

TITLE:

AVAILABLE LANGUAGE: IT

# IMPIANTO DI PROVVIDENZA

## Intervento di rifacimento e potenziamento Comune di L'Aquila (AQ)

### Progetto Definitivo per Autorizzazione

# RELAZIONE IDRO-ELETTROMECCANICA

File: GRE.EEC.D.99.IT.H.17171.00.005.00\_Relazione\_Elettromeccanica.docx

REV.	DATE	DESCRIPTION	PREPARED	VERIFIED	APPROVED
00	27/07/2022	Prima Emissione	S. Chirico	C. Piccinin F. Maugliani	A. Balestra

#### GRE VALIDATION

-	Support Team:	Project Engineer: <i>P. Viganoni</i>
COLLABORATORS	VERIFIED BY	VALIDATED BY

PROJECT / PLANT PROVVIDENZA	GRE CODE																		
	GROUP	FUNCION	TYPE	ISSUER	COUNTRY	TEC	PLANT			SYSTEM	PROGRESSIVE	REVISION							
	GRE	EEC	D	9	9	I	T	H	1	7	1	7	1	0	0	0	0	5	0

CLASSIFICATION PUBLIC

UTILIZATION SCOPE PROGETTO DEFINITIVO PER AUTORIZZAZIONE

This document is property of Enel Green Power S.p.A. It is strictly forbidden to reproduce this document, in whole or in part, and to provide to others any related information without the previous written consent by Enel Green Power S.p.A.

00	27.07.2022	ChS	MFr/Bal
<b>Versione</b>	<b>Data</b>	<b>Redatto</b>	<b>Verificato</b>

**Lombardi SA** Ingegneri Consulenti  
Via del Tiglio 2, C.P. 934, CH-6512 Bellinzona-Giubiasco  
Telefono +41(0)91 735 31 00  
www.lombardi.group, info@lombardi.group

## INDICE

1.	INTRODUZIONE	1
1.1	Contesto generale e scopo del lavoro	1
1.2	Documenti analizzati	1
1.2.1	Documentazione dataroom Enel	1
2.	DATI IDRAULICI DI RIFERIMENTO	2
3.	CARICHI E PORTATE	4
3.1	Carichi e portate considerati in fase di generazione	4
3.2	Carichi e portate considerati in fase di pompaggio	4
4.	POTENZA DEL NUOVO GRUPPO	6
5.	RENDIMENTI DI MACCHINA	7
	Salto Lordo = 272.50 m – Generazione	7
	Salto lordo = 234.00 m – Generazione	7
	Prevalenza nominale (design) - Pompaggio	7
6.	DIMENSIONAMENTO DELLE MACCHINE ED APPARECCHIATURE PRINCIPALI D'IMPIANTO	8
6.1	Caratteristiche e dimensioni principali della macchina idraulica	8
6.2	Dimensioni principali della Cassa a Spirale	9
6.3	Dimensioni principali di Cono e Diffusore	11
6.4	Valvola di macchina di monte (lato alta pressione)	12
6.5	Organo di sezionamento di valle (lato bassa pressione)	13
6.6	Lunghezza dell'albero della girante	14
6.7	Introduzione alla tecnologia CFMS	14
6.8	Caratteristiche e dimensioni principali della macchina elettrica	16
6.9	Caratteristiche principali dell'eccitazione statica	17
6.10	Caratteristiche e Dimensioni principali del trasformatore	18
6.11	Caratteristiche e dimensioni del convertitore statico di frequenza	19
6.12	Caratteristiche e dimensioni dell'installazione MT	21

7.	DIMENSIONAMENTO DEI SISTEMI AUSILIARI D'IMPIANTO	23
7.1	Sistema di raffreddamento	23
7.2	Sistema di lubrificazione e raffreddamento delle tenute dell'albero	23
7.3	Sistema ad olio pressurizzato	24
7.4	Armadi di controllo del processo	25
7.5	Sistema di Drenaggio	25
7.6	Sistema di svuotamento dell'acqua contenuta nel gruppo	26

## INDICE DELLE FIGURE

<b>Figura 1:</b>	Macchina idraulica - schema dimensioni principali .....	8
<b>Figura 2:</b>	Cassa a spirale - schema dimensioni principali .....	9
<b>Figura 3:</b>	Cono e Diffusore - schema dimensioni principali.....	11
<b>Figura 4:</b>	Valvola di monte (alta pressione) – posizione .....	12
<b>Figura 5:</b>	Valvola di valle (bassa pressione) – posizione .....	13
<b>Figura 6:</b>	Albero della girante - dimensioni.....	14
<b>Figura 7:</b>	Generatore - dimensioni principali .....	17
<b>Figura 8:</b>	Eccitazione Statica - estratto schema unifilare .....	17
<b>Figura 9:</b>	Trasformatore - dimensioni principali.....	18
<b>Figura 10:</b>	Posizione del nuovo fabbricato trasformatore/convertitore di frequenza/raffreddamento	19
<b>Figura 11:</b>	Convertitore statico – schemi alternativi e dimensioni principali.....	20
<b>Figura 12:</b>	Convertitore statico - Sistema di raffreddamento a circuito chiuso.....	20
<b>Figura 13:</b>	Filtro Armonico - dimensioni principali .....	21
<b>Figura 14:</b>	Installazione di Componenti MT.....	22
<b>Figura 15:</b>	Sistema ad olio pressurizzato - dimensioni.....	25

## INDICE DELLE TABELLE

<b>Tabella 1:</b>	Nuovo Gruppo reversibile – generazione – carichi e portate .....	4
<b>Tabella 2:</b>	Nuovo Gruppo reversibile – pompaggio – carichi e portate .....	5
<b>Tabella 3:</b>	Nuovo Gruppo reversibile – potenze disponibili .....	6

<b>Tabella 4:</b> Nuovo Gruppo reversibile – caratteristiche principali della macchina idraulica .....	8
<b>Tabella 5:</b> Valvola di monte (alta pressione) – caratteristiche.....	12
<b>Tabella 6:</b> Valvola di valle (bassa pressione) – caratteristiche.....	13
<b>Tabella 7:</b> Generatore – caratteristiche .....	16
<b>Tabella 8:</b> Trasformatore – caratteristiche.....	18

## 1. INTRODUZIONE

### 1.1 Contesto generale e scopo del lavoro

Enel Produzione SpA – HGT Design & Execution, ha affidato a Lombardi SA l'incarico professionale di ingegneria per la Progettazione Definitiva per Autorizzazione dell'intervento ammodernamento ed incremento della capacità di pompaggio per l'impianto idroelettrico di Provvidenza, sito nel Comune di Ortolano (AQ).

Attualmente la centrale di Provvidenza, che deriva dal serbatoio di Campotosto e restituisce nel serbatoio di Provvidenza, è dotata di tre gruppi di produzione: 2 gruppi ternari ad asse orizzontale con giranti Francis (Gr. 1-2) da 51.8 MW ed un gruppo reversibile ad asse verticale con girante Francis (Gr.3) da 52.2 MW.

L'intervento in progetto prevede l'ammodernamento dell'impianto di generazione esistente con rifacimento completo ed un incremento della potenza in pompaggio sostituendo le macchine esistenti con n.2 nuovi gruppi reversibili da 110 MW cadauno. L'idea del potenziamento nasce per iniziativa delle strutture Tecniche di Enel Green Power con lo scopo di sfruttare al meglio la risorsa idrica disponibile, adeguandone l'utilizzo alle nuove esigenze di regolazione e servizi ancillari di rete.

L'obiettivo di questa Relazione Tecnica è quello di descrivere, per la fase di progettazione definitiva, il dimensionamento dei principali componenti idromeccanici ed elettromeccanici dei nuovi gruppi reversibili di prevista installazione.

### 1.2 Documenti analizzati

#### 1.2.1 Documentazione dataroom Enel

Per lo sviluppo del progetto definitivo si è fatto riferimento ai documenti compresi nella documentazione d'incarico ricevuta da Enel GP, raccolti nella dataroom di progetto.

