www.dii.unipd.it

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale

Corso di Laurea in Ingegneria dell'Energia

Relazione per la prova finale

ANALISI DEL FUNZIONAMENTO DI UN SISTEMA ELETTRICO IN ISOLA ALIMENTATO TRAMITE GENERATORI AZIONATI DA TURBINA EOLICA E IDRAULICA

Tutor universitario: Prof. M. Andriollo

Laureando*: Matteo Zanardo*

Padova, 22/09/2025

INTRODUZIONE E OBBIETTIVI

www.dii.unipd.it

- La popolazione mondiale ha superato gli 8 miliardi
  ⟶ Crescente fabbisogno energetico.
- Necessità di diversificare le fonti, soprattutto con energie rinnovabili
  ⟶ Diffusione di microreti.

OBBIETTIVI DELLA TESI:

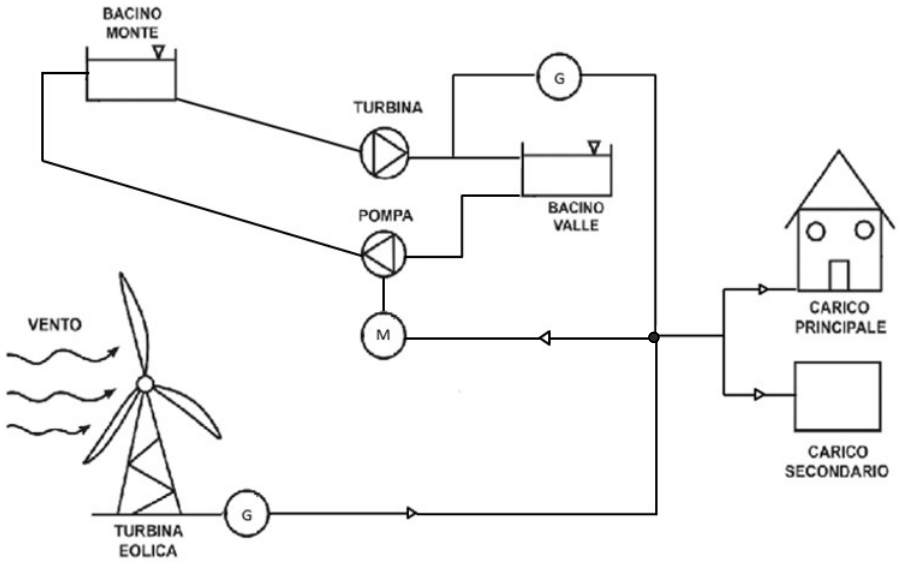
- Sviluppare e analizzare una microgrid isolata alimentata solo da fonti rinnovabili.
- Dimostrare la fattibilità di un sistema autonomo capace di garantire affidabilità e continuità.

LAYOUT DEL SISTEMA

www.dii.unipd.it

Impianto ibrido eolico-idroelettrico con sistema di pompaggio:

- Energia prodotta ⟶ alimenta i carichi e la pompa
- La pompa riporta l'acqua al bacino superiore
- Il bacino superiore funge da sistema di accumulo
- In assenza di vento ⟶ turbina idroelettrica copre la domanda



