

LE RINNOVABILI E LE IMPLICAZIONI TECNICO-ECONOMICHE CONNESSE ALLO STOCCAGGIO DI ENERGIA

Da uno studio di:

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA:

C. Bustreo, G. Meneghini, I. Vignotto, G. Zollino

WORLD ENERGY COUNCIL-ITALIA:

P. D'Ermo

GLI OBIETTIVI DELLO STUDIO

- COSA POTREBBE SIGNIFICARE IN ITALIA LA GESTIONE DI UN SISTEMA ELETTRICO CARATTERIZZATO DA QUOTE MOLTO IMPORTANTI DI GENERAZIONE DA FONTI RINNOVABILI?
- QUALI STRUMENTI È NECESSARIO ADOTTARE PER GARANTIRNE IL CORRETTO FUNZIONAMENTO?
- QUALI SONO LE CONSEGUENZE DA UN PUNTO DI VISTA ECONOMICO -COSTO DEL KWh?



- A. SI PROPONGONO DUE POSSIBILI MIX DI GENERAZIONE ELETTRICA 100% RINNOVABILI
- B. SI SIMULA IL LORO FUNZIONAMENTO NELL'ARCO DI TEMPO DI UN ANNO
- C. SI ANALIZZANO LE CRITICITÀ E SI PROPONGONO ALCUNE POSSIBILITÀ DI GESTIONE

DESCRIZIONE DEL MODELLO ADOTTATO

1. ANNO TARGET 2050 → DOMANDA ELETTRICA DI **420 TWh** (Tasso crescita medio annuo 0,6%)

2. IPOTESI SEMPLIFICATIVE RETE ELETTRICA

- Approccio zero dimensionale: tutti i generatori e i carichi sono supposti essere collegati idealmente ad un unico nodo;
- Si trascurano completamente tutti gli aspetti di qualità del sistema;
- Sistema elettrico isolato: interconnessioni Stati confinanti nulle.

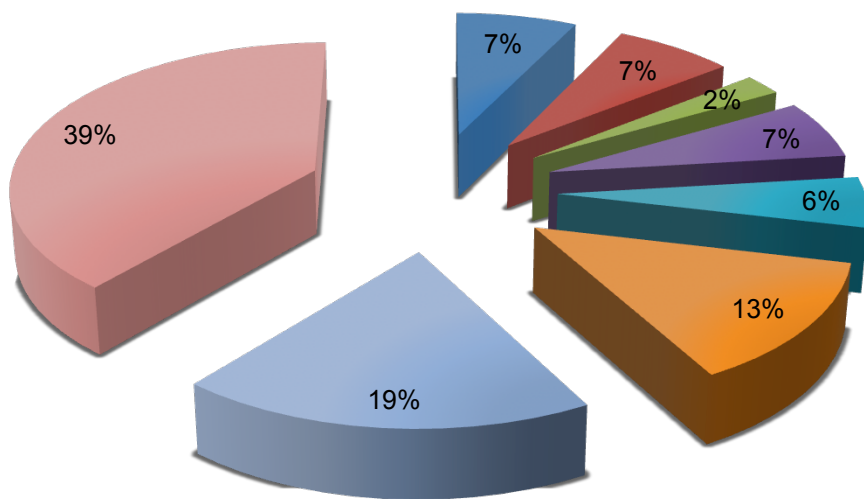
3. DEFINIZIONE DEL PARCO DI GENERAZIONE 100% RINNOVABILE:

POTENZA FER installata tale da produrre, in condizioni meteorologiche medie, il 100% della richiesta elettrica annua (nel rispetto dei vincoli di potenziale tecnico per ogni tecnologia rinnovabile)

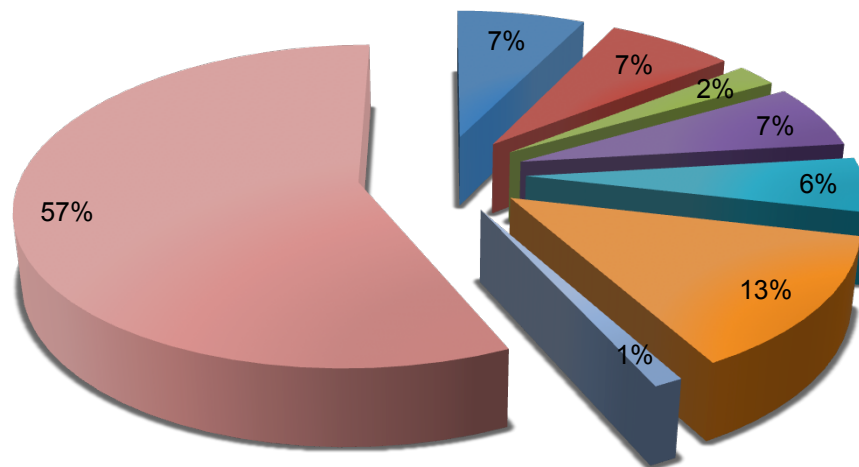
DUE MIX DI GENERAZIONE

Energia elettrica prodotta da ogni fonte (% sulla domanda totale)

MIX **ALTO CSP** → PRODUZIONE ANNUA DA CSP: 80 TWh (stima potenziale tecnico DLR)



MIX **BASSO CSP** → PRODUZIONE ANNUA DA CSP: 5 TWh (stima potenziale economico DLR)