Il progetto definitivo è stato sviluppato senza studio di fattibilità: sono state quindi esaminate, prima di dar corso all'alternativa prescelta, alcune diverse soluzioni di layout fra le piu' praticabili, valutate qualitativamente per i vari aspetti tecnici e quindi per il rapporto costi benefici.

## 2. DATI IDRAULICI DI RIFERIMENTO

Il riferimento per il dimensionamento idro ed elettro meccanico sono i dati idraulici del nuovo gruppo reversibile valutati nella Relazione Idraulica e rappresentati nello Schema Idraulico della derivazione, documenti compresi nel presente progetto definitivo.

Di seguito si riassumono i dati idraulici principali

### 1. In generazione:

- Portata massima 2gr. (2 gruppi in operazione) 86.0 m<sup>3</sup>/s
- Portata massima 1gr. (1 gruppo in operazione) 43.0 m<sup>3</sup>/s
- Portata minima ~17 m<sup>3</sup>/s
- Max. salto lordo 272.5 mH<sub>2</sub>O
- Salto netto alla portata massima 2gr. 250.2 mH<sub>2</sub>O.
- Salto netto alla portata massima 1gr. 266.9 mH<sub>2</sub>O.
- Salto netto alla portata minima 271.6 mH<sub>2</sub>O.

### 2. In pompaggio

- Portata massima 2gr. (2 gruppi in operazione) 72.0 m<sup>3</sup>/s
- Portata massima 1gr. (1 gruppo in operazione) 36.0 m<sup>3</sup>/s
- Max. salto lordo 272.5 mH<sub>2</sub>O
- Salto netto alla massima portata 2gr. 288.2 mH<sub>2</sub>O

Considerando il valore minimo del salto lordo i valori di portata subiscono le seguenti variazioni:

### 1. In generazione:

- Portata massima (singola unità) ~41.5 m<sup>3</sup>/s
- Min. salto lordo 234.0 mH<sub>2</sub>O
- Salto netto alla portata massima 228.8 mH<sub>2</sub>O.
- Portata minima ~16.6 m<sup>3</sup>/s
- Salto netto alla portata minima 233.2 mH<sub>2</sub>O.

### 2. In pompaggio

- Portata massima (singola unità) 36.0 m<sup>3</sup>/s
- Portata minima (singola unità) 24.0 m<sup>3</sup>/s
- Min. salto lordo 234.0 mH<sub>2</sub>O

- Salto netto alla portata massima 237.9 mH<sub>2</sub>O
- Salto netto alla portata minima 235.7 mH<sub>2</sub>O

Il gruppo è stato dimensionato in riferimento alla portata di progetto in pompa su un salto corrispondente a circa il 90% dell'oscillazione massima del salto netto.

Ne deriva una portata di progetto per l'operazione in pompa pari a 33.5 m<sup>3</sup>/s, in corrispondenza di una prevalenza netta pari a ~281 mH<sub>2</sub>O.

I valori sopra riportati evidenziano l'ampia variazione di salti e carichi da considerare per l'operazione della macchina. In considerazione di queste variazioni, si è optato per una macchina a velocità variabile, la cui gestione consente di ottimizzare i rendimenti accettabili sull'intero campo delle condizioni di funzionamento.

### 3. CARICHI E PORTATE

Nel presente capitolo si riporta per le modalità di funzionamento in generazione e pompaggio la tabulazione dei valori di livello nei serbatoi, salto lordo, perdite di carico, salto netto considerati nel dimensionamento del nuovo gruppo reversibile.

Nella fase di generazione si intende per “monte” quanto relativo al serbatoio di Campotosto, mentre per “valle” si intende quanto relativo al serbatoio di Provvidenza.

#### 3.1 Carichi e portate considerati in fase di generazione

Grandezza	Valore	u.m.
Max. livello serbatoio monte	1317.50	m s.l.m.
Min. livello serbatoio monte	1294.00	m s.l.m.
Max. livello serbatoio valle	1060.00	m s.l.m.
Min. livello serbatoio valle	1045.00	m s.l.m.
Max. salto lordo	272.50	mH2O
Min. salto lordo	234.00	mH2O
Minimo salto netto (@ 80 m <sup>3</sup> /s, 2 gr.)	214.7	mH2O
Salto netto rated (@ 86 m <sup>3</sup> /s, 2 gr.)	250.2	mH2O
Massimo salto netto (@ 17 m <sup>3</sup> /s)	271.6	mH2O
Perdite di carico complessive @ 86 m <sup>3</sup> /s (2 gr.)	22.3	mH2O

**Tabella 1:** Nuovo Gruppo reversibile – generazione – carichi e portate

#### 3.2 Carichi e portate considerati in fase di pompaggio

Grandezza	Valore	u.m.
Max. livello serbatoio monte	1317.50	m s.l.m.
Min. livello serbatoio monte	1294.00	m s.l.m.
Max. livello serbatoio valle	1060.00	m s.l.m.
Min. livello serbatoio valle	1045.00	m s.l.m.
Max. salto lordo	272.50	mH2O
Min. salto lordo	234.00	mH2O
Portata nominale (design)	33.5	m <sup>3</sup> /s
Portata massima	36.0	m <sup>3</sup> /s

Grandezza	Valore	u.m.
Prevalenza (design) @ 33.5 m <sup>3</sup> /s	281.1	mH2O
Prevalenza massima (max. salto lordo @72 m <sup>3</sup> /s)	288.2	mH2O
Prevalenza minima (min salto lordo @24 m <sup>3</sup> /s)	235.7	mH2O
Perdite di carico complessive @24 m <sup>3</sup> /s	1.7	mH2O
Perdite di carico complessive @67 m <sup>3</sup> /s (2 gr.design)	13.61	mH2O

**Tabella 2:** Nuovo Gruppo reversibile – pompaggio – carichi e portate

## 4. POTENZA DEL NUOVO GRUPPO

Considerando i dati idraulici indicati nel precedente capitolo, le potenze disponibili sono le seguenti:

Modalità	Salto netto	Potenza	u.m.
Generazione	Massimo	97	MW
Generazione	Minimo	~36	MW
Pompaggio	Massimo	101	MW
Pompaggio	Minimo	~65	MW

**Tabella 3:** Nuovo Gruppo reversibile – potenze disponibili

Per il dimensionamento della macchina elettrica, la potenza considerata è la potenza meccanica di 101 MW all'albero divisa per l'efficienza dell'alternatore e del convertitore di frequenza, ovvero una potenza elettrica di circa 110.0 MW. Come accennato in precedenza, l'alternatore funzionerà sempre con  $\cos(\varphi) = 1.0$ .

Il range di operazione della macchina è riportato nelle seguenti figure.

## 5. RENDIMENTI DI MACCHINA

I rendimenti percentuali della girante in modalità turbina o pompa sono stati stimati per alcune condizioni operative significative in una parte del range di funzionamento previsto.

I risultati sono presentati nelle tabelle seguenti.

*Salto Lordo = 272.50 m – Generazione*

Grado di apertura	100%	90%	80%	70%	60%	50%
Portata	43	38.7	34.4	30.1	25.8	21.5
Perdite di carico	22.3	18.1	12.4	9.5	7	5.6
Salto netto	250.2	254.4	260.1	263.0	265.5	266.9
Rendimento	91.96%	92.80%	92.68%	91.37%	87.36%	79.39%

*Salto lordo = 234.00 m – Generazione*

Grado di apertura	100%	90%	80%	70%	60%	50%
Portata	40	36	32	28	24	20
Perdite di carico	19.3	15.7	12.4	9.5	7	4.8
Salto netto	214.7	218.3	221.6	224.5	227	229.2
Rendimento	89.5%	91.0%	90.9%	89.6%	85.7%	77.8%

