



+HYDRO
+STORAGE
+GRIDS
+HYDROGEN

45
/ ENGINEERING /

 **HYDROMATTERS**

*Technologies and experiences in electrical
power systems within the energy transition revolution*

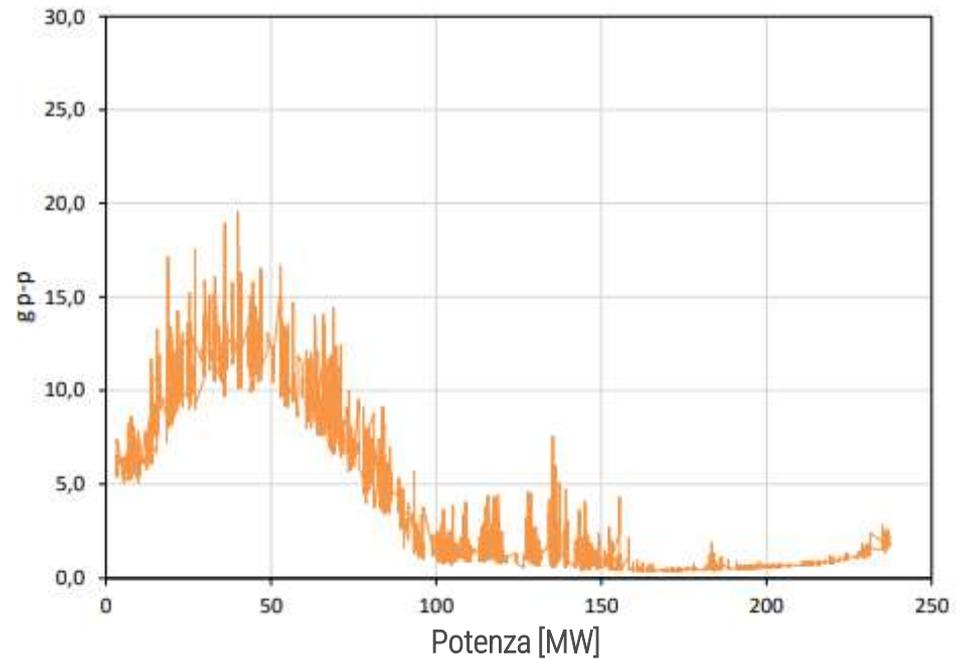
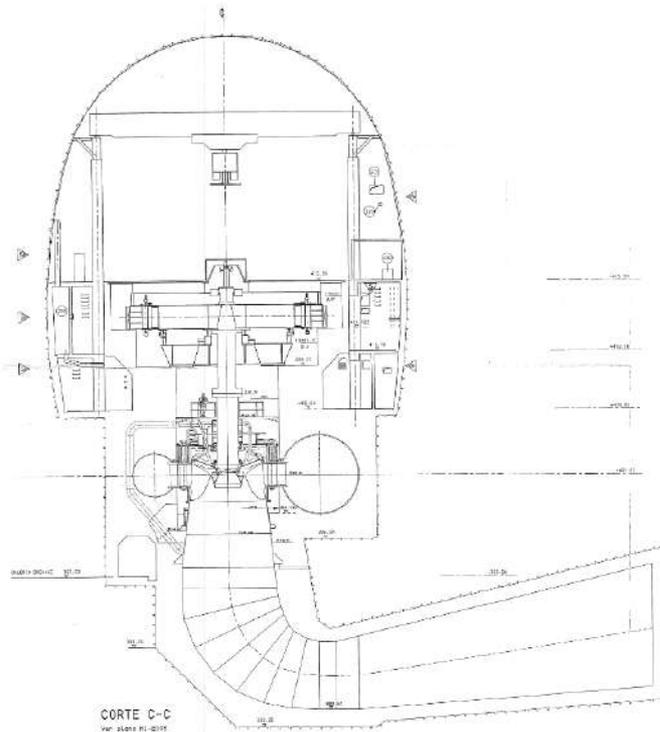
Mechanical engineering | R&D
management | Hydropower
consultants

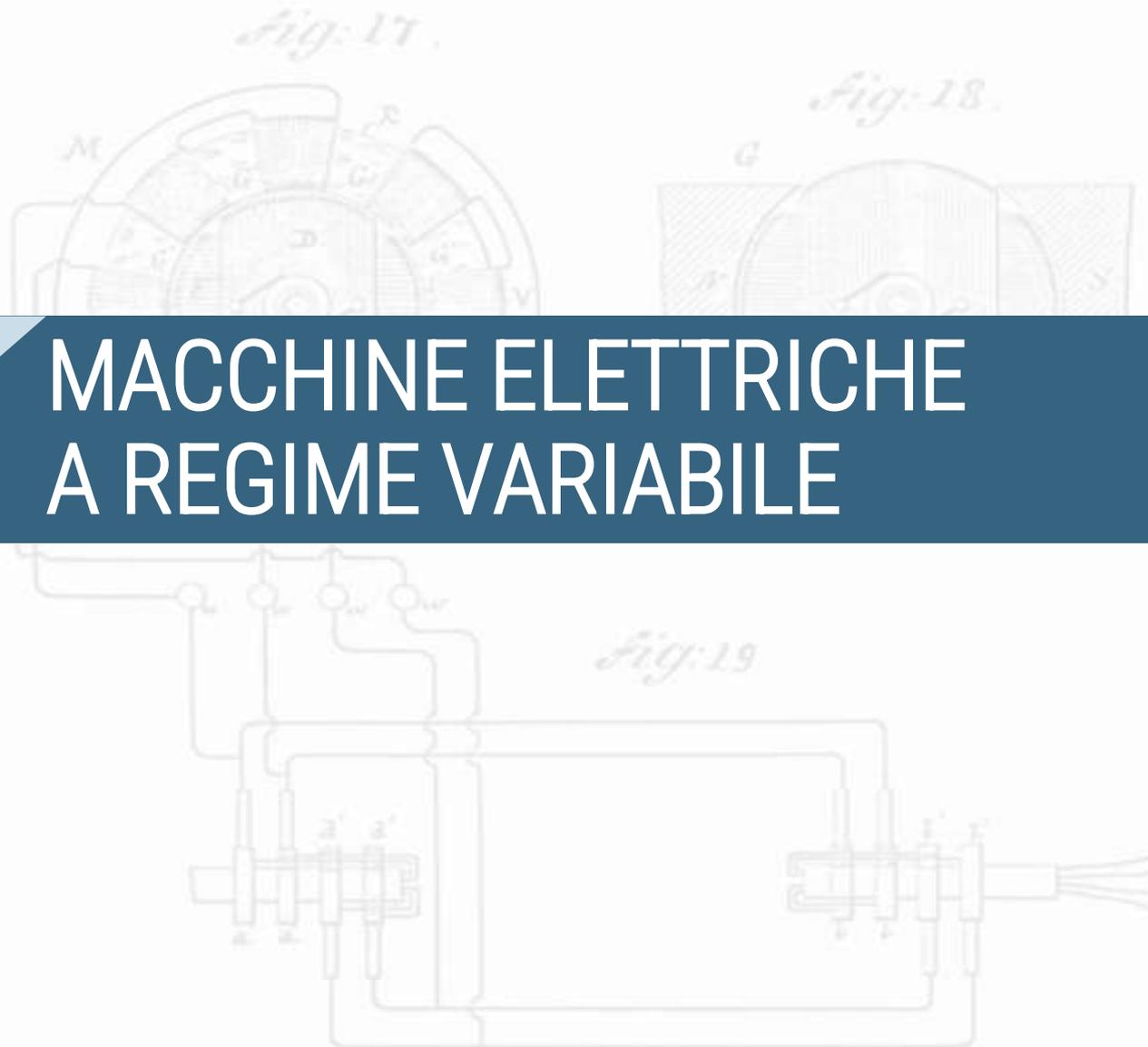
La generazione a regime variabile: quando conviene e perché?