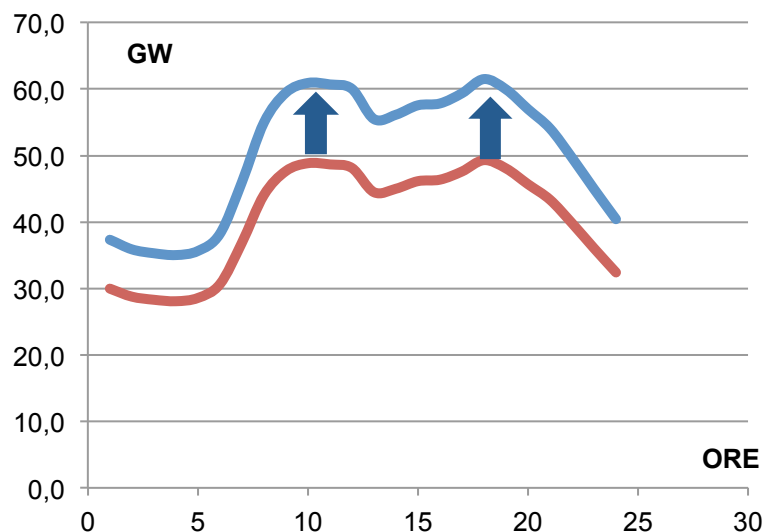


■ EOLICO ONSHORE
 ■ EOLICO OFFSHORE
 ■ GEOTERMICO
 ■ IDRO FLUENTE
 ■ IDRO SERBATOIO
 ■ BIOMASSE
 ■ CSP
 ■ PV

4. SIMULAZIONE DEL FUNZIONAMENTO DEI DUE MIX PROPOSTI NELL'ARCO DI TEMPO DI UN ANNO CON GRADO DI DETTAGLIO ORARIO IN RIFERIMENTO ALL'ANNO 2011

SIA NEL DEFINIRE LA DOMANDA

Curva delle domanda giornaliera 2050 ottenuta traslando verso l'alto le curve attuali proporzionalmente all' aumento annuo



SIA NEL DEFINIRE L'OUTPUT DELLE TECNOLOGIE RINNOVABILI

➤ GEOTERMICO, IDROELETTRICO FLUENTE, TERMOVALORIZZAZIONE RSU:

PRODUZIONE COSTANTE per ogni ora dell' anno pari a (**$P_{inst.} * fc$ medio annuo**)

➤ BIOMASSE, IDROELETTRICO SERBATOIO:

PRODUZIONE PROGRAMMABILE
Output definito in base alle necessità del sistema

➤ FOTOVOLTAICO, CSP, EOLICO:

Output orario calcolato a partire da **FATTORI DI CARICO E DATI METEO REGISTRATI NEL 2011**

DATI INPUT

FATTORI DI CARICO
ORARI REGISTRATI NEL
2011

POTENZA PV ed EOLICA
2050

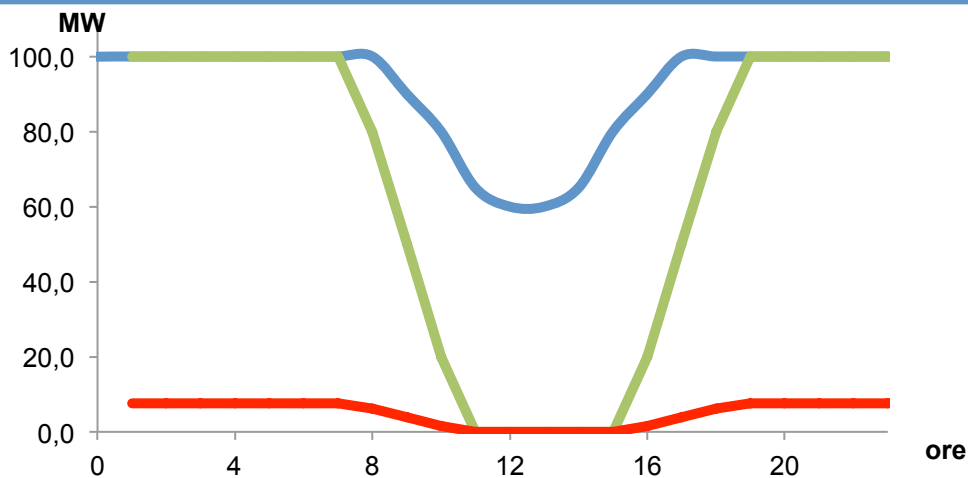


PRODUZIONE
ORARIA 2050

VALORI ORARI RADIAZIONE
DIRETTA PRIOLO 2011



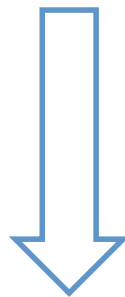
DIMENSIONAMENTO
ACCUMULO e PARCO
SPECCHI



DIMENSIONAMENTO TALE DA
AVERE UNA PRODUZIONE
INVERSAMENTE PROPORZIONALE
A QUELLA DEL PV (max notte, min
giorno).

LA PRODUZIONE GIORNALIERA
È FUNZIONE DELLA RADIAZIONE
DIRETTA NELLE 24 ORE
MA L'OUTPUT ORARIO VIENE
GESTITO ATTRAVERSO
L'ACCUMULO TERMICO

- PER OGNI ORA DELL'ANNO SI SOMMANO TUTTI GLI OUTPUT DELLE FONTI RINNOVABILI NON PROGRAMMABILI (FRNP) E SI DETERMINA LA TOTALE PRODUZIONE RINNOVABILE AD ESCLUSIONE DEGLI IMPIANTI IDROELETTRICI A BACINO E QUELLI ALIMENTATI A BIOMASSE
- SI CONFRONTA LA CURVA DELLA DOMANDA CON QUELLA DELLA PRODUZIONE