*Prevalenza nominale (design) - Pompaggio*

Portata design	33.5
Prevalenza design	281.1
Rendimento	91.5%

## 6. DIMENSIONAMENTO DELLE MACCHINE ED APPARECCHIATURE PRINCIPALI D'IMPIANTO

### 6.1 Caratteristiche e dimensioni principali della macchina idraulica

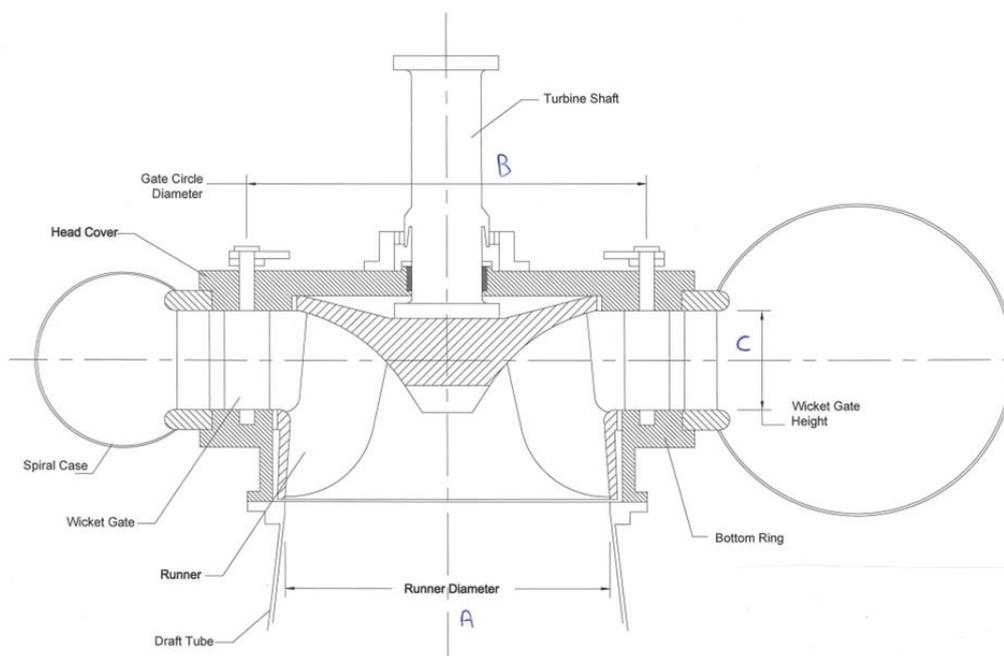
La macchina idraulica – Pompa-Turbina Francis Monostadio Reversibile a giri variabili – è dimensionata per un funzionamento con le seguenti caratteristiche:

Grandezza	Valore	u.m.
Salto netto nominale (di progetto) pompa	281.10	mH2O
Salto netto nominale (di progetto) turbina	250.20	mH2O
Portata nominale (di progetto) pompa	33.50	m <sup>3</sup> /s
Portata massima (di progetto) turbina	43.00	m <sup>3</sup> /s
Velocità nominale	500.0 (variabile)	Giri/min

**Tabella 4:** Nuovo Gruppo reversibile – caratteristiche principali della macchina idraulica

Si sottolinea che un eventuale dimensionamento con una velocità di rotazione inferiore (428.6 rpm) rispetto al valore indicato in tabella è considerato ad ogni modo fattibile e potrà essere considerato nelle fasi successive del progetto, da parte dei fornitori dei gruppi reversibili, secondo ulteriori ottimizzazioni consigliate dalla tecnologia disponibile e dall'esperienza.

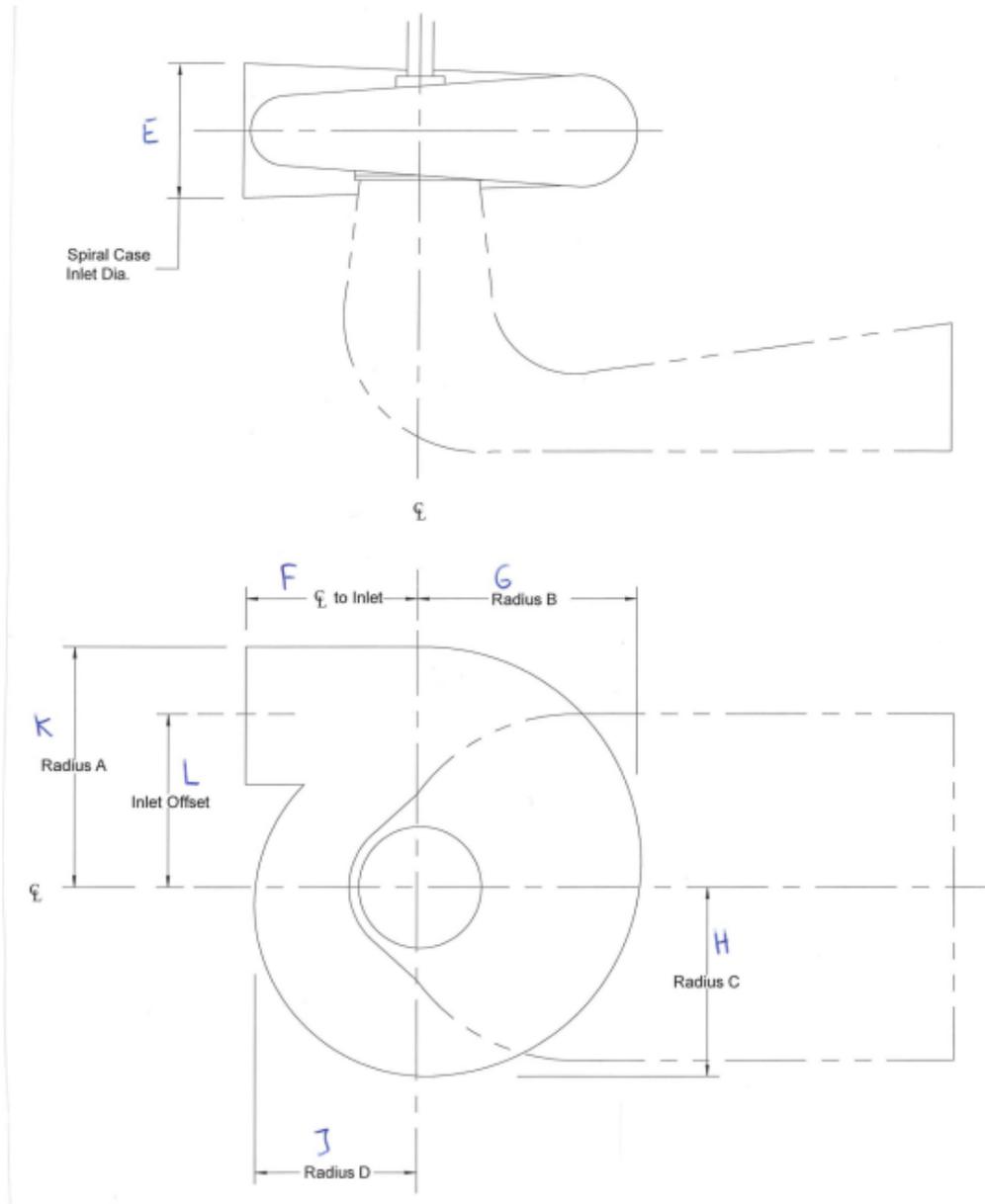
Tutte le dimensioni ed i valori indicati di seguito, ricavati da dimensionamenti di tipo statistico su macchine idraulicamente simili, e dovranno essere definiti dal Produttore in sede di Appalto.