Ing. Alberto Santolin Ph.D. – Ing. Giacomo Zanetti

21th September 2021 - Padova (IT)

REVAMPING DI UN IMPIANTO A BACINO

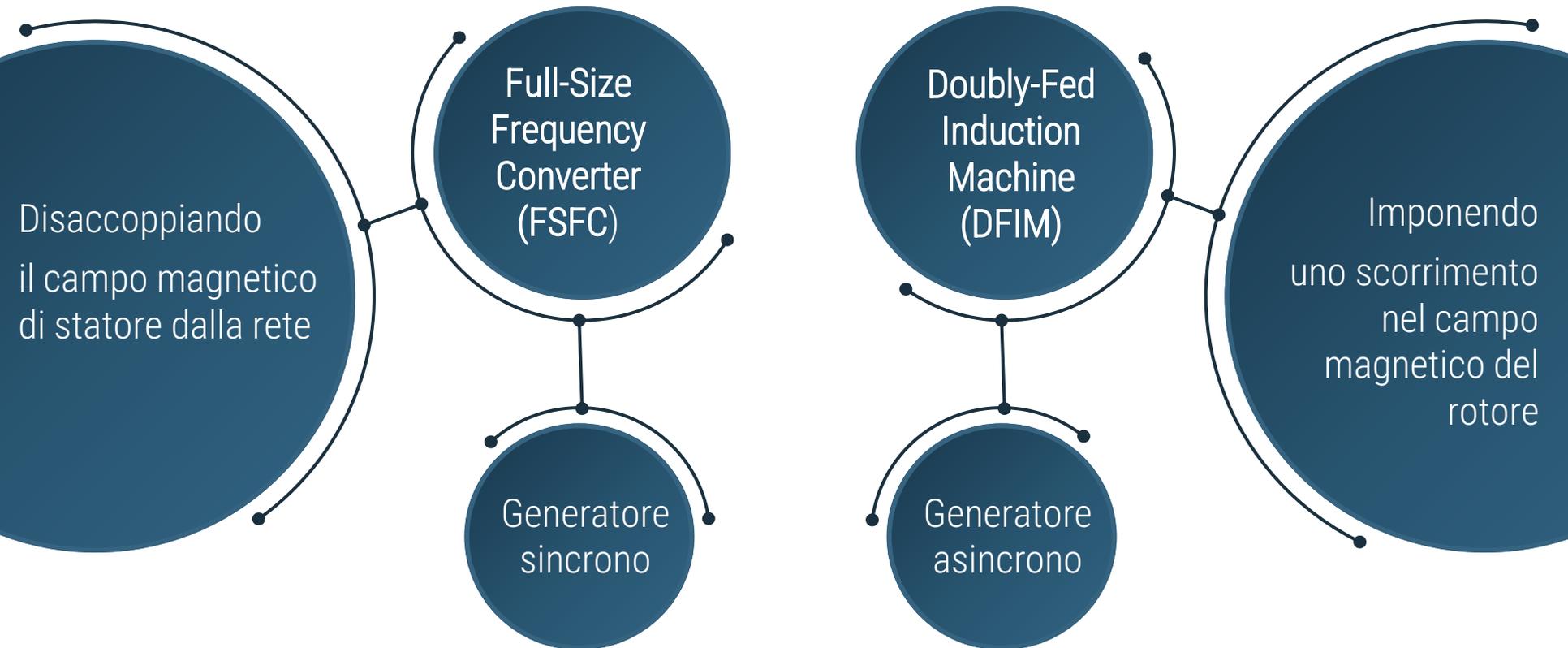




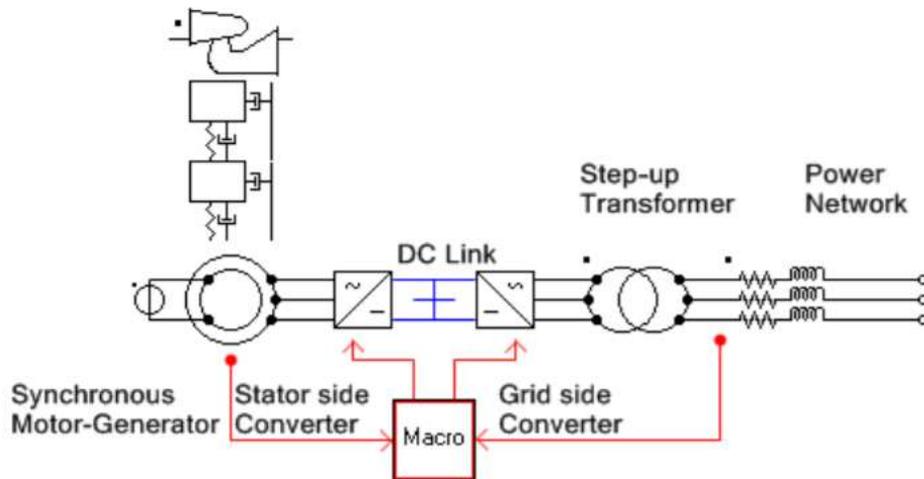
MACCHINE ELETTRICHE A REGIME VARIABILE

MACCHINE ELETTRICHE PER IL REGIME VARIABILE

Variazioni continue della velocità di rotazione possono essere raggiunte secondo due soluzioni tecniche



