti CSP forniscono elettricità rinnovabile programmabile grazie all'utilizzo di sistemi di accumulo a basso costo, ma sono caratterizzati da elevati costi dell'elettricità prodotta
- IBRIDIZZAZIONE
- Riduzione dei costi dell'elettricità
- Aumento del livello di "dispacciabilità"



# NOOR Midelt 800 MW Hybrid Solar Power Plant Morocco

TSK announcement (August 2023)



## **Project**

NOOR Midelt 800 MW Hybrid Solar Power Plant

## **Description**

Technology:

Hybrid CSP+ PV+ TES+ BESS

200 MW CSP

600 MW PV polycrystalline

Thermal Energy Storage & Battery Energy Storage System

## **Location**

Midelt (Morocco)

## **Client**

EDF - Masdar - Green of Africa

## **Finish date**

Ongoing

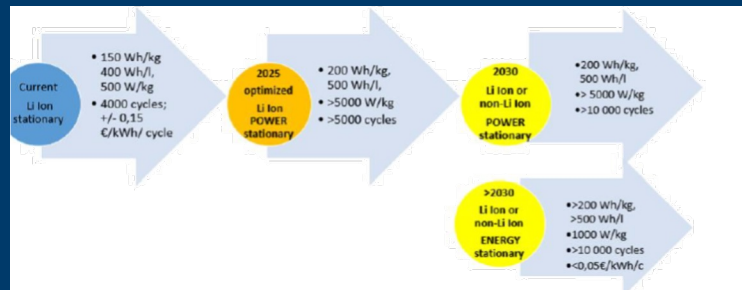
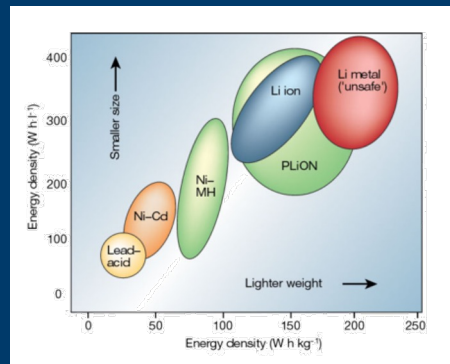
# Accumulo di energia!

Accumulo elettrochimico (batterie ricaricabili): tecnologia chiave per la transizione energetica

# Molti tipi, diversa energia/potenza

## Principali tecnologie di batterie in uso

- Nickel-metallo-idruro (NiMH) densità di energia 70 Wh/kg
- Piombo-gel (PbGel), costi 20÷200 \$ per kWh; densità di potenza 75 W/kg; densità di energia 33 Wh/kg
- Litio-ione (Li-ion) e Litio metallo costi attuali 0.15 €/KWh/ciclo; densità di potenza 750 W/kg; densità di energia 250 Wh/Kg
- Il contributo stimato delle batterie su global GHG reduction è del 16% nei trasporti e 23% in applicazioni di potenza (stazionario) -> tutto quello che può essere elettrificato va elettrificato



Batterie Litio ione: la domanda di mercato per EV è duplicata per EV (~ 1600 GWh/y) e quadruplicato (~ 400 GWh/y) per lo stazionario rispetto alle previsioni del 2017

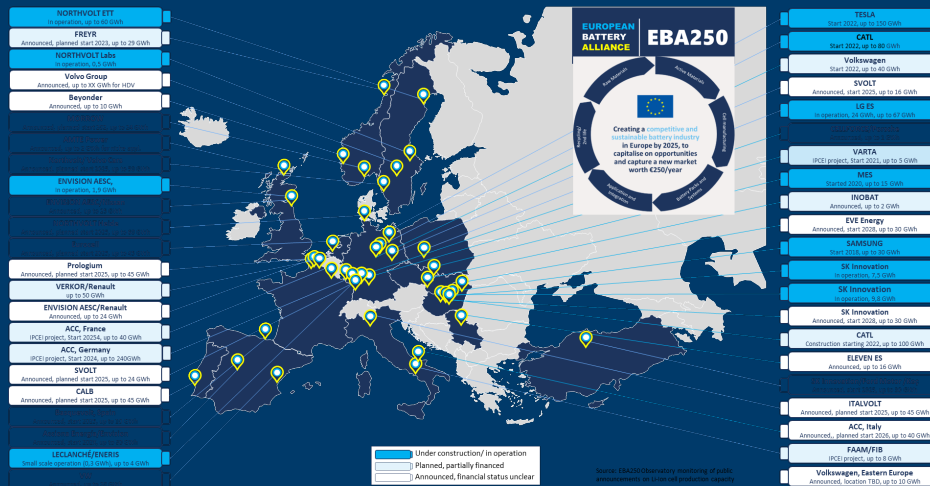
L'Europa sta ponendo molta attenzione sulla sostenibilità delle batterie (vedi «Battery Regulation») e in particolare sul contenuto di critical raw materials (CRM)



# Accumulo elettrochimico Europa:

Come raggiungere i maggiori competitor del Far-east e USA -> EBA 250

- Dal 2017 è stata istituita EBA250 per promuovere le gigafactor europee di produzione delle celle e per rafforzare la catena del valore europea
- Dopo l'inizio della guerra in Ucraina, ulteriori sforzi sono posti per assicurare l'indipendenza europea nel campo delle batterie e accumulo elettrochimico e la resilienza energetica.
- Principali sfide sono nell'utilizzo di minori CRM e/o aumento di materiali da riciclo (green mining); riduzione dei costi (dipende anche da energy mix); digitalizzazione delle informazioni (battery passport)



**Investimenti per infrastrutture abilitanti!**

Grazie  
Simona De Iuliis



1101 0110 1100  
0101 0010 1101  
0001 0110 1110  
1101 0010 1101  
1111 1010 0000