**Figura 1:** Macchina idraulica - dimensioni principali

- A : 2'983 mm
- B : 3'463 mm
- C : 329 mm

## 6.2 Dimensioni principali della Cassa a Spirale



**Figura 2:** Cassa a spirale - dimensioni principali

- E : 1'734 mm
- F : 3'850 mm
- G : 3'693 mm

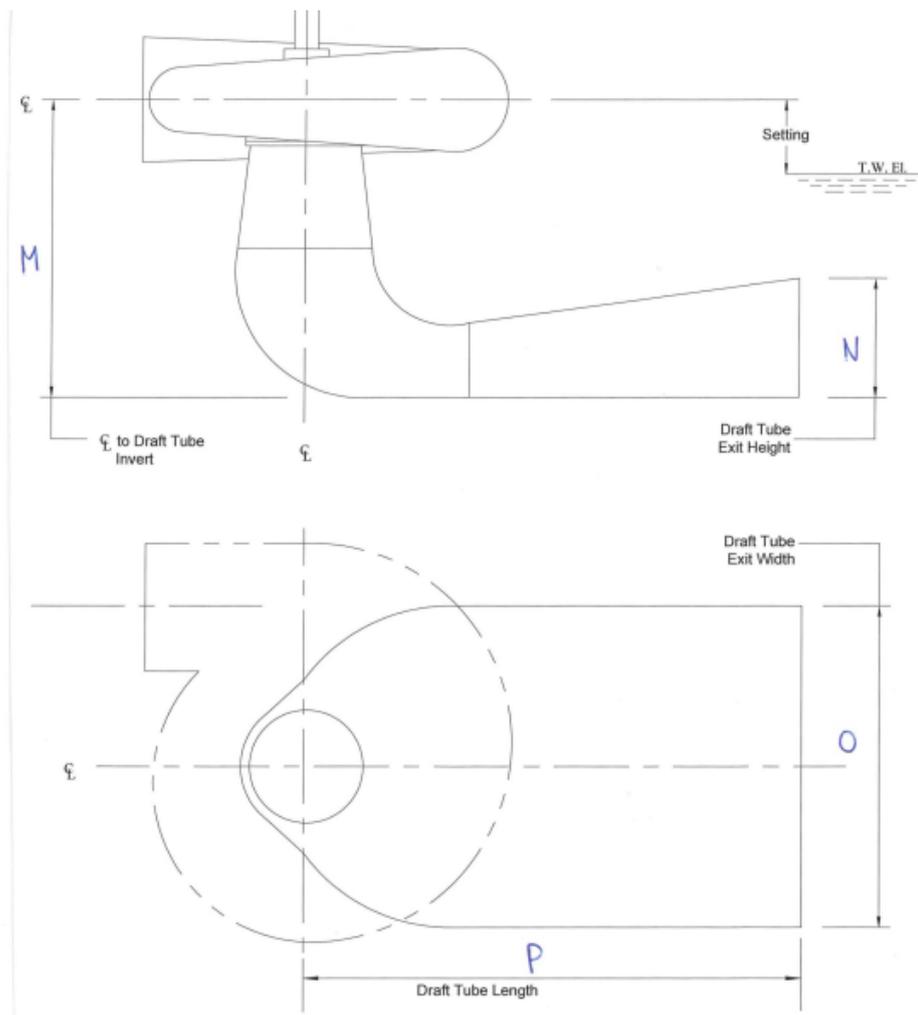
H : 3'378 mm

J : 3017 mm

K : 3'975 mm

L : 3'108 mm

### 6.3 Dimensioni principali di Cono e Diffusore



**Figura 3:** Cono e Diffusore - dimensioni principali

M : 6'253 mm

N : 2'326 mm

O : 4'269 mm

P : 9'142 mm

Sulla base di formulazioni statistiche e tenendo conto di un margine di sicurezza del 25%, la sommergenza richiesta dalla macchina è pari a 40.00 m rispetto il livello minimo di valle.

Pertanto, al fine di mitigare il rischio di fenomeni di cavitazione, il setting della macchina (mezzeria distributore) è stato posto alla quota 1005.00 m slm.

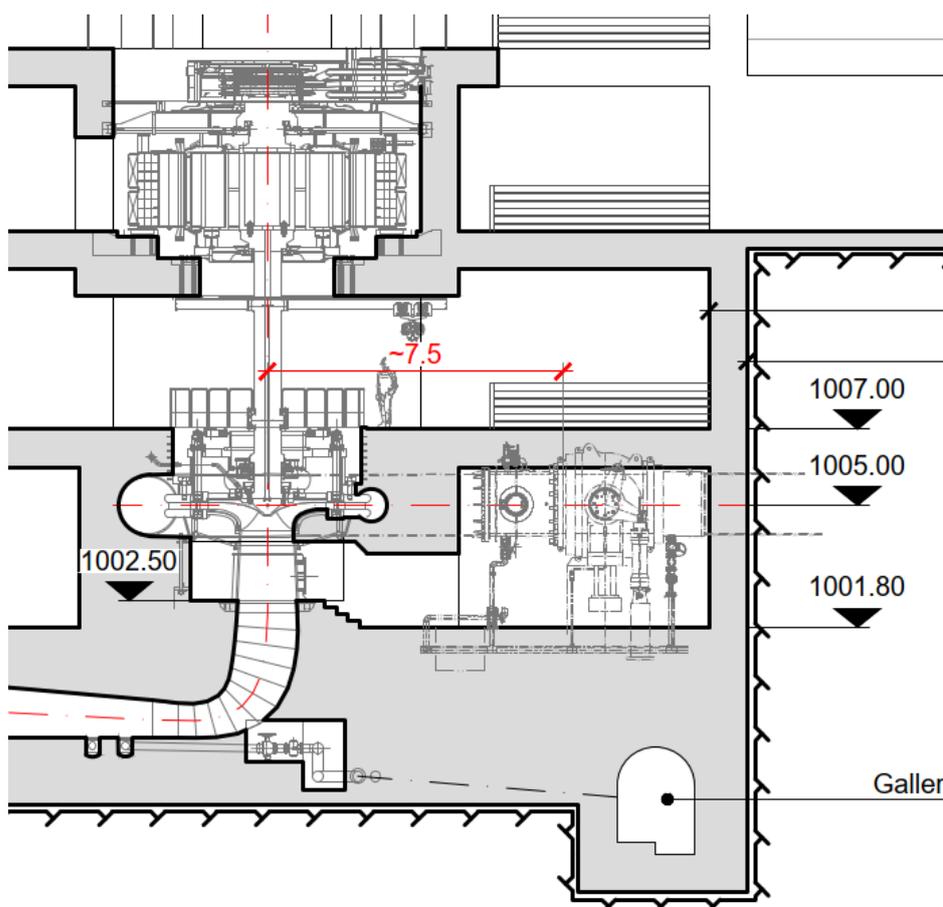
#### 6.4 Valvola di macchina di monte (lato alta pressione)

La valvola di macchina di monte, quindi sul lato ad alta pressione, avrà le seguenti caratteristiche:

Grandezza	Valore	u.m.
Tipo di valvola	rotativa	
Diametro Interno	1'800.0	mm
Quota asse valvola	1005.00	m slm
Pressione statica	313	mH2O
Pressione massima dinamica in esercizio	406	mH2O

**Tabella 5:** Valvola di monte (alta pressione) – caratteristiche

La valvola sarà posizionata a circa 7.5 metri di distanza dall'asse macchina.