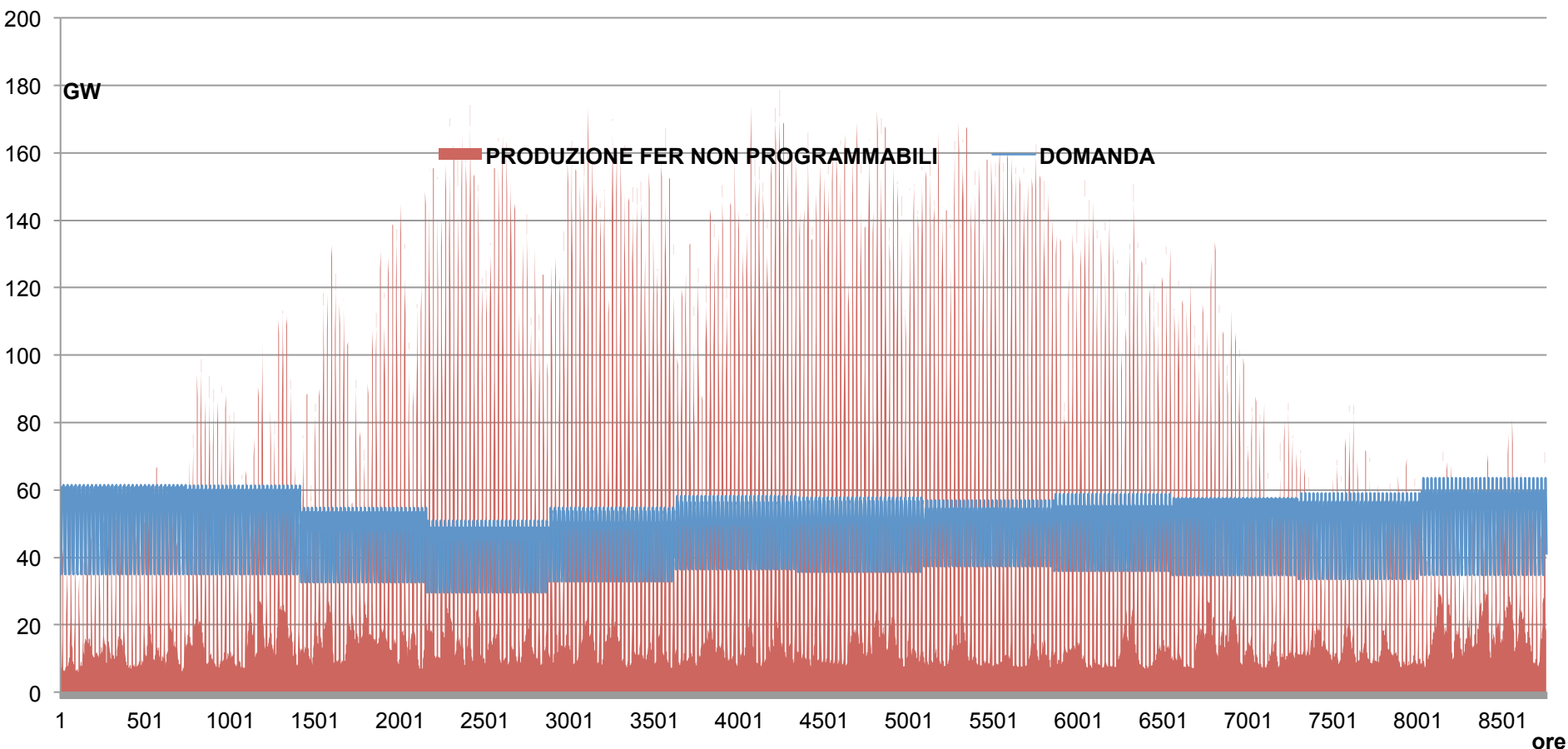


IL COMPORTAMENTO DEI DUE MIX COME SE NELL' ANNO 2050 SI PRESENTASSERO LE MEDESIME CONDIZIONI CLIMATICHE REGISTRATE NEL 2011

LA PRODUZIONE ELETTRICA DELLE TECNOLOGIE A FONTE SOLARE È FORTEMENTE SBILANCIATA DURANTE L'ANNO

L'ELEVATA POTENZA PV INSTALLATA (200 GW) PORTA AD UNA FORTE DISCREPANZA TRA CURVA DELLA PRODUZIONE TOTALE DA FRNP E CURVA DELLA DOMANDA