FSFC

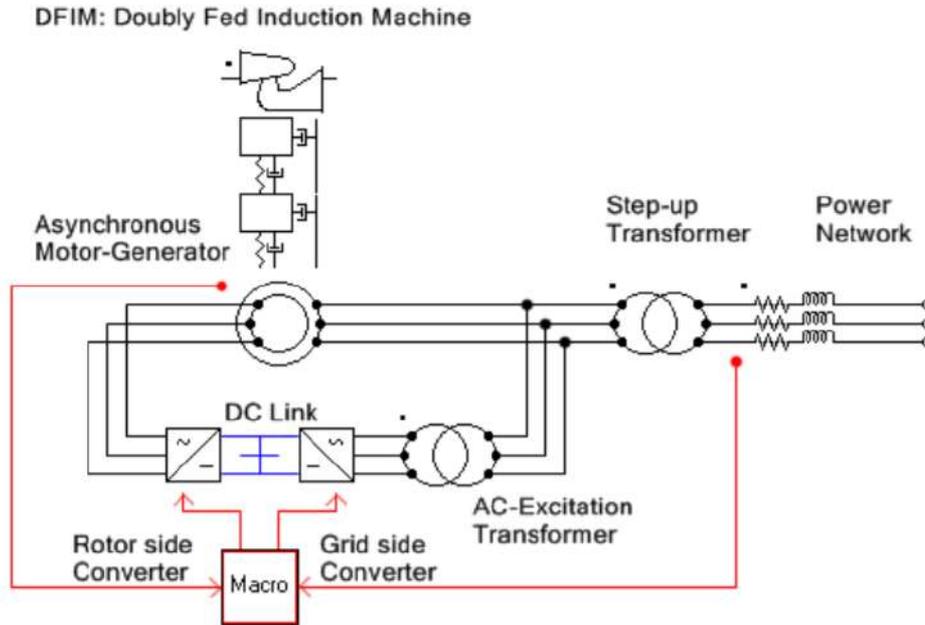


- > Permette una **totale regolazione** della velocità di rotazione
- > Può essere implementato in un impianto esistente **senza sostituire i generatori**
- > **Elevato costo** del convertitore e opere civili
- > Efficienza del convertitore nell'intervallo di 92-95%

Lo statore è connesso alla rete mediante un convertitore di frequenza con potenza nominale pari al 100% della potenza del generatore

A causa della relativamente bassa efficienza e degli elevati costi questa soluzione è adottata solo per **potenze inferiori ai 100 MW**

DFIM



> L'esperienza insegna che la variazione di velocità non può eccedere il 10% della velocità nominale

> Per potenze inferiori a 100MW **generatori sincroni possono essere convertiti** ad asincroni

- 30% di incremento del peso del rotore
- Installazione di spazzole maggiorate
- Incremento del diametro del rotore

> Incremento della complessità del rotore

> Nessun limite alla potenza massima

> Per generatori non convertiti l'efficienza è prossima a quella dei generatori tradizionali

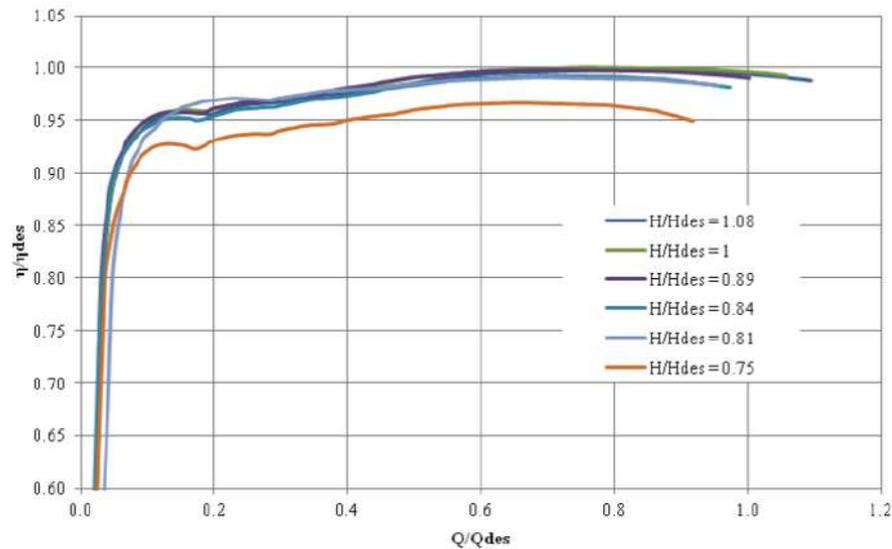
Questa soluzione tecnica è indicata per **potenze nominali superiori ai 100 MW**

The background of the slide is a detailed technical drawing of a power plant layout. It shows a long, narrow structure with two large, identical turbine-generator units positioned side-by-side. Each unit consists of a large circular base, a vertical shaft, and a complex upper structure. The drawing includes various lines, circles, and rectangles representing different components and structural elements of the plant.