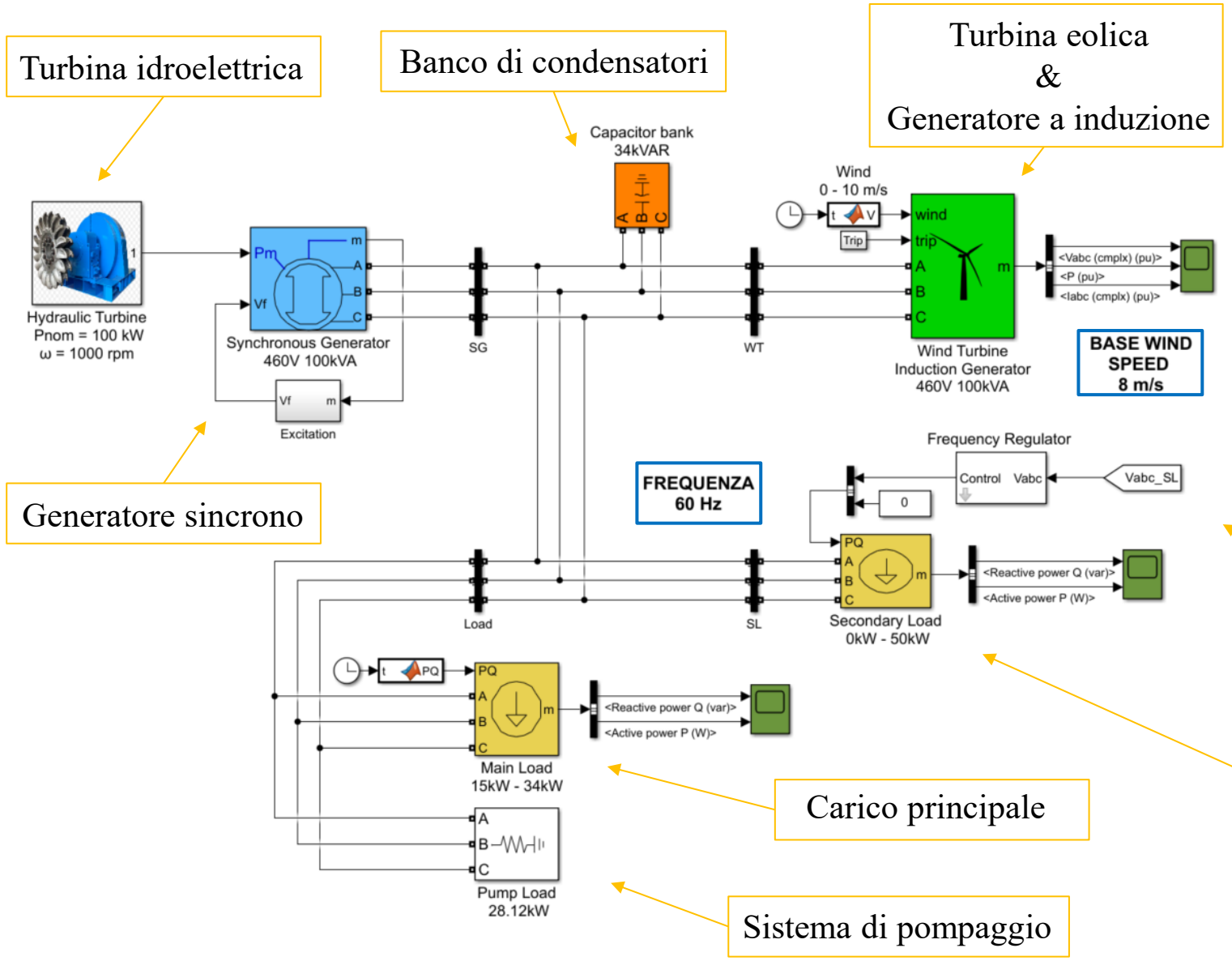
Es: El Hierro (Isole Canarie, Spagna)

Fonte: https://it.wikipedia.org/wiki/El_Hierro

Es: Ikaria (Grecia)

Fonte: https://balkangreenenergynews.com/ppc-inaugurates-hybrid-wind-hydro-system-on-island-of-ikaria/?utm_source=chatgpt.com

COMPONENTI CIRCUITO SIMULINK



- *Velocità di rotazione turbina eolica:*

$$N = \frac{\lambda \cdot 60 \cdot v}{\pi \cdot D} \approx 55\ rpm$$

-Diametro D= 20 ÷ 25 m

-Velocità del vento nominale di 8 m/s

- *Velocità del generatore ad induzione:*

$$N' = \frac{60 \cdot f}{p} \cdot (1 + s) = 1218\ rpm$$

-Frequenza f = 60 Hz

-Coppie polari p = 3

-Scorrimento nominale s = 1.5%

↓

Necessaria la presenza di un gearbox con rapporto di moltiplicazione :