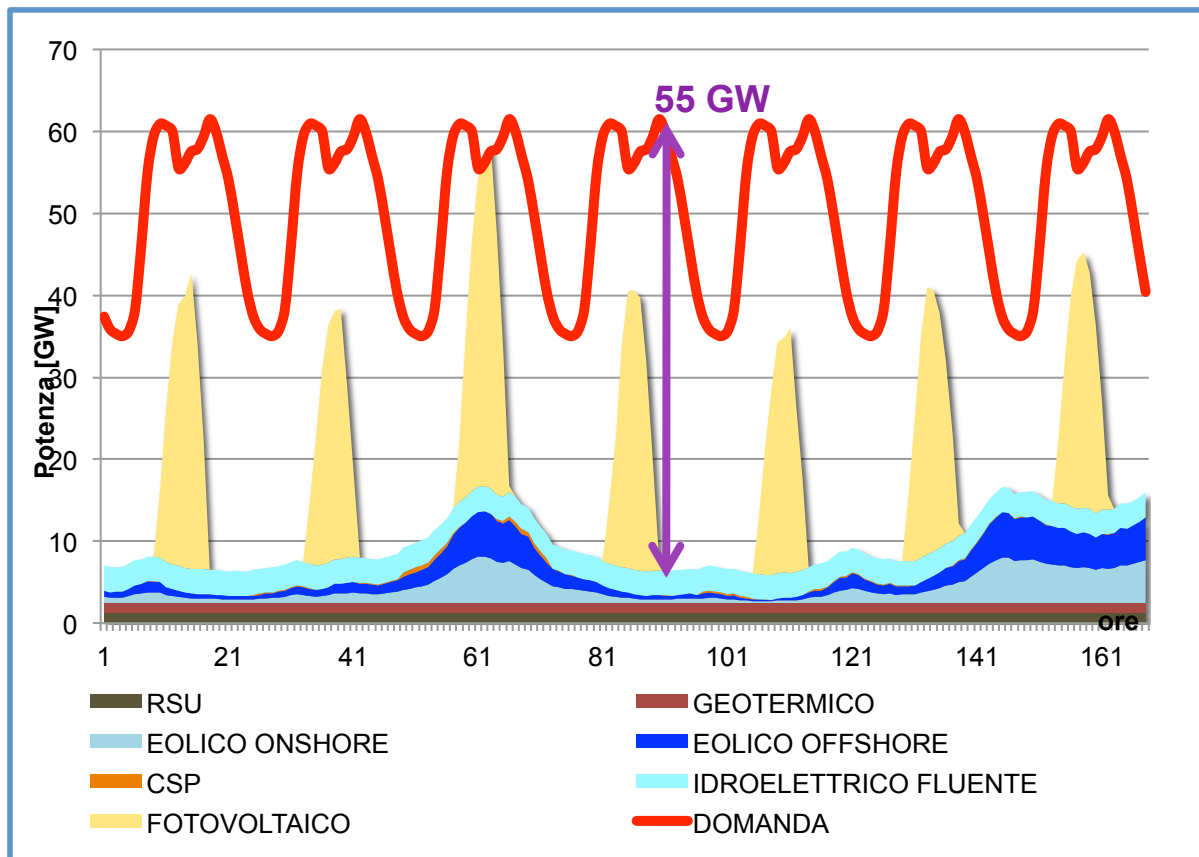
SIMULAZIONE MIX **BASSO CSP**



Dalle registrazioni della radiazione solare e del fattore di carico del PV : nel 2011 le tecnologie solari sono particolarmente produttive: **PV (+ 10%)** e **CSP (+17%)** rispetto ai valori medi.

5. ANALISI DELLE CRITICITÀ EMERSE

- SUSSEGUIRSI DI GIORNATE CON CONDIZIONI METEO SFAVOREVOLI ALLA PRODUZIONE DI ENERGIA DA TECNOLOGIE SOLARI (INTERO PERIODO INVERNALE):

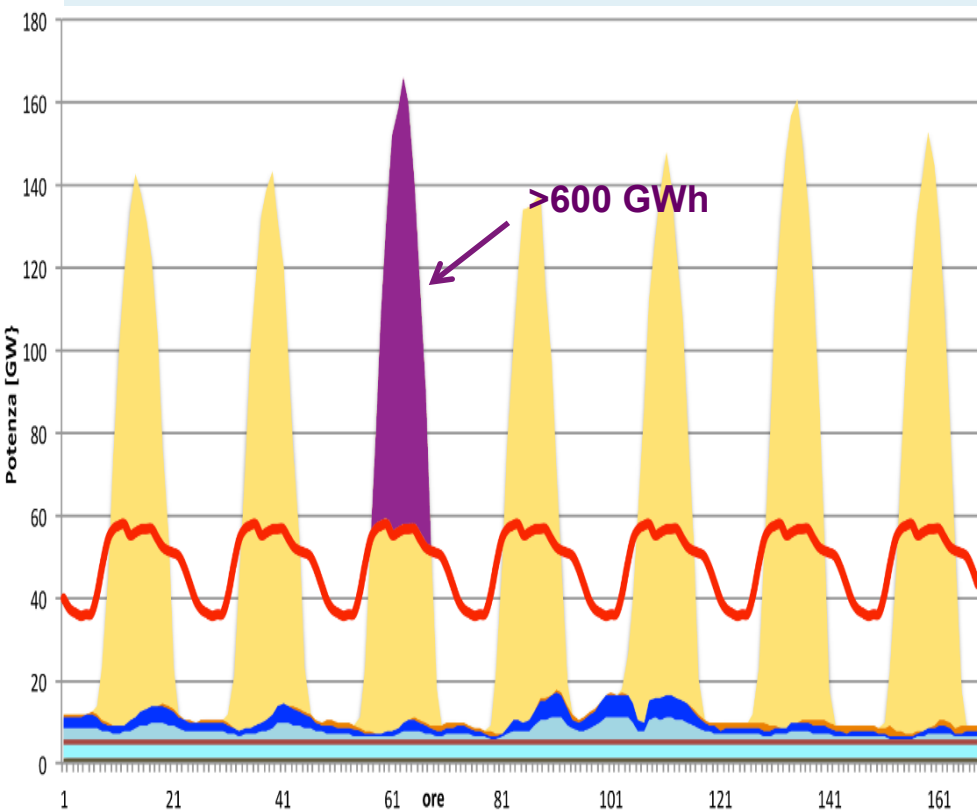


- DEFICIT GIORNALIERO DI 800 GWh SU UNA RICHIESTA DI 1200 GWh
- MASSIMO DEFICIT DI POTENZA 55 GW → OLTRE AL CONTRIBUTO DA BIOMASSE E IDRO E SERBATOIO È **NECESSARIA PRESENZA DI IMPIANTI ALIMENTATI DA COMBUSTIBILI FOSSILI COME BACK-UP CAPACITY** PER RIPORTARE L'EQUILIBRIO TRA CURVA PRODUZIONE E DOMANDA