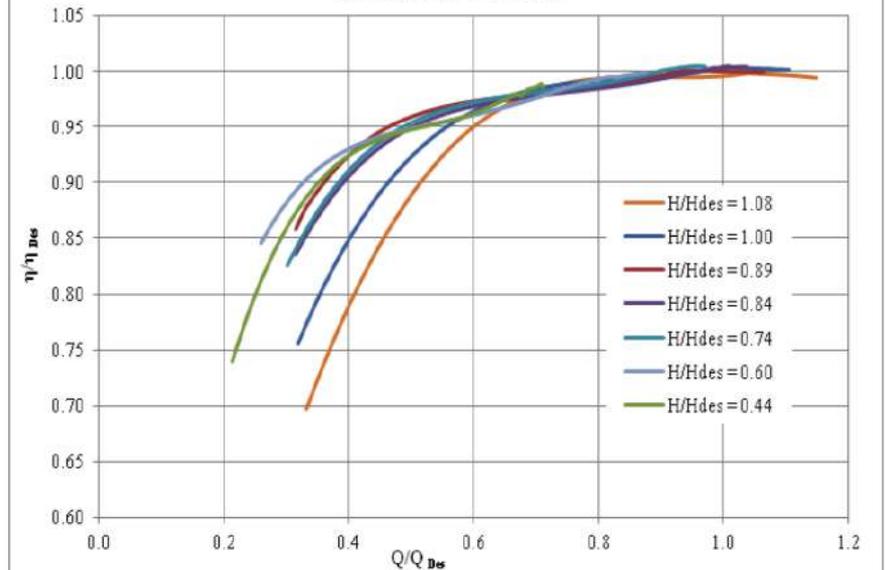
IMPIANTI DI GENERAZIONE

RENDIMENTO TURBINE PELTON

Constant speed Pelton turbine

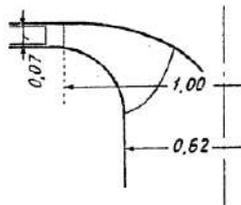
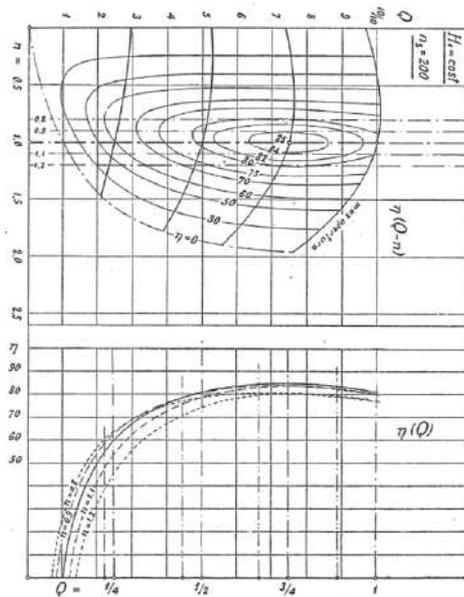


Variable speed Pelton turbine

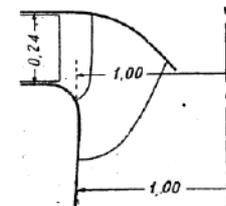
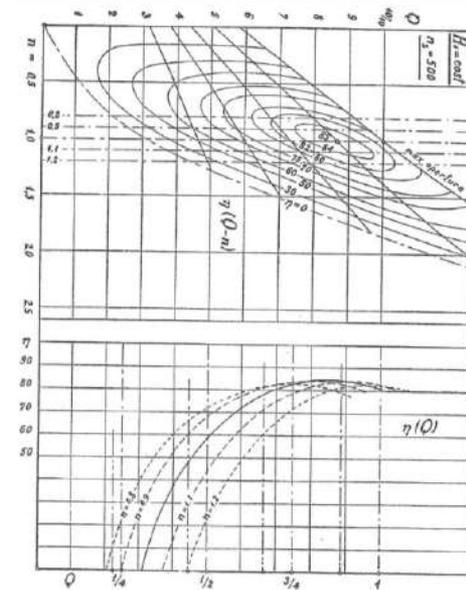


RENDIMENTO TURBINE FRANCIS

> Lento

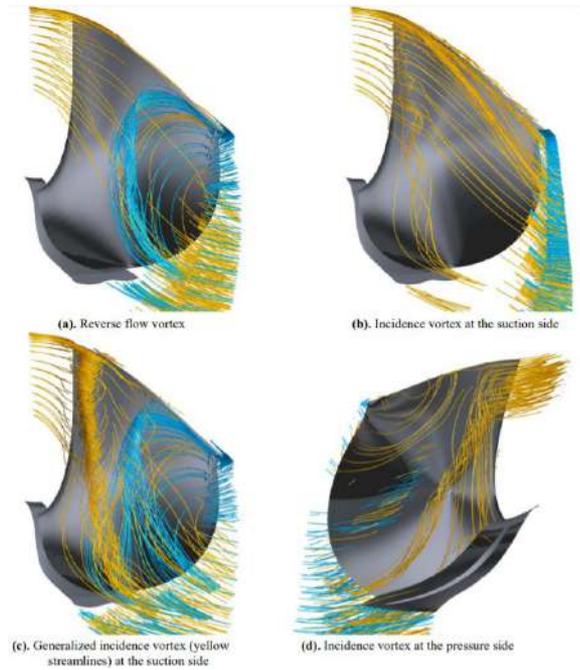
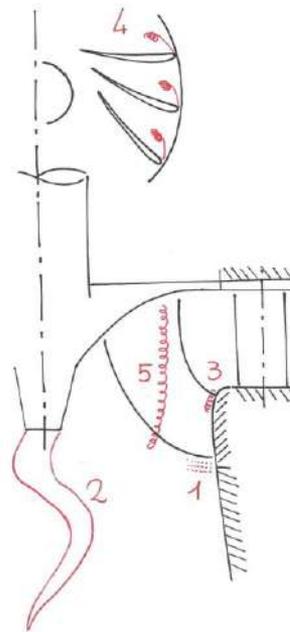
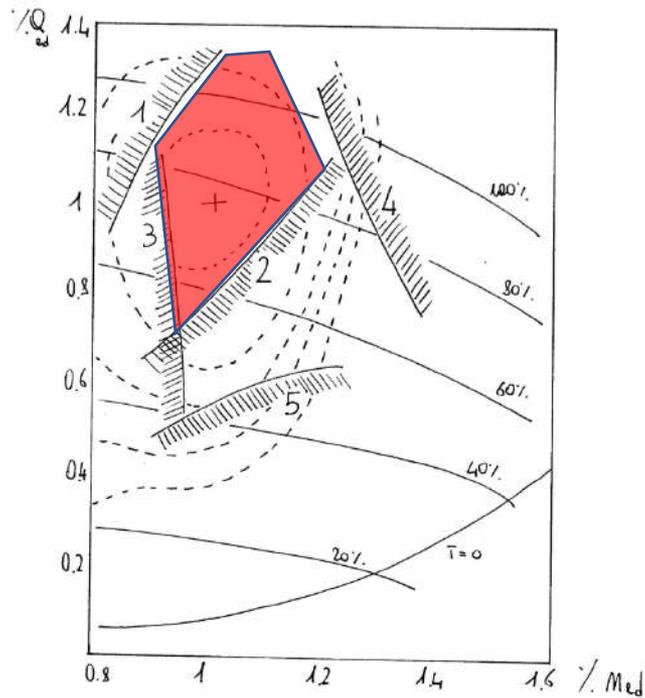