**Figura 4:** Valvola di monte (alta pressione) – posizione

### 6.5 Organo di sezionamento di valle (lato bassa pressione)

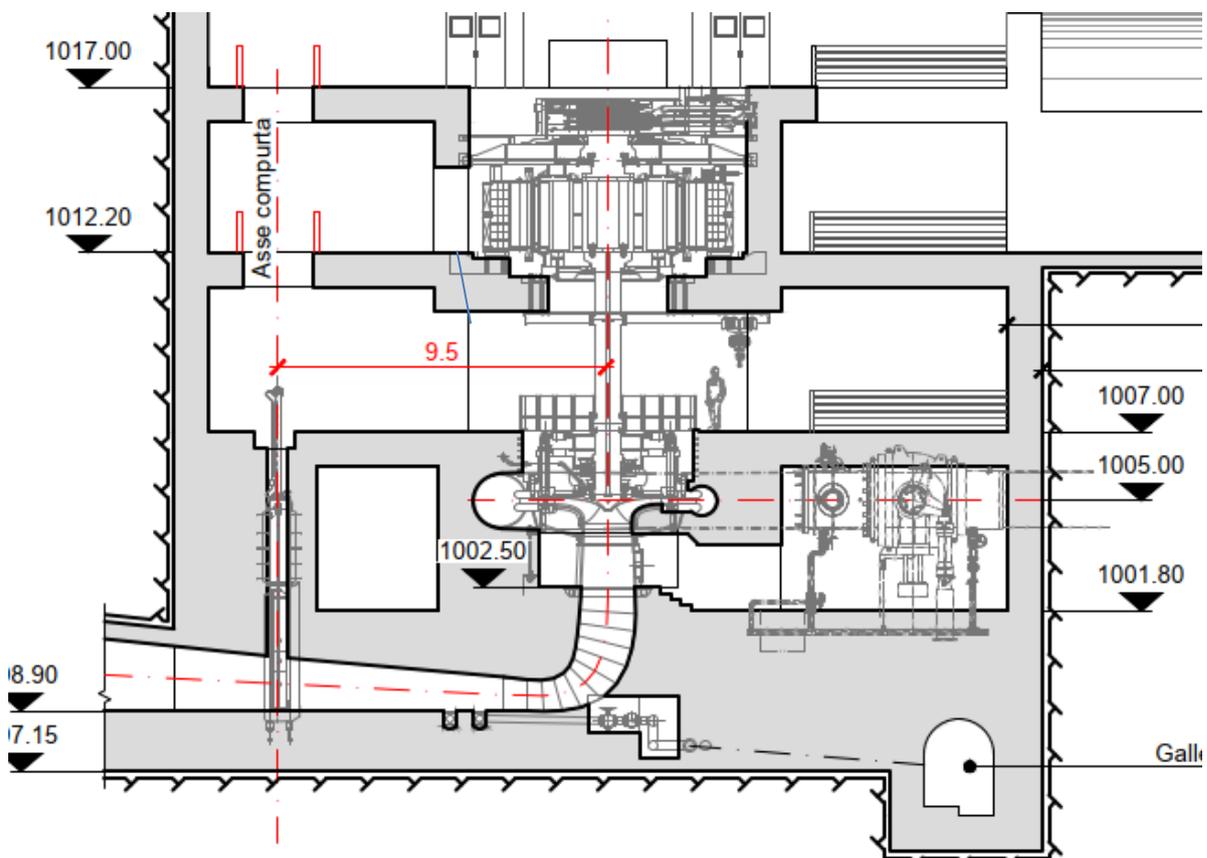
Sul lato a bassa pressione, si prevede l'installazione di una paratoia a cassa chiusa azionata tramite pistone e centralina oleodinamica, con le seguenti caratteristiche:

Grandezza	Valore	u.m.
Tipo di paratoia	Piana	
Dimensioni	~2300 x ~4300	mm x mm
Pressione statica (alla soglia)	62	mH2O
Pressione massima dinamica in esercizio	82	mH2O

**Tabella 6:** Valvola di valle (bassa pressione) – caratteristiche

Le dimensioni esatte della paratoia saranno definite in accordo alla geometria del profilo del gomito di scarico del fornitore selezionato per il gruppo reversibile.

Rispetto all'asse della macchina, la paratoia sarà posizionata a circa 9.5 metri di distanza, valore che il costruttore dovrà confermare.



**Figura 5:** Valvola di valle (bassa pressione) – posizione

## 6.6 Lunghezza dell'albero della girante

Si prevede la possibilità di smontare/montare la girante della pompa turbina direttamente dal pozzo di turbina.

Per poter effettuare tale operazione, sarà da prevedersi un tronchetto flangiato intermedio di collegamento tra albero turbina e albero generatore di circa ~3.0 m-

La misura finale del tronchetto d'albero sarà determinata dal costruttore del macchinario. In fase di Appalto eventuali soluzioni con smontaggio della ruota dal basso (lato cono scarico) potranno comunque essere prese in considerazione.

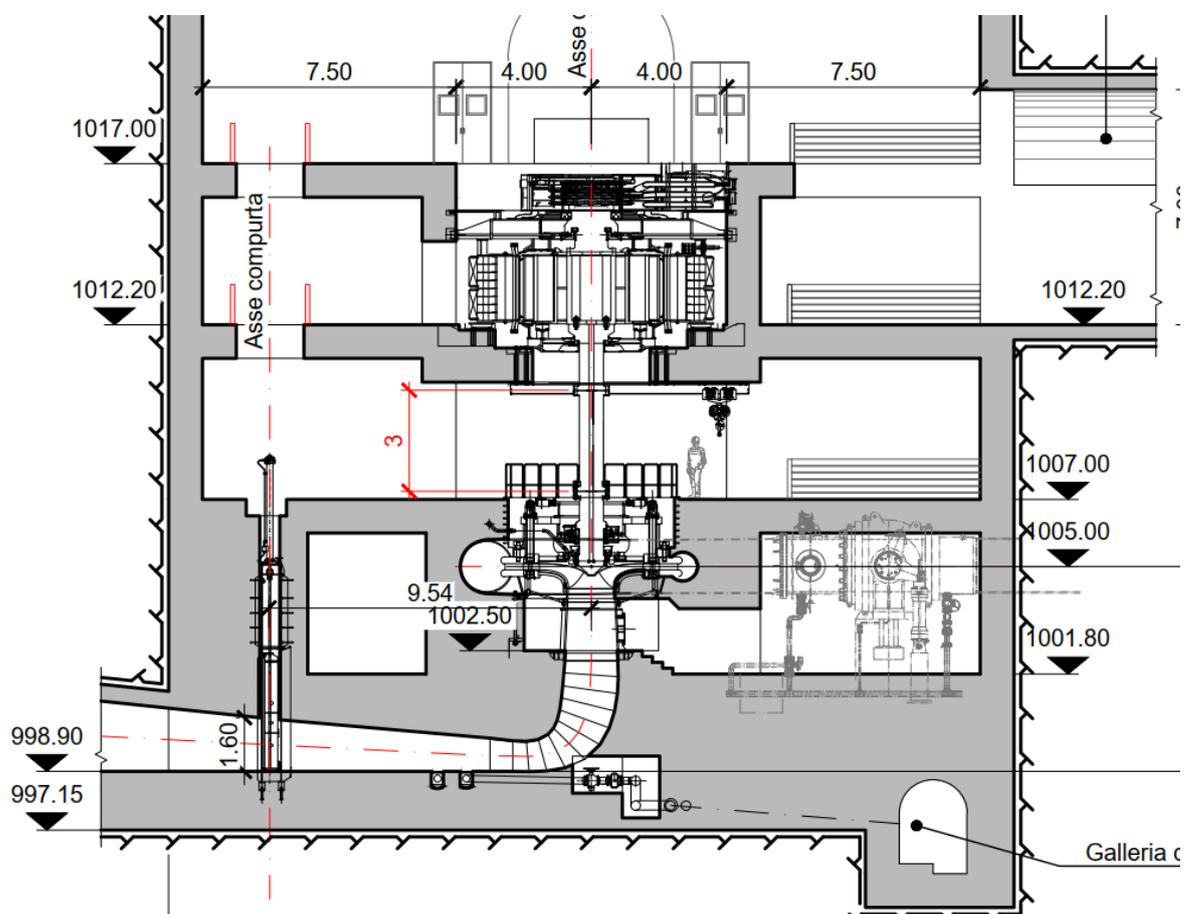


Figura 6: Linea Asse – Tronchetto albero intermedio

## 6.7 Introduzione alla tecnologia CFM

I continui progressi che la ricerca e lo sviluppo tecnologico hanno portato nel campo dell'elettronica di potenza hanno permesso di implementare una nuova soluzione, che rende dal punto di vista elettrico completamente svincolato il gruppo di generazione/pompaggio dalla rete esterna: ciò avviene mediante l'interposizione tra generatore motore e connessione in rete di un sistema di conversione statica, dimensionato in modo da gestire l'intera potenza del macchinario.

Al momento, questa soluzione vede la propria applicabilità reale fino a potenze unitarie dei gruppi pari a circa 100 MW (ad esempio nell'impianto di generazione e pompaggio di Grimsel 2, Svizzera), ma non si può escludere che in futuro il limite indicato venga progressivamente spostato sempre più verso l'alto.

Dal punto di vista tecnico, nel caso del CFM, la macchina elettrica rotante è un tradizionale alternatore sincrono a isolamento significativamente rinforzato, ma nel contempo anche "alleggerito" per quanto riguarda le sue capacità rotoriche di regolazione della reattiva: infatti, queste macchine elettriche rotanti operano costantemente a  $\cos\phi$  unitario, in quanto tutti i compiti di gestione della reattiva (financo al funzionamento come compensatore sincrono) vengono interamente svolti dall'elettronica di potenza.