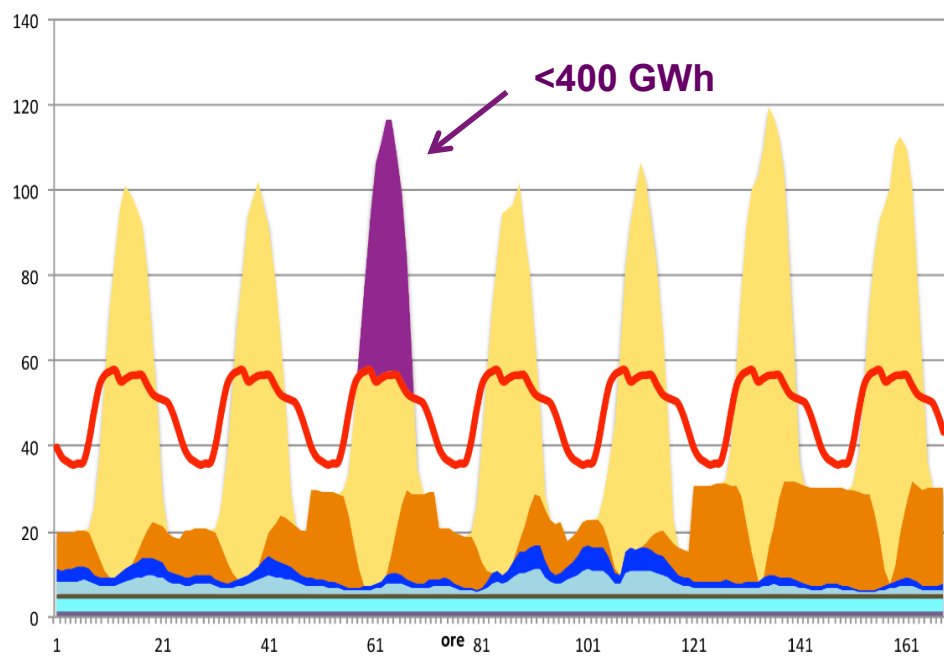
Simulazione del mix **BASSO CSP** per la prima settimana di gennaio (situazione simile per mix **ALTO CSP**)

- SUSSEGUIRSI DI GIORNATE CON CONDIZIONI METEO FAVOREVOLI ALLA PRODUZIONE DA TECNOLOGIE SOLARI (INTERO PERIODO ESTIVO):

Simulazione del mix BASSO CSP per la prima settimana di LUGLIO



Simulazione del mix ALTO CSP per la prima settimana di LUGLIO

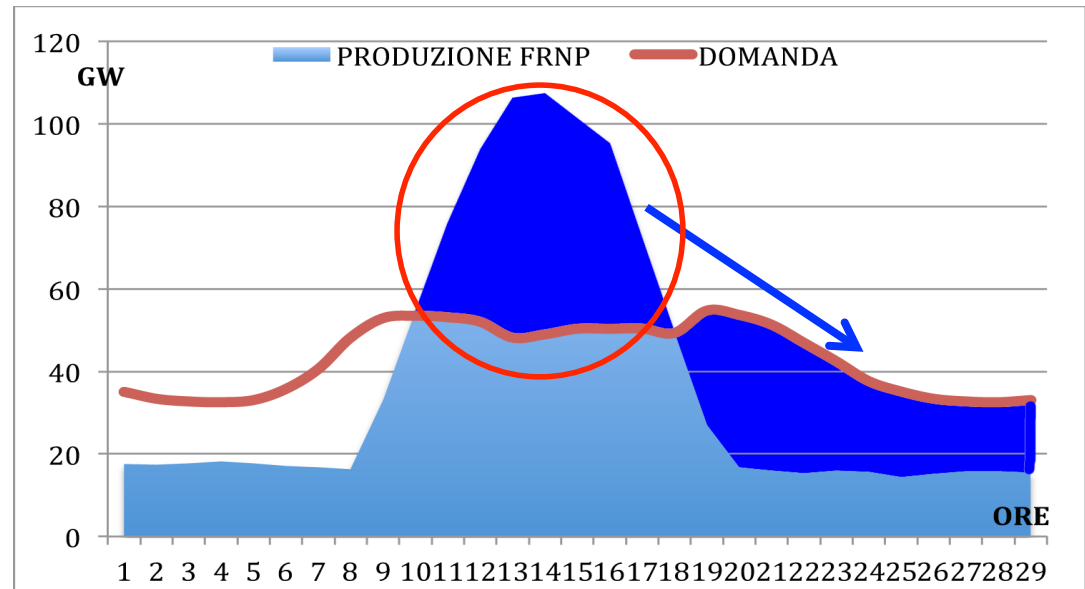


RSU IDROELETTRICO FLUENTE GEOTERMICO EOLICO ONSHORE EOLICO OFFSHORE CSP FOTOVOLTAICO DOMANDA

ENERGIA TOTALE IN SURPLUS DURANTE
L' ANNO: **128 TWh**

ENERGIA TOTALE IN SURPLUS DURANTE
L' ANNO: **75 TWh**

PER RECUPERARE L'ENERGIA IN SURPLUS, SPOSTANDOLA DAI PERIODI DI ECCEDENZA (ORE CENTRALI DELLE GIORNATA) A PERIODI DI DIFICIT (ORE NOTTURNE), SI UTILIZZANO DEI **SISTEMI DI ACCUMULO**



DURANTE L'ESTATE L'ENERGIA PRODOTTA NELL'24 ORE SUPERA LA RICHIESTA GIORNALIERA

I SURPLUS DI ENERGIA DOPO ESSERE STATI ACCUMULATI NON VENGONO RILASCATI COMPLETAMENTE, IL SISTEMA DI ACCUMULO NON SI SCARICA PRIMA CHE SI PRESENTI IL SURPLUS SUCCESSIVO

COSÌ DA APRILE AD AGOSTO SI HA UN CONTINUO INCREMENTO DELL'ENERGIA RESIDUA CONTENUTA NEGLI STOCCAGGI FINO A RAGGIUNGERE VALORI SUPERIORI A **25 TWh**.