> Veloce

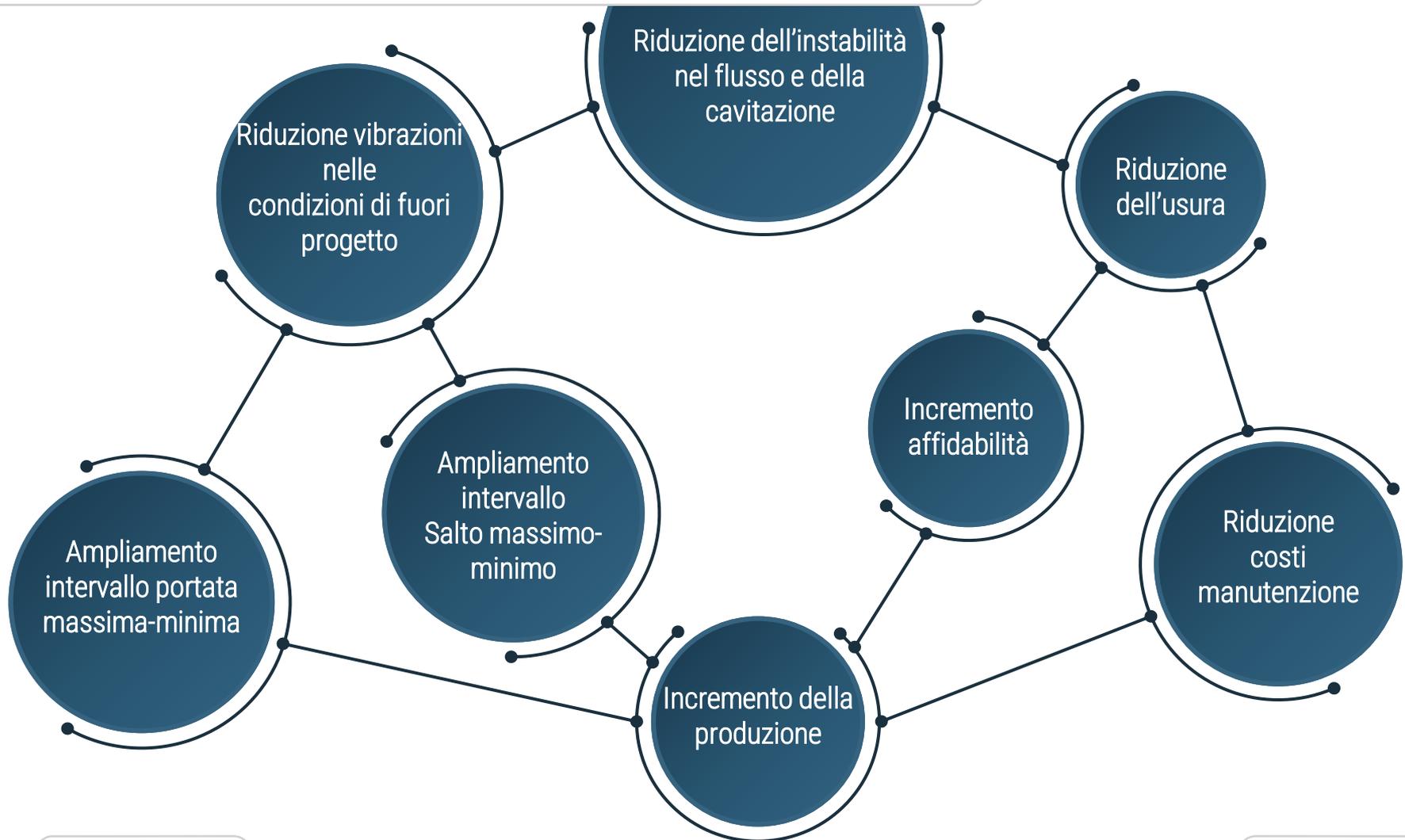


ESTENSIONE DEL REGIME OPERATIVO

Riduzione della cavitazione e delle strutture vorticose



ESTENSIONE DEL REGIME OPERATIVO

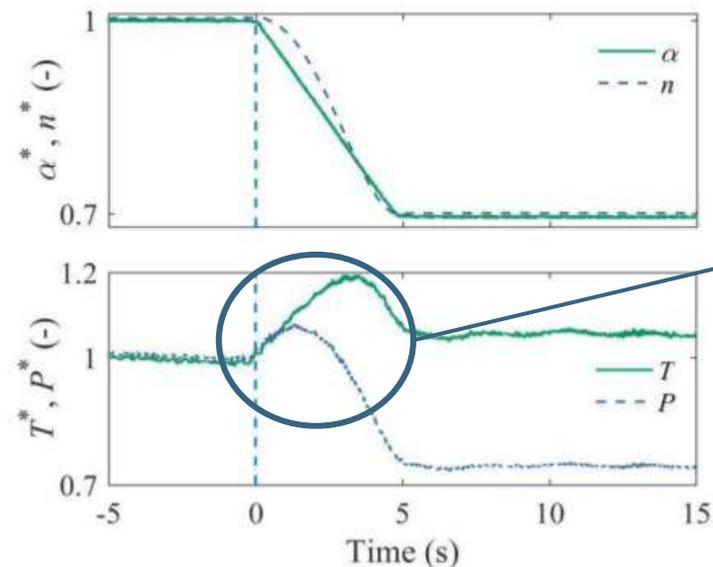


INCREMENTO PRESTAZIONI NEI TRANSITORI

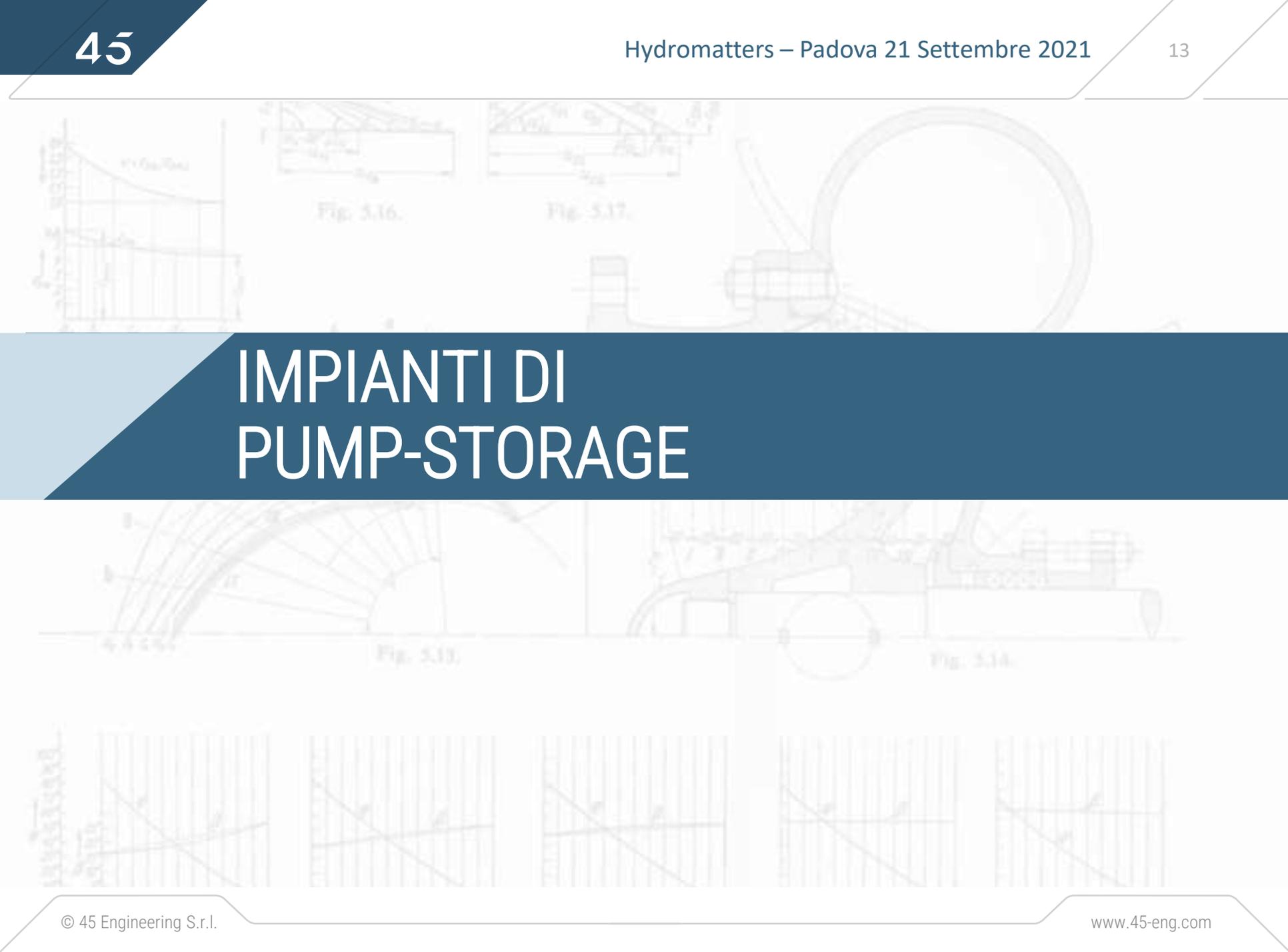
Riduzione del tempo di avvio della macchina

- Con la tecnologia FSFC è possibile ridurre al minimo il tempo di avvio della macchina non essendo necessario raggiungere il sincronismo
- Con la tecnologia DFIM è possibile ridurre il tempo di sincronizzazione abbassando la velocità al sincronismo

Erogazione rapido di potenza grazie all'effetto "Volano"



Energia rotazionale
In eccesso



IMPIANTI DI PUMP-STORAGE

IL CASO DELLE TURBINE REVERSIBILI