Ne consegue che in termini di robustezza e tollerabilità delle sopravvelocità queste macchine elettriche sono senz'altro più prestanti rispetto alla soluzione DFIM (Double Fed Induction Machine), tipo di soluzione di regolazione adottata per gruppi di maggiore potenza e tipicamente meno flessibile.

D'altro canto, se per le DFIM l'elettronica aveva notevoli esigenze di spazio, nel caso delle CFM queste aumentano ulteriormente, in quanto le potenze gestite sono ben maggiori (100% o più della potenza nominale del generatore/motore).

In aggiunta, il trasformatore di macchina non può essere un componente tradizionale, bensì uno progettato ad hoc e alquanto particolare, sia in termini di avvolgimenti che di caratteristiche elettriche, in quanto direttamente correlate alle caratteristiche del sistema di conversione statica.

Uno dei punti deboli del CFM è costituito dalle sovratensioni più che dalle sovracorrenti: l'apertura intempestiva o comandata dei circuiti elettrici può risultare fatale all'elettronica, che subirebbe danni rilevanti. Per limitare queste problematiche, i vari costruttori adottano soluzioni specifiche, diverse tra loro.

Rispetto al DFIM, il CFM offre prestazioni superiori e vantaggi significativi, che si riassumono per sommi capi nel seguito.

- L'avviamento è più facile e veloce e può essere eseguito in acqua, grazie alla possibilità di produrre una coppia rilevante a velocità nulla (spunto da fermo).
- Le variazioni di velocità e potenza possono essere più ampie.
- Il sistema CFM non ha le limitazioni sulla velocità massima che ha il DFIM, e può essere utilizzato per siti con alti salti e variazioni di salto relativamente ampie.
- Rispetto al DFIM, un sistema a velocità variabile con un CFM offre una buona capacità di LVRT (Low Voltage Ride Through, detto anche FRT Fault Ride Through), con conseguente migliore conformità ai codici di rete in vigore per i principali TSO oppure ai "Requirements for Generators" (recepimento del regolamento UE 2016/631 del 14/04/2016).
- Il convertitore può persino essere utilizzato (mentre non è collegato alla macchina) come compensatore statico di potenza reattiva, fornendo un notevole contributo nella regolazione della stessa in rete.

- La macchina elettrica è estremamente più semplice rispetto ad un DFIM, in quanto risulta una macchina sincrona del tutto tradizionale, pur con alcuni accorgimenti supplementari in relazione all'isolamento.
- Anche la parte in MT richiede una fornitura più semplice rispetto alla soluzione DFIM in quanto non necessita di interruttori e sezionatori pentapolari per l'inversione del senso di rotazione.
- I tempi di avviamento risultano estremamente contenuti, in quanto non è necessaria alcuna pneumatizzazione della cassa turbina-pompa.
- Il passaggio da generazione a pompaggio non necessita di abbandono del sincronismo con la rete.
- potenzialmente viene del tutto superato il concetto che il funzionamento di un impianto di generazione/pompaggio preveda la generazione durante il giorno e il pompaggio nel corso della notte: dati i brevissimi tempi di reazione, possono essere seguiti programmi di utilizzo che vedono nel corso della giornata più passaggi dalla generazione al pompaggio, seguendo per quanto possibile le curve di carico dei consumi elettrici giornalieri; di ciò si deve tenere debita considerazione nella progettazione delle componenti idrauliche dell'impianto, in quanto soggette nel tempo a una maggior fatica.

Per tali ragioni e vantaggi che ne deriverebbero, si è considerato opportuno considerare per questa fase del progetto di Provvidenza l'adozione della tecnologia CFM.

### 6.8 Caratteristiche e dimensioni principali della macchina elettrica

Le caratteristiche tecniche principali del generatore/motore sono le seguenti:

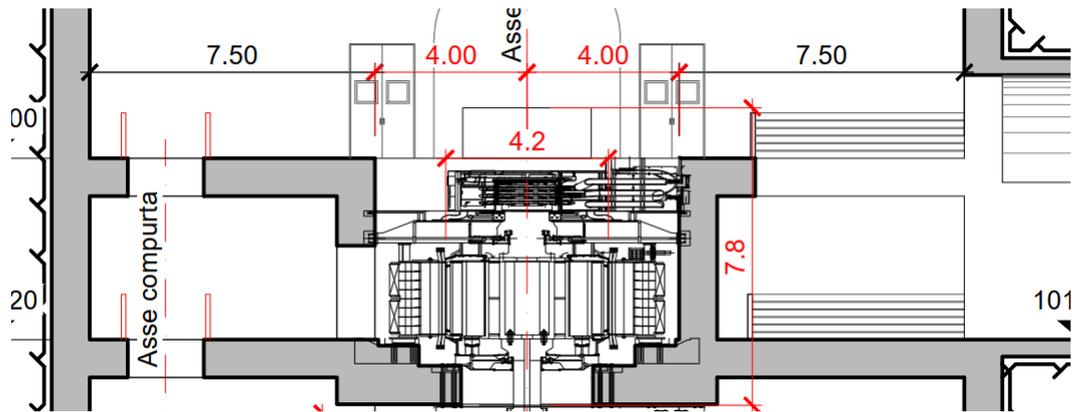
Grandezza	Valore	u.m.
Potenza elettrica	105	MVA
$\cos(\phi)$	1.0	
Frequenza	50	Hz
Numero di poli	12	
Numero di giri	500 (variabile)	Giri/min

**Tabella 7:** Generatore – caratteristiche

Nella successiva fase, considerato che il generatore sarà accoppiato ad un convertitore statico a piena potenza è possibile che il generatore venga ottimizzato per un funzionamento a 40 Hz.

I dati dovranno essere confermati dal costruttore.

Le dimensioni geometriche principali sono indicate nella seguente figura:



**Figura 7:** Generatore - dimensioni principali

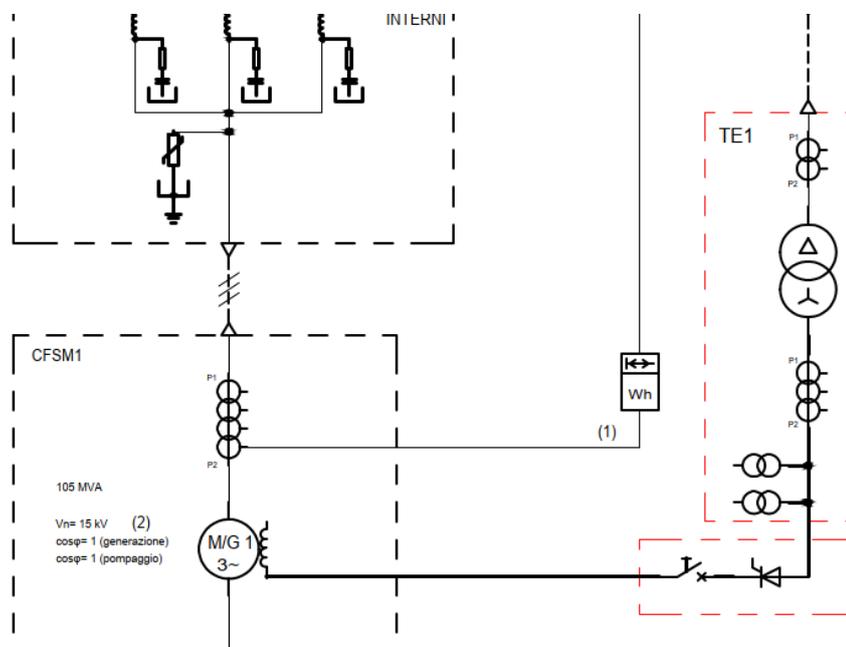
Si prevede una lunghezza dell'albero del rotore pari a circa 7 m, dimensione che governa la quota dei binari del carro ponte.

Si stima che peso del rotore sia pari a circa 150 ton (valore da confermare da parte del costruttore).

Il motore/generatore sarà provvisto di eccitazione statica (cfr. punto seguente).

### 6.9 Caratteristiche principali dell'eccitazione statica

La macchina elettrica sarà provvista di eccitazione statica (**Figura 8**, estratto dello Schema Unifilare Elettrico).



**Figura 8:** Eccitazione Statica

Il sistema di eccitazione statica sarà alimentato da un trasformatore collegato ai servizi ausiliari della sottostazione o della centrale.