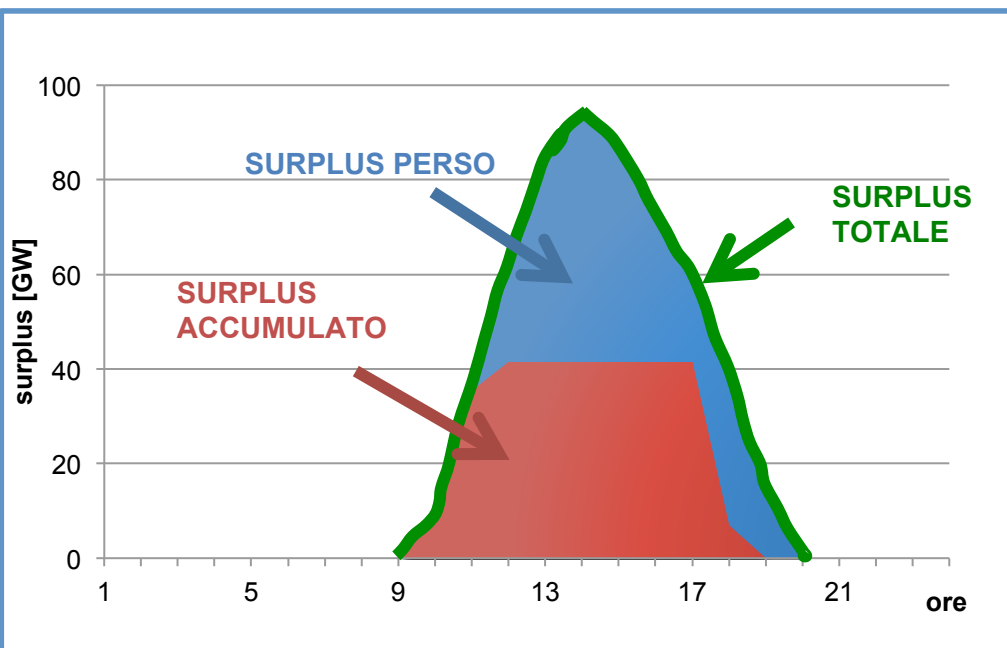
CIÒ SIGNIFICA CHE PER RECUPERARE TUTTA L'ENERGIA IN SURPLUS SAREBBERO NECESSARI SISTEMI DI ACCUMULO CON TALI CAPACITÀ: **IMPOSSIBILE**

ANALISI DI SENSITIVITÀ

SI STUDIA IL COMPORTAMENTO DEI DUE MIX IN PRESENZA DI CAPACITÀ DI ACCUMULO TECNICAMENTE REALIZZABILI: **100 E 300 GWh**

TRAMITE SISTEMI DI **POMPAGGIO E BATTERIE**. PER I QUALI SI È IPOTIZZATO UN **RENDIMENTO** TOTALE DI ACCUMULO DELL' **80%**

TECNOLOGIA ACCUMULO		CAPACITÀ ACCUMULO 100 GWh	CAPACITÀ ACCUMULO 300 GWh
IDROELETTRICO A POMPAGGIO	POTENZA [GW]	12,5	12,5
	ENERGIA [GWh]	70	70
BATTERIE VRB	POTENZA [GW]	4	30
	ENERGIA [GWh]	30	230
TOTALE	POTENZA [GW]	16,5	42,5
	ENERGIA [GWh]	100	300



IN ESTATE OGNI GIORNO PARTE DEL SURPLUS VIENE PERSO PERCHÉ LA CAPIENZA DELL' ACCUMULO GIUNGE A SATURAZIONE



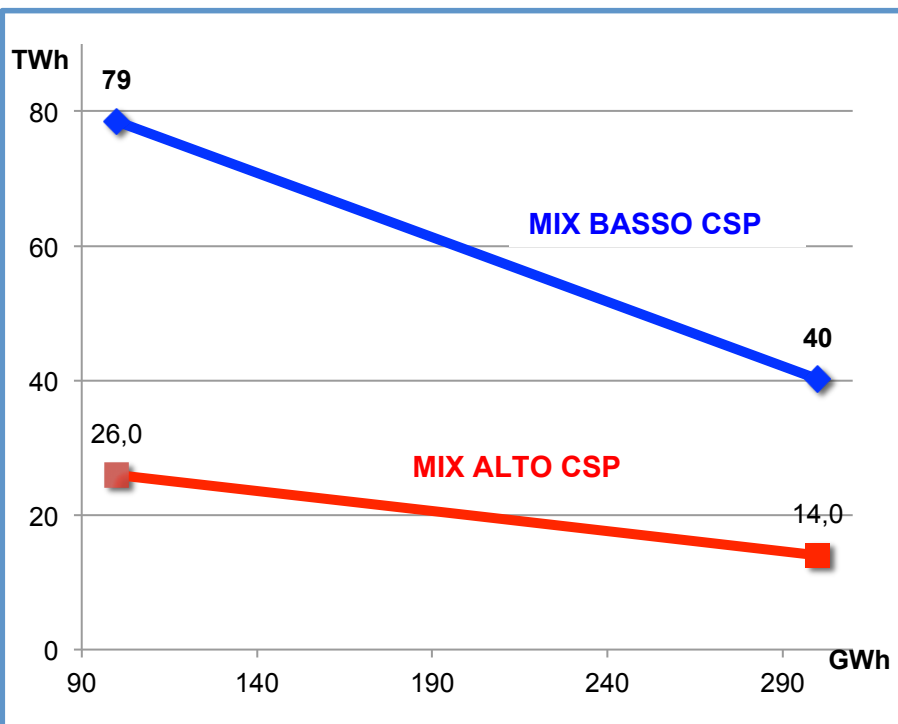
NON TUTTA L' ENERGIA PRODOTTA DA FER VIENE SFRUTTATA