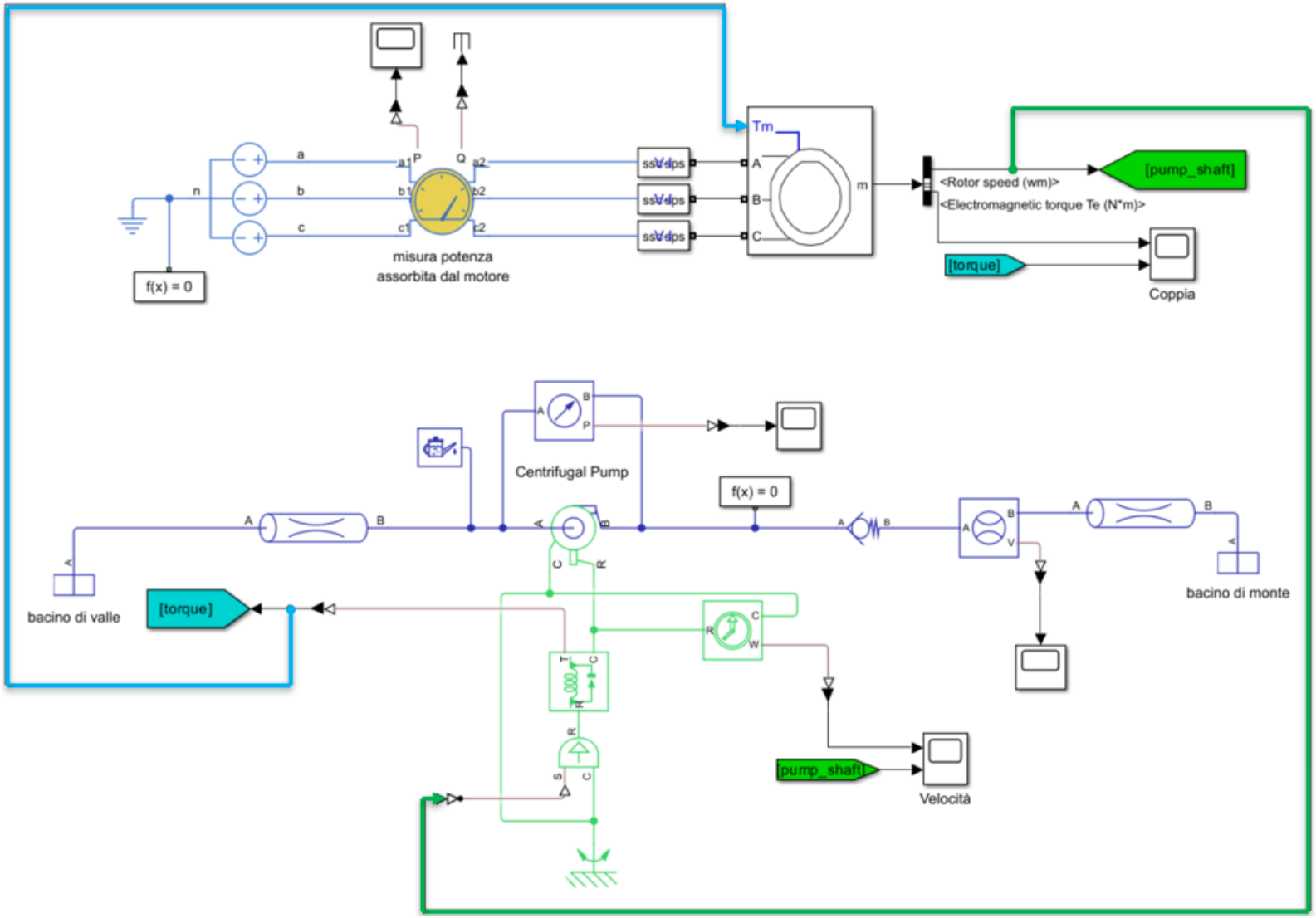
n = 1218/55 ≈ 22.15

www.dii.unipd.it

DETTAGLIO: SISTEMA DI POMPAGGIO

www.dii.unipd.it

- Motore elettrico a velocità costante :
  - → Potenza assorbita costante ≈ 28 kW
- Albero in comune :
  - → Stessa velocità di rotazione
  - → Coppia motore = Coppia pompa
- Pompa trasferisce acqua al bacino superiore con regime costante



Caratteristiche pompa:

- Portata: 0,084773 m^3/s
- Prevalenza: 30,6716 m
- Potenza idraulica: 25,45 kW

DETTAGLIO: TURBINA IDROELETTRICA

1. Modello basato su una turbina reale testata a Padova; dal prototipo ricavo il rendimento massimo
2. Determino il fattore di scala ‘k = D_1/D_2’ con le leggi di similitudine
3. Calcolo portata e salto motore nelle condizioni ottimali
4. Costruisco la curva di rendimento in funzione di portata e salto motore