Questa installazione, compreso il trasformatore di eccitazione, sarà collocata in armadi da posizionare vicino al generatore.

Le dimensioni indicativamente previste sono 5 x 1 x 2m (LxPxH).

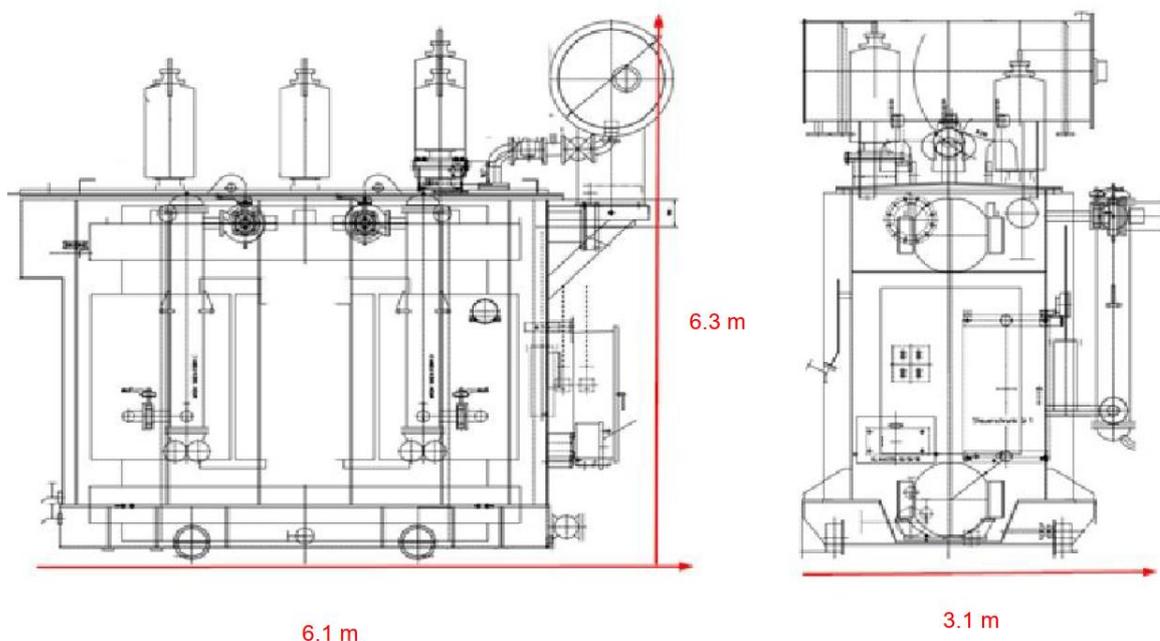
### 6.10 Caratteristiche e Dimensioni principali del trasformatore

Le caratteristiche tecniche principali del trasformatore di potenza sono le seguenti:

Grandezza	Valore	u.m.
Tipologia	OFWF	
Numero	2	
Potenza apparente	~115	MVA
cos( $\phi$ )	1	-
Frequenza	50	Hz
Peso totale	115	ton
Peso di olio	20	ton

**Tabella 8:** Trasformatore – caratteristiche

Le dimensioni principali sono riassunte nella seguente figura:



**Figura 9:** Trasformatore - dimensioni principali

I trasformatori saranno alloggiati in due apposite nicchie ricavate all'interno della galleria dei trasformatori.

Il trasformatore dovrà essere provvisto di tramoggia per il recupero degli eventuali versamenti di olio.

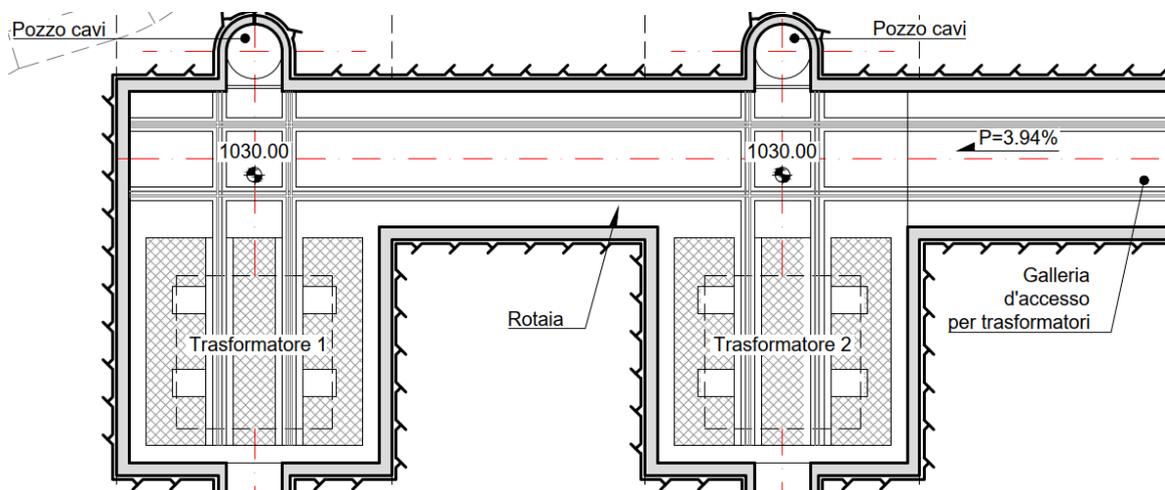


Figura 10: Posizione dei trasformatori in galleria dedicata

### 6.11 Caratteristiche e dimensioni del convertitore statico di frequenza

La tecnologia odierna permette l'utilizzo della tecnologia multilayer, con moduli singoli standardizzati che vengono opportunamente composti a formare la potenza e la tensione desiderate (ciò è un vantaggio dal punto di vista della ricambiabilità). Dato l'enorme sviluppo del settore della conversione statica e dei relativi componenti di potenza, si può dire che a oggi la tecnologia sia orientata verso blocchi monofasi con tensione dell'ordine di 6-8 kV. Lo smaltimento del calore prodotto va opportunamente gestito da un sistema dedicato di refrigerazione a liquido.

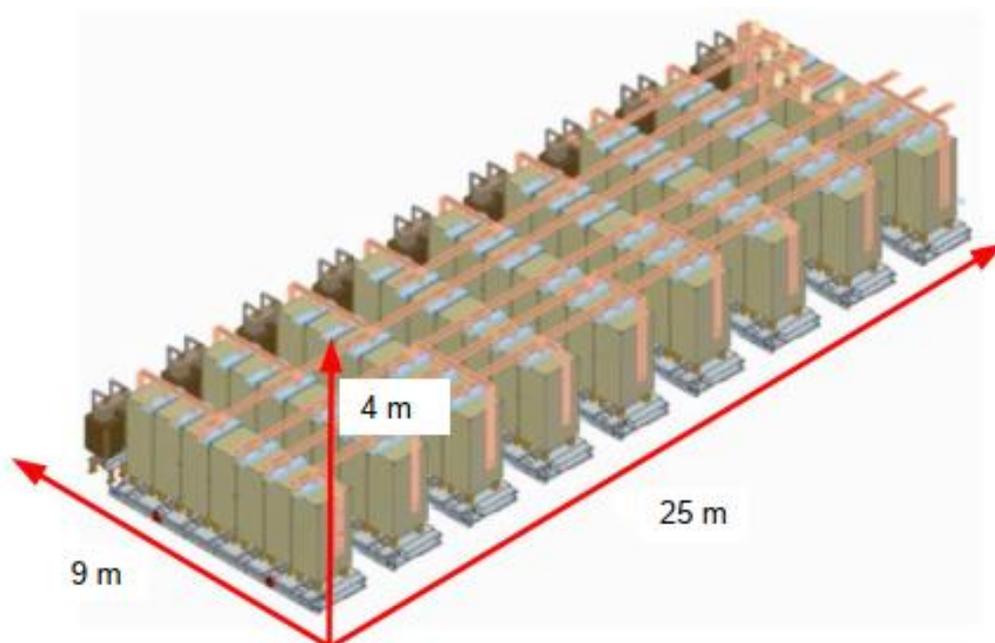
Il sistema di conversione è responsabile della gestione della frequenza del gruppo, così come della produzione della energia reattiva dello stesso: i limiti funzionali sono legati solo al macchinario idraulico, benché rispetto a una soluzione a velocità fissa essi siano stati enormemente ampliati. La flessibilità introdotta nel gruppo dal gruppo di conversione è tale, che a sistema sano la macchina non necessita più di staccarsi dalla rete, restando sempre in parallelo alla stessa, passando dalla generazione al pompaggio in tempi brevissimi (legati solo all'inerzia delle masse idrauliche) e potendo operare da compensatore sincrono quando ferma.