SE ANCHE LA POTENZA FER INSTALLATA È DIMENSIONATA PER PRODURRE IL 100% DELLA RICHIESTA ANNUA È NECESSARIA LA PRESENZA DI IMPIANTI TERMOELETTRICI TRADIZIONALI PER PRODURRE LE QUANTITÀ DI ENERGIA PERSE A CAUSA DEL RENDIMENTO DI ACCUMULO E DELLA LIMITATEZZA DELLA CAPACITÀ

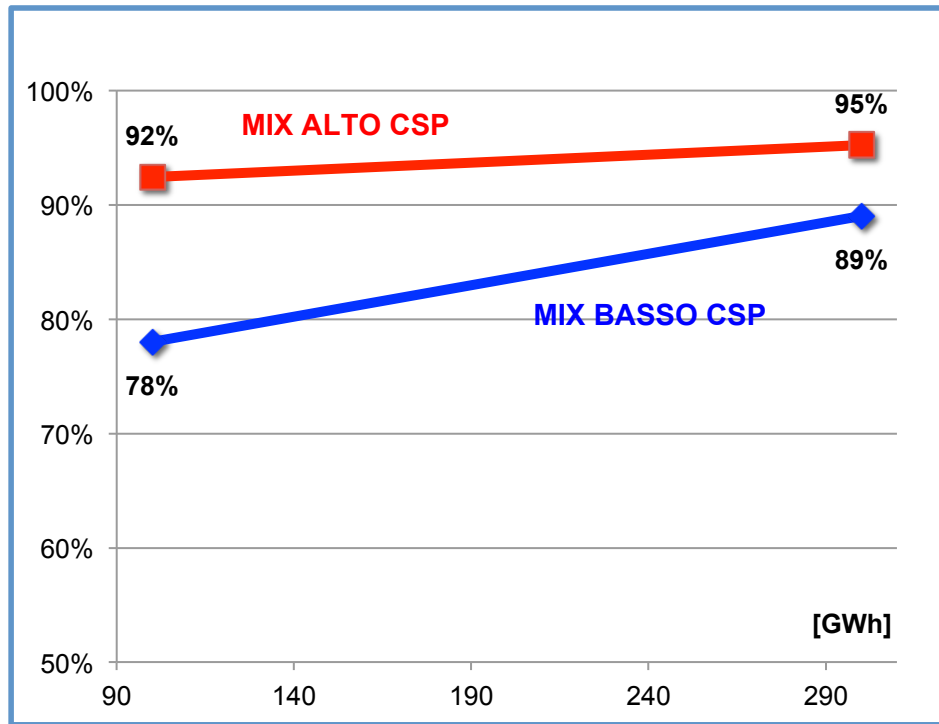


AL DIMINUIRE DELLA CAPACITÀ DI ACCUMULO AUMENTA L' ENERGIA PERSA E QUINDI L' ENERGIA PRODOTTA DA IMPIANTI TERMOELETTRICI

**ENERGIA PRODOTTA DA TERMOELETTRICO IN
FUNZIONE DELLA CAPACITÀ DI ACCUMULO**



**RIDUZIONE DELLE EMISSIONI (RISPETTO 1990)
IN FUNZIONE DELLA CAPACITÀ DI ACCUMULO**



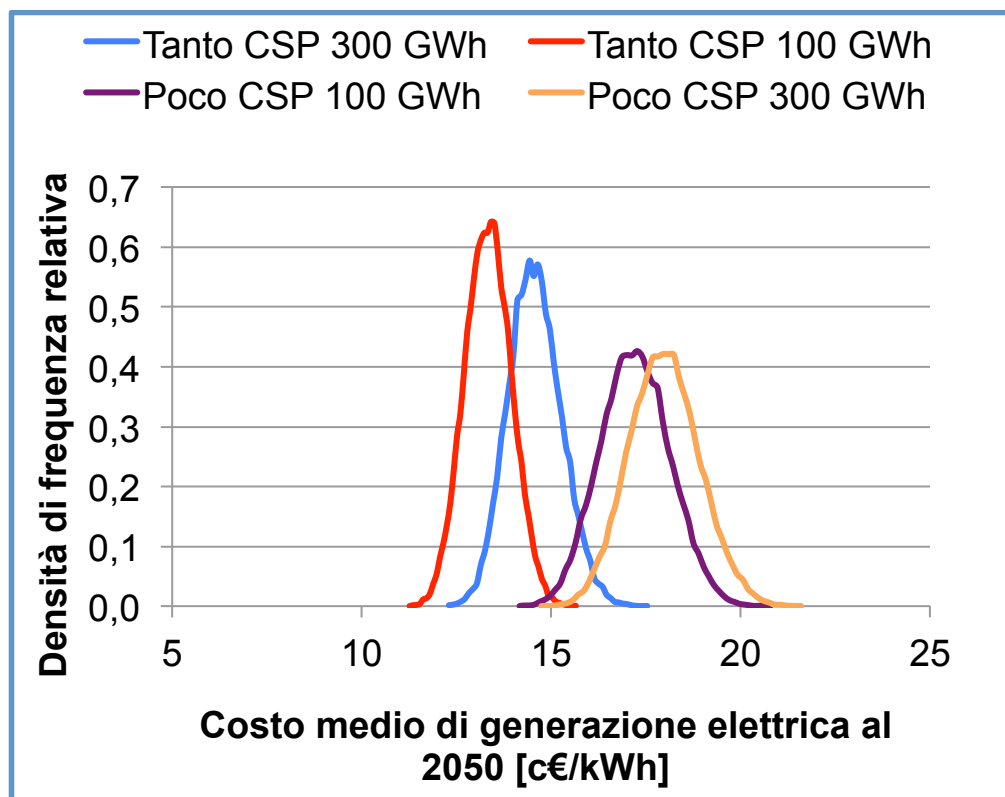
I DUE MIX DI GENERAZIONE: POTENZE INSTALLATE ED ENERGIA PRODOTTA

	MIX BASSO CSP				MIX ALTO CSP			
TECNOLOGIA FER	POTENZA INSTALLATA [GW]		ENERGIA PRODOTTA [TWh]		POTENZA INSTALLATA [GW]		ENERGIA PRODOTTA [TWh]	
GEOTERMICO	1,3		10		1,3		10	
EOLICO ONSHORE	16		30		16		30	
EOLICO OFFSHORE	10		30		10		30	
BIOMASSE	22		44		22		44	
RSU	2,3		12		2,3		12	
IDROELETTRICO SERBATOIO	9,4		23		9,4		23	
IDROELETTRICO FLUENTE	7,5		27		7,5		27	
FOTOVOLTAICO	200		264		136		180	
CSP	1,5		6		23,5		94	
TURBOGAS	30		8		30		8	
ACCUMULO (GWh)	300	100	70	30	300	100	40	25
IMPIANTI CICLO COMBINATO	8	18	32	70	2	5	8	20
TOTALE POTENZA	306	316			260	263		
TOTALE ENERGIA PRODOTTA			486	525			465	476

LCOE PER I DUE MIX DI GENERAZIONE IN FUNZIONE DELLA CAPACITÀ DI ACCUMULO

- IL LCOE RAPPRESENTA IL PREZZO MINIMO A CUI È NECESSARIO VENDERE L' UNITÀ DI ENERGIA PER TORNARE IN PAREGGIO CON LE SPESE SOSTENUTE NELL' ARCO DELLA VITA OPERATIVA DELL' IMPIANTO
- MEDIA PESATA DEI COSTI DI GENERAZIONE TIPICI DI OGNI TECNOLOGIA
- L' AMMORTAMENTO ANNUO DELL' ACCUMULO È DISTRIBUITO SUI 420 TWh DI DOMANDA ANNUA
- CAMPANE DEI COSTI: METODO DI MONTECARLO

TECNOLOGIA	COSTO [c€/KWh]
GEOTERMICO	5,59
EOLICO ONSHORE	8,32