I vantaggi aumentano considerevolmente:

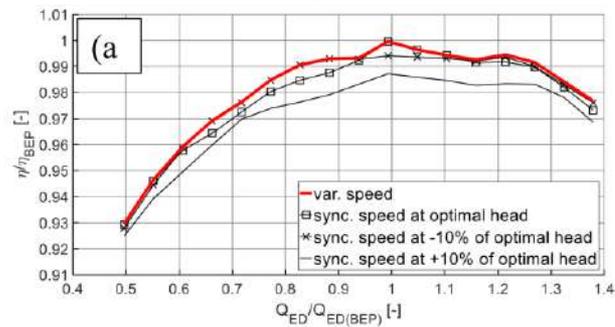
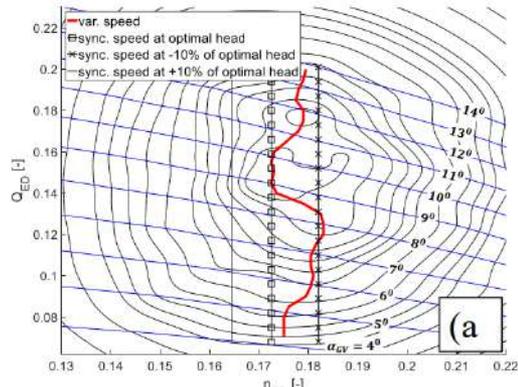
- > Miglior regolazione della potenza assorbita nel regime di pompaggio
- > Rapida transizione dal regime di pompaggio a turbinaggio e viceversa
- > Permette di far partire la macchina in pompaggio senza svuotare l'unità (solo per la soluzione FSFC)
- > Estensione del regime operativo ai carichi parziali
- > Sensibile aumento del rendimento specialmente ai carichi parziali

RENDIMENTO

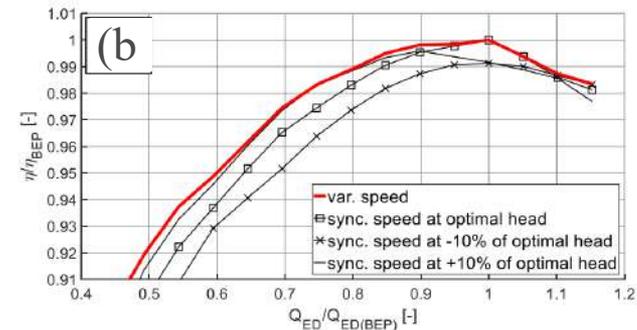
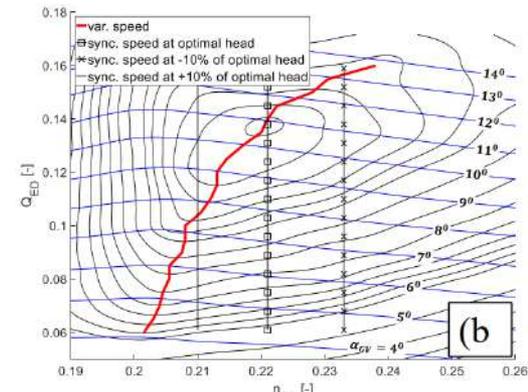
IL CASO DELLE TURBINE REVERSIBILI

Le turbine reversibili possono manifestare incrementi nel rendimento generalmente maggiori rispetto alle turbine convenzionali