Le principali caratteristiche funzionali del convertitore sono:

Grandezza	Valore	u.m.
Potenza elettrica	~110	MVA
$\cos(\phi)$	-0.0 ÷ 1.0 ÷ 0.0	

Il convertitore può funzionare sull'intera gamma con sola potenza reattiva (induttiva o capacitiva) o solo potenza attiva.

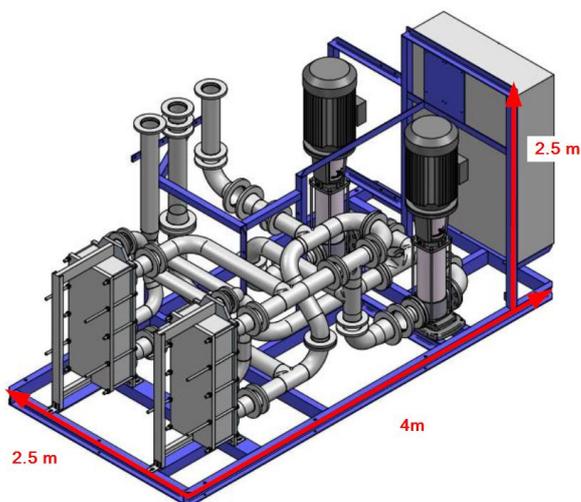
Le dimensioni nette indicative dello spazio necessario per posizionare nel layout il convertitore statico sono le seguenti:



**Figura 11:** Convertitore statico – dimensioni principali

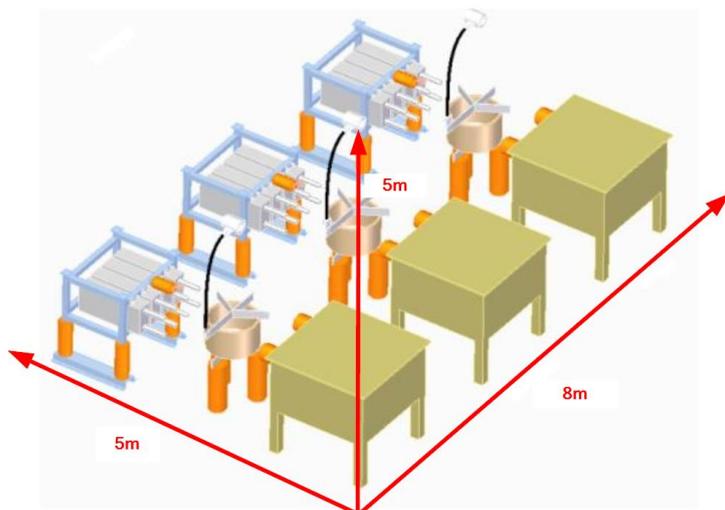
Il convertitore di frequenza sarà raffreddato con un sistema a circuito chiuso che utilizza acqua deionizzata come fluido vettore. Questo sistema sarà collegato al sistema di refrigerazione generale della centrale elettrica tramite 2 scambiatori ed una coppia di tubazioni con tracciato che passa nel piazzale e poi nella galleria secondaria di accesso alla centrale in caverna.

Le dimensioni indicative di questo componente sono riportate nella figura seguente:



**Figura 12:** Convertitore statico - Sistema di raffreddamento a circuito chiuso – dimensioni principali

A seconda della corrente di cortocircuito nel punto di connessione alla rete ad alta tensione, potrebbe essere necessario installare un filtro armonico. In tal caso, il componente dovrebbe essere installato tra il trasformatore e il convertitore di frequenza.

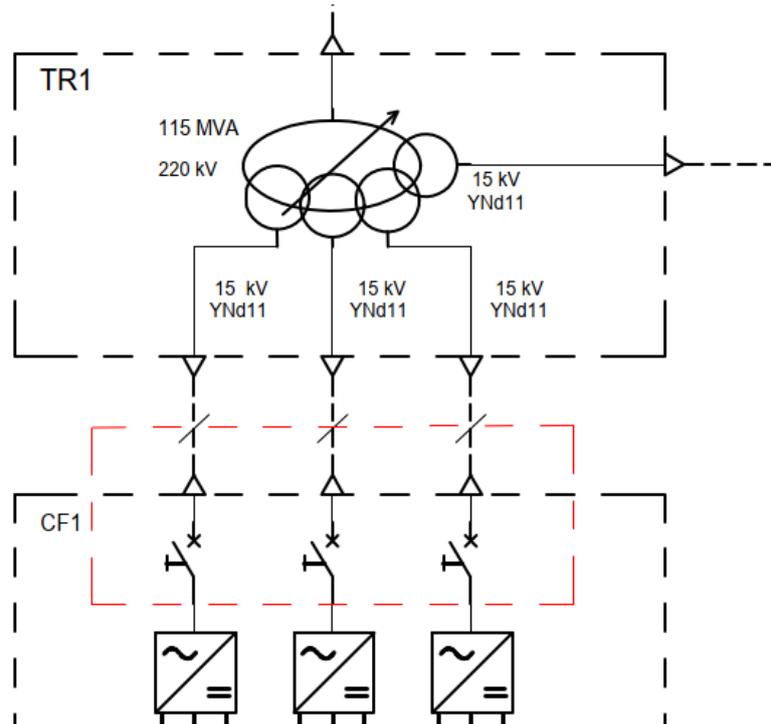


**Figura 13:** Filtro Armonico - dimensioni principali

#### **6.12 Caratteristiche e dimensioni dell'installazione MT**

Per poter separare il convertitore statico dal trasformatore, sono necessari componenti di **Media Tensione** (vedi figura sotto). Questi componenti saranno installati in locali di adeguate dimensioni.

La disconnessione (breaking) del nuovo gruppo (al fine di ridurre il tempo di commutazione tra pompaggio e modalità di generazione) sarà realizzata dal convertitore statico di frequenza stesso, mediante gli interruttori statici in questo compresi.



**Figura 14:** Installazione di Componenti MT - Breakng

## 7. DIMENSIONAMENTO DEI SISTEMI AUSILIARI D'IMPIANTO

Le dimensioni delle apparecchiature secondarie e la relativa funzione (Sistema di raffreddamento, sistema di lubrificazione delle tenute dell'albero, sistema ad olio pressurizzato, armadi di controllo, drenaggi, svuotamento del gruppo, riscaldamento, ventilazione, acqua sanitaria, sistema elettrico, carroponete) sono illustrati in questo capitolo.

### 7.1 Sistema di raffreddamento

Il sistema di raffreddamento è costituito da:

- Un circuito primario aperto, con prelievo e mandata di acqua da e verso il lato a bassa pressione dell'unità (a valle della paratoia di macchina lato bassa pressione).
- Scambiatore di calore ridondati (2 X 100%) verso il circuito secondario
- Un circuito secondario a circuito chiuso.
- Un circuito terziario a circuito chiuso (acqua deionizzata) per i convertitori di frequenza

#### Circuito Primario

Il circuito primario preleverà acqua dal lato bassa pressione a valle della paratoia di macchina (in questo caso tramite motopompe).

Sarà dotato di una unità di filtrazione e tutta la strumentazione necessaria per il suo utilizzo. Questa unità richiede l'installazione di un opportuno sistema di filtrazione ed adeguate attività di controllo manutentivo.

#### Circuito Secondario

Il circuito secondario sarà parimenti dotato di gruppi motopompe (ridondante) e di tutte le attrezzature necessarie per il suo funzionamento (valvola manuale, valvola automatiche, vaso di espansione, sfiati attrezzature, ecc.). Ogni componente refrigerato (statore, alternatore, cuscinetti di macchina, regolazione