$$\frac{1-\eta_1}{1-\eta_2} = \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^n$$

Head or pressure gain:

$$\frac{\Delta P_1}{\Delta P_2} = \left(\frac{\rho_1}{\rho_2}\right)\left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2\left(\frac{D_1}{D_2}\right)^2$$

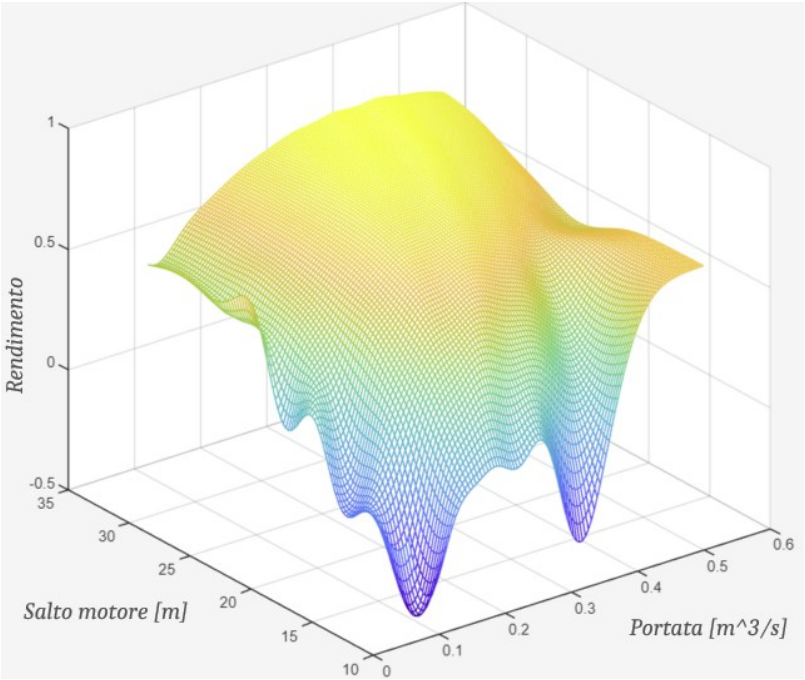
Volume flow rate:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)\left(\frac{D_1}{D_2}\right)^3$$

Power consumption:

$$\frac{\dot{W}_1}{\dot{W}_2} = \left(\frac{\rho_1}{\rho_2}\right)\left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3\left(\frac{D_1}{D_2}\right)^5$$

www.dii.unipd.it



Curva di rendimento della turbina riscalata

n [-]	0,250
ηmax,prototipo	85,33%
ηmax,turbina	86,67%
K [-]	1,650
Qprototipo	0,086 m^3/s
Qturbina	0,384 m^3/s
Hprototipo	11,263 m
Hturbina	30,672 m
Pprototipo	9,428 kW
Pturbina	115,379 kW

Parametri del prototipo e della turbina nel punto di massima efficienza

ANDAMENTO DELLA SIMULAZIONE

Assenza vento → alimentazione da sola turbina idroelettrica

Aumento vento → Riduzione portata alla turbina tramite il distributore fino alla chiusura completa

Eccedenza di potenza da fonte eolica → Alimentazione di carichi ausiliari

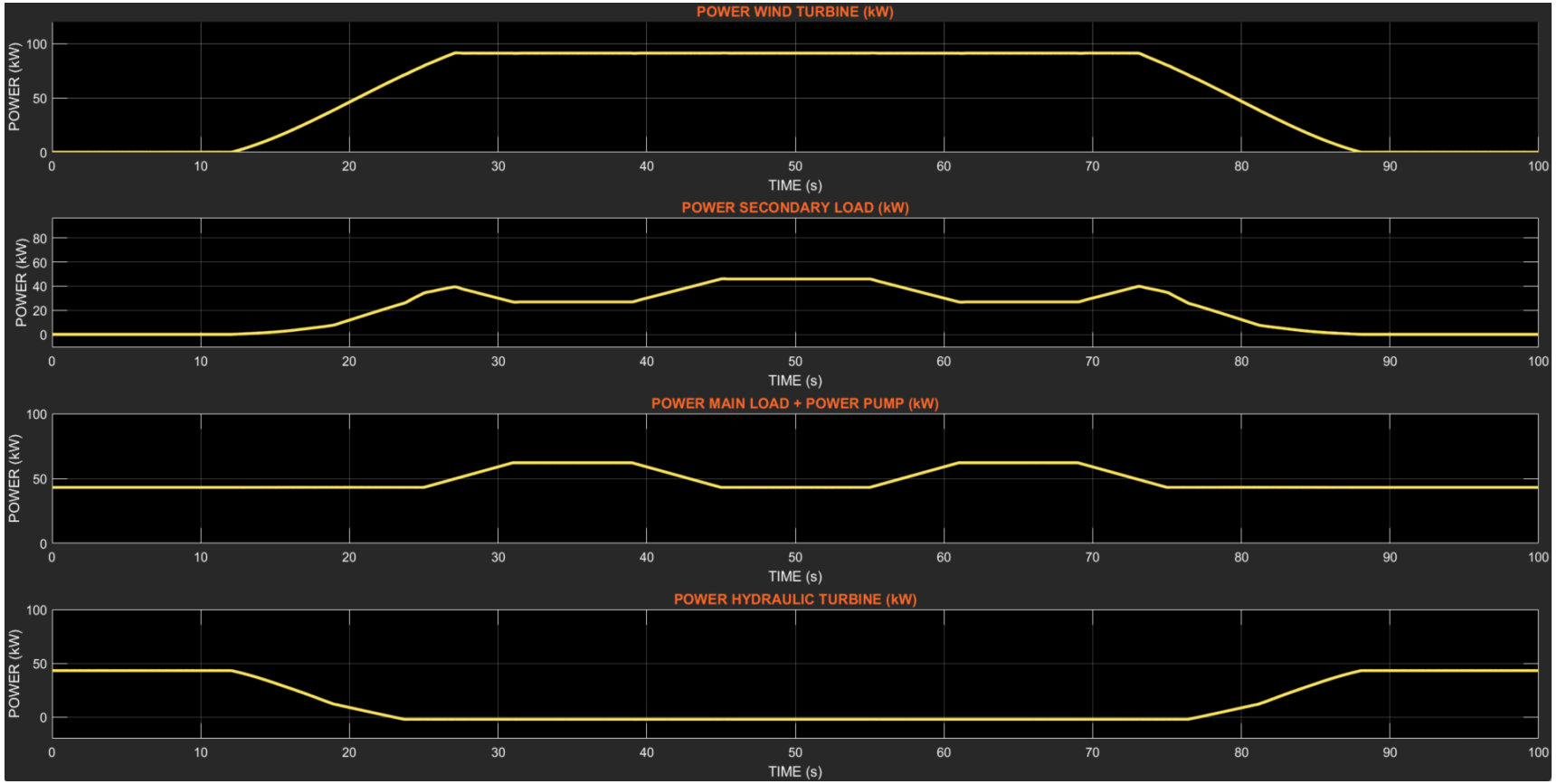
Compressione della scala temporale

24h → 100s

Dinamica con costanti di tempo relativamente brevi rispetto alle variazioni di vento e carico

↓

Regime quasi stazionario



www.dii.unipd.it

BILANCIO ENERGETICO

www.dii.unipd.it

Consumi :

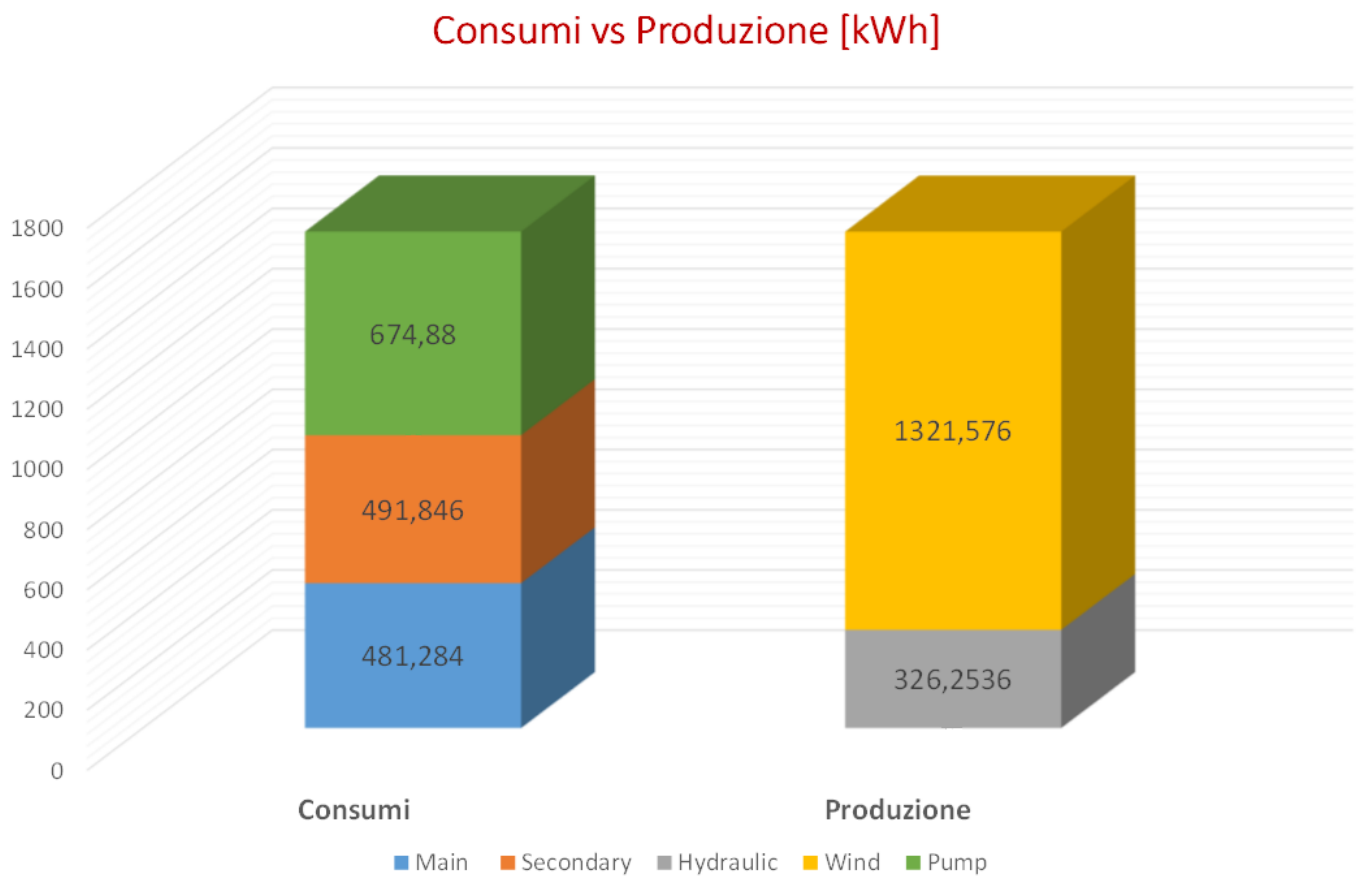
- Consumi carico principale: 481,284 kWh
- Consumi carico secondario: 491,846 kWh
- Consumi sistema di pompaggio: 674,88 kWh

Totale = 1648,01 kWh

Produzione :

- Produzione turbina eolica: 1321,576 kWh
- Produzione turbina idroelettrica: 326,254 kWh

Totale = 1647,829 kWh



È stata quindi verificata la congruenza del bilancio delle potenze.

VERIFICA DEL BILANCIO IDRICO DEL SISTEMA TURBINA-POMPA

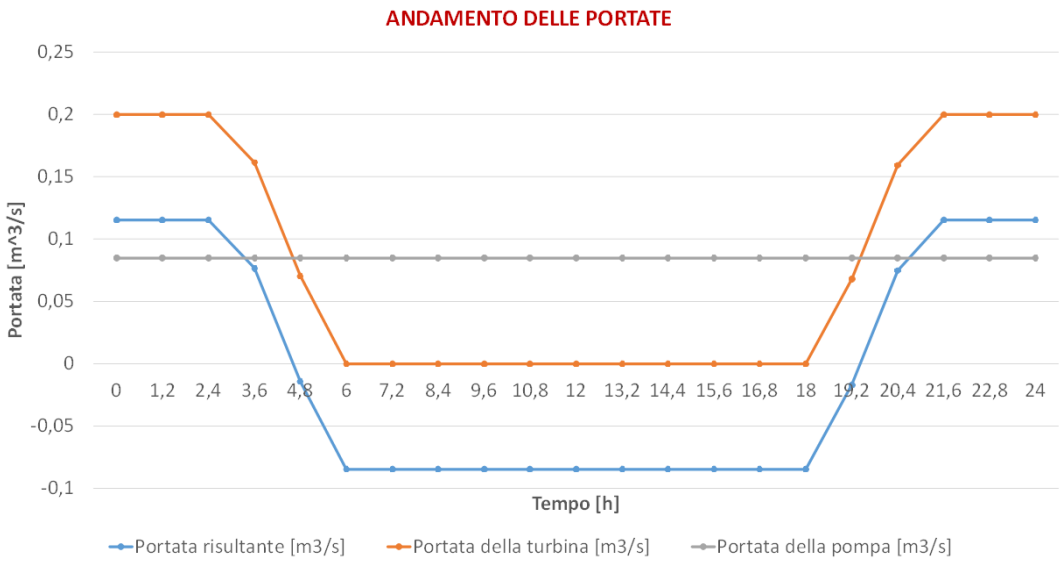
Il volume d'acqua movimentato dalla pompa è risultato maggiore di quello utilizzato dalla turbina considerando un tempo di 24 ore.

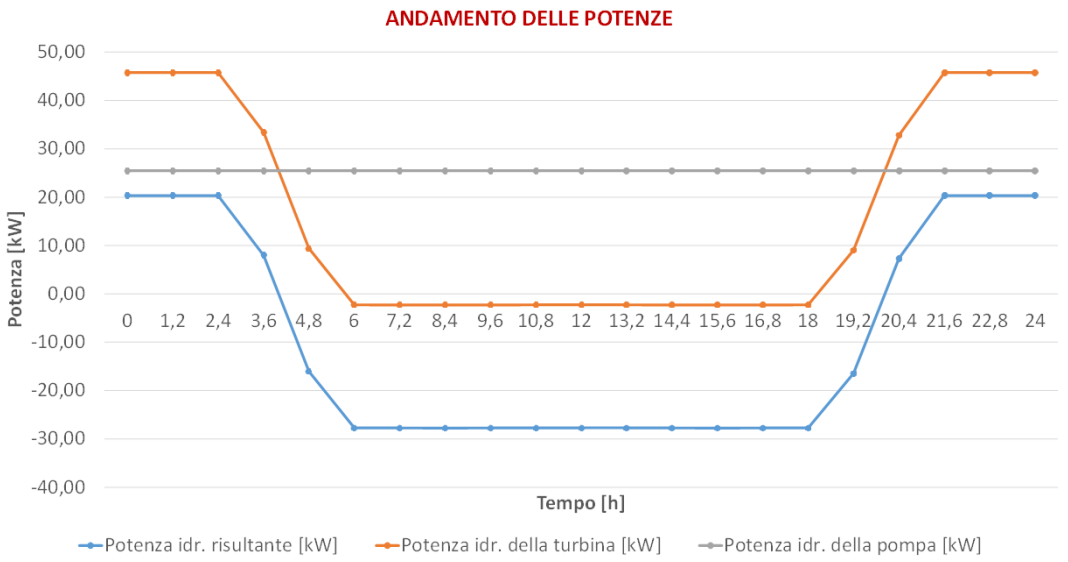
↓

Questo garantisce che il bacino superiore non si svuoti e che il bilancio idrico del sistema sia rispettato.

Media portata pompa [m3/s]	Media portata turbina [m3/s]
0,084773	0,079020952

Volume H2O Pompa [m^3]	Volume H2O Turbina [m^3]
7324,3872	6827,410286





www.dii.unipd.it

EFFICIENZA ELETTRICA DEL SISTEMA TURBINA-POMPA

www.dii.unipd.it

L'efficienza elettrica del sistema turbina-pompa è stata calcolata confrontando l'energia assorbita dalla pompa e l'energia prodotta dalla turbina, a parità di volume d'acqua movimentata nell'arco di una giornata di 24 ore.

- L'energia potenziale viene calcolata come: $E_{pot.} = \rho g H V$
- L' energia della pompa invece: $E_{pump} = P_{pump} * T_{pump}$

Dove per P_{pump} si intende la potenza costante assorbita dalla pompa

mentre per T_{pump} il tempo necessario alla pompa per movimentare lo stesso volume d'acqua che interessa la turbina

Energia Pompa [kWh]	Energia turbina [kWh]	Energia potenziale [kWh]
629,088	326,254	569,579

$$\eta = \frac{E_{pompa} - E_{turbina}}{E_{potenziale}} = \frac{629 - 326.25}{569.6} = \boxed{53.15\%}$$

CONCLUSIONI

www.dii.unipd.it

Questa analisi ha dimostrato che una microgrid isolata, basata su fonti rinnovabili, può garantire affidabilità e stabilità.

- Combinazione eolico + idroelettrico ⟶ copertura continua del fabbisogno
- Frequenza mantenuta stabile a 60 Hz
- Congruenza tra consumi e produzione

Sviluppi futuri:

- Utilizzo del modello con profili di vento diversi, con attenzione agli effetti dinamici delle masse rotanti
- Integrazione di nuovi sistemi di accumulo (batterie o sistemi ad idrogeno)
- Aggiunta di altre fonti rinnovabili (es. energia solare)
- Strategie di controllo più avanzate per la gestione dinamica della rete.

Grazie per l'attenzione