A Turbina



B Pompa-turbina

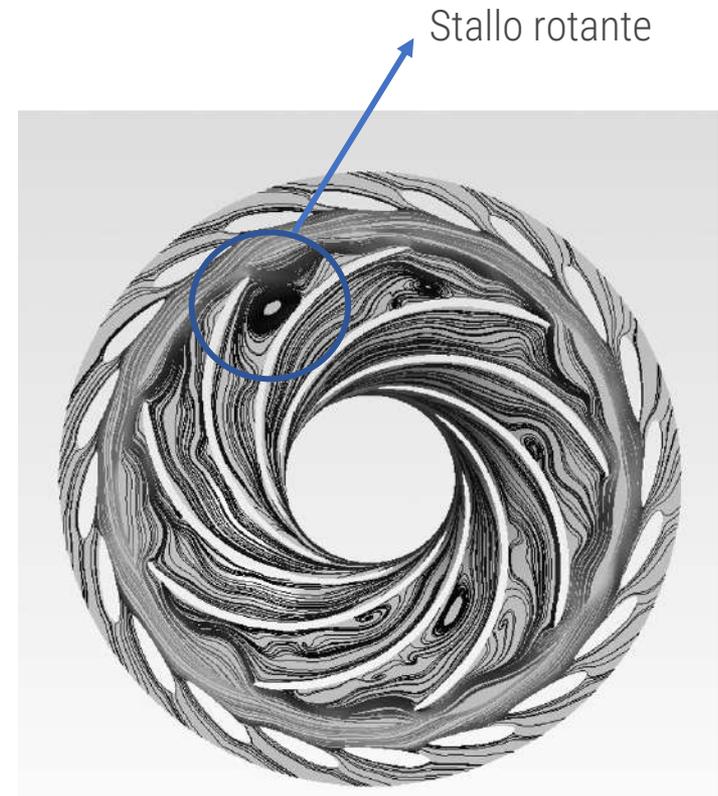
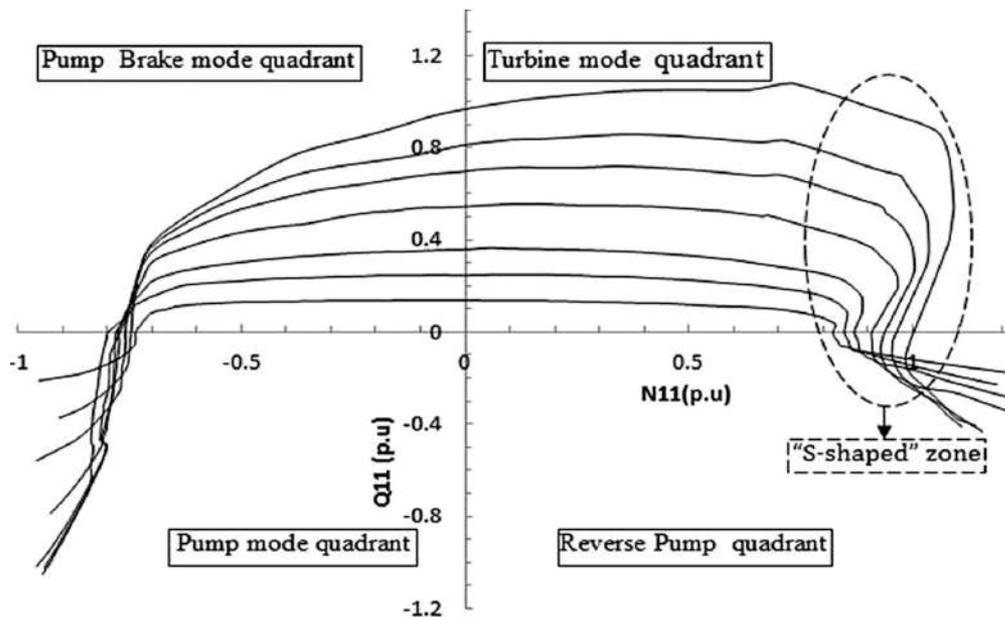




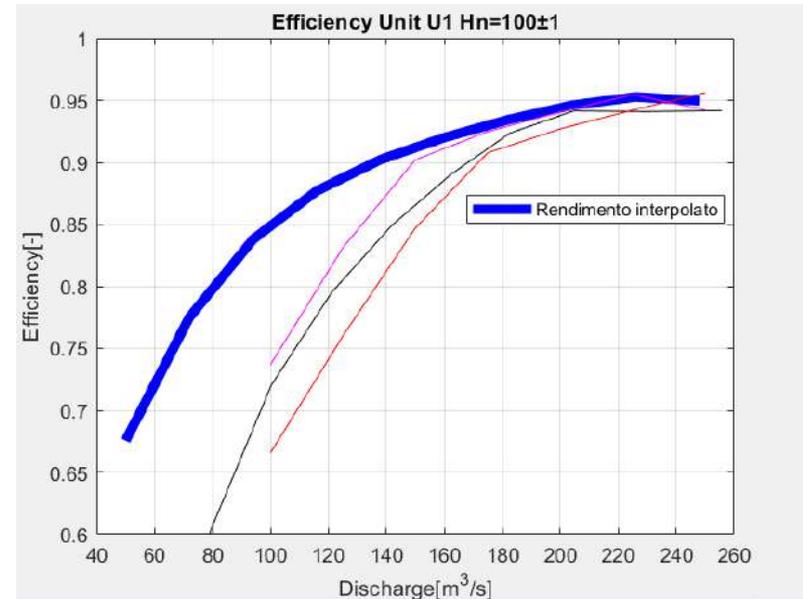
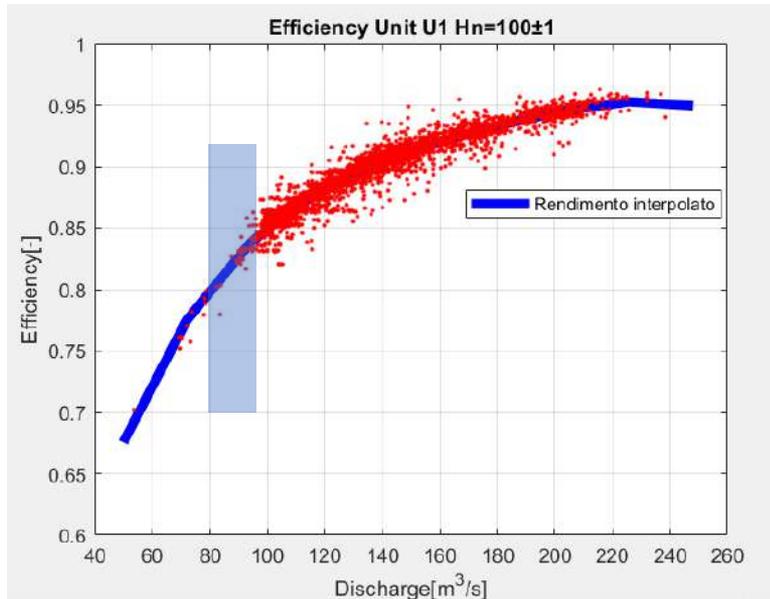
ESTENSIONE DEL REGIME OPERATIVO

IL CASO DELLE TURBINE REVERSIBILI

Estensione della regime operativa ai carichi parziali



Revamping di un impianto a bacino: un esempio pratico



➤ Riduzione della portata minima per il 15% del valore attuale

➤ Incremento del rendimento idraulico bilanciato dal calo del rendimento delle macchine elettriche con calo della potenza annua del 1.2%

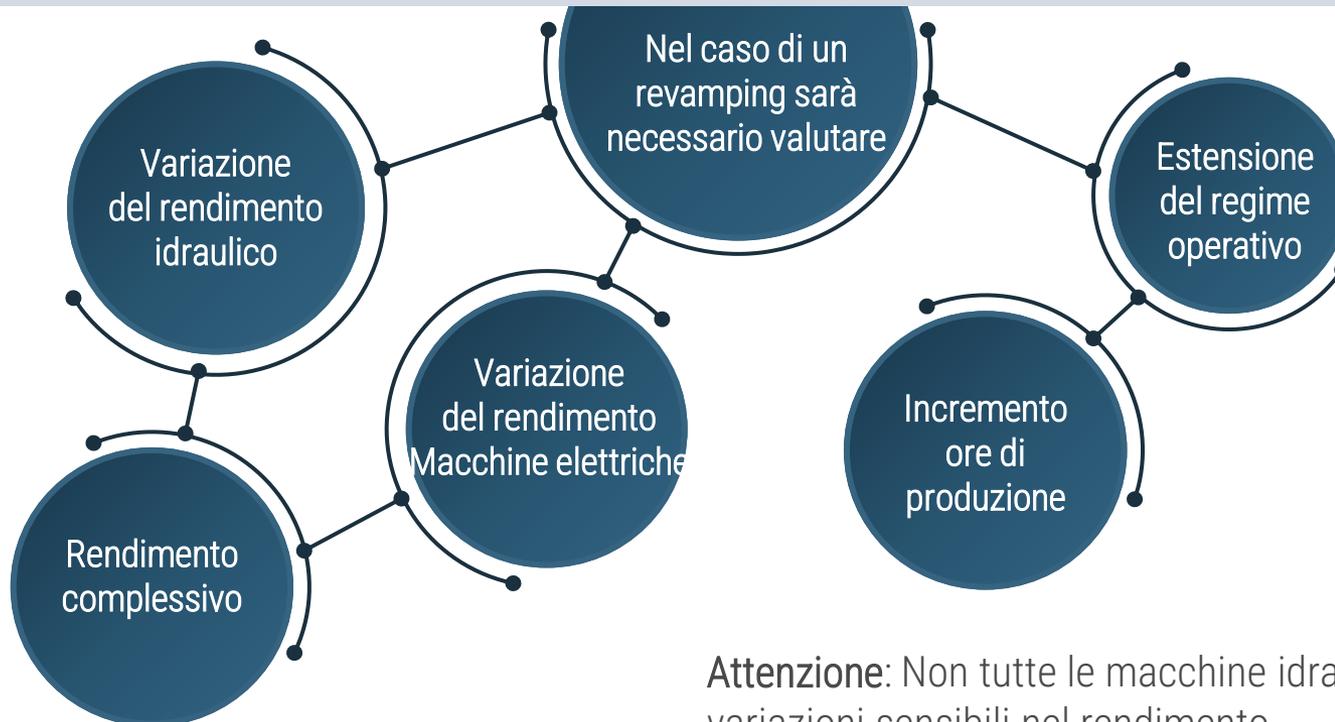
➤ Nessun vantaggio ottenibile dalla sostituzione delle giranti

Revamping di un impianto a bacino: un esempio pratico

L'impianto in questione lavora per molte ore al di fuori delle condizioni nominali

> Variazioni sensibili nel salto idrico

> Importanti variazioni della portata a causa di forte stagionalità e o limitazioni ambientali



Attenzione: Non tutte le macchine idrauliche manifestano variazioni sensibili nel rendimento

BIBLIOGRAFIA

- [1] Gizem Demirel, Ece Ayli, Kutay Celebioglu, Yigit Tascioglu, Selin Aradag, **“Experimental Determination of Cavitation Characteristics of Hydraulic Turbines”**, Proceedings of the World Congress on Engineering 2015 Vol II WCE 2015, July 1 - 3, 2015, London, U.K.
- [2] Cesar Farell, Javier Arroyave, Nicholas Cruz, and John S. Gulliver, **HYDROMECHANICS OF VARIABLE SPEED TURBINES, NIVERSITY OF MINNESOTA ST. ANTHONY FALLS HYDRAULIC LABORATORY Project Report No. 225**
- [3] Igor Iliev , Chirag Trivedi, Ole Gunnar Dahlhaug, **“Variable-speed operation of Francis turbines: A review of the perspectives and challenges”**, Renew. Sustain. Energy Rev., 103 (2019), pp. 109-121.
- [4] Christophe NICOLET, Olivier BRAUN Nicolas RUCHONNET, Antoine BEGUIN, Johann HELL, François AVELLAN, **“Full Size Frequency Converter for Fast Francis Pump-Turbine Operating Mode Transition”**
- [5] François Doussot, Guillaume Balarac, James Brammer, Yann Laurant, Olivier Métais. **RANS and LES simulations at partial load in Francis turbines: Three-dimensional topology and dynamic behaviour of inter-blade vortices**. 2019. ffhal-02333253
- [6] Iliev, I., Trivedi, C., Agnalt, E. , and Dahlhaug, O. G., 2019, **“Variable-Speed Operation and Pressure Pulsations in a Francis Turbine and a Pump-Turbine”**, *29th IAHR Symposium on Hydraulic Machinery and Systems*, Kyoto, Japan, Sept. 17–21, p. 072034
- [7] Chirag Trivedi, Einar Agnalt, Ole Gunnar Dahlhaug, **Experimental study of a Francis turbine under variable-speed and discharge conditions**.



Headquarters

Corte delle filande, 16
36075 Montecchio Maggiore (VI)
Italy

Registered Office

Via Giuseppe Mazzini, 5
37047 San Bonifacio (VR)
Italy

Contacts

info@45-eng.com

 +39 0444.607561

 +39 045.5113077

www.45-eng.com