EOLICO OFFSHORE	9,35
EOLICO OFFSHORE GALLEGGIANTE	14,41
BIOENERGIE	20,25
FOTOVOLTAICO	11,04
CSP	6,44
IDROELETTRICO	9,3
GAS CCGT	8,9
GAS OCGT	25



L' aggravio di costi negli impianti csp dovuto all' accumulo termico è compensato da un maggior facilità di gestione dell' intero sistema che si traduce in migliori prestazioni sia economiche che ambientali



PARAMETRI PER IL CALCOLO DEL LCOE

Tecnologia	2011			2050				
	Overnight [€/kW]	O&M [€/kW/a]	η [%]	Overnig ht [€/kW]	O&M [€/kW/a]	η [%]	Anni di vita	Ore eq. funzionamento
Gas CCGT	750	20	54%	650	20	63%	30	4000
Gas OCGT	450	12	28%	400	12	40%	30	300
Biomasse	2550	160	25%	2000	160	40%	30	2300
Geotermico	5000	105		4000	105		40	7500
Eolico onshore	1750	42		1400	42		25	1900
Eolico offshore	3100	100		2550	70		25	3000
Eolico offshore gall.	6200	200		3800	120		25	3000
FV tetti res.	3000	20	14%	1800	20	25%	25	1200
FV tetti ind.	1900	20	14%	950	20	25%	25	1200
CSP (12h acc.)	6300	160	14%	2550	65	18%	30	3400
Idroelettrico	3000	60		3000	60		60	3000
Idro accumulo	1000	5		2000	5		50	
Batterie VRB	3000 (8h acc.)	100		1500 (8h acc.)	50		15	

OSSERVAZIONI

- Le caratteristiche climatiche dell'Italia (poco eolico, tanto PV) rendono estremamente difficile la gestione dell'output delle rinnovabili in relazione all'andamento della domanda
- La presenza, seppur limitata, di stoccaggi elettrici è fondamentale per effettuare un'azione di time shift dei surplus di energia
- In presenza di quote molto elevate di generazione da FER, è tecnicamente impossibile recuperare tutta l'energia in surplus durante l'anno: servirebbero sistemi di accumulo enormi.
- L'aumento degli sforzi fatti per recuperare l'energia dei surplus, che si traduce in un incremento della capienza dei sistemi di stoccaggio, comporta da un lato innalzamento del LCOE, dall'altro una diminuzione delle emissioni di CO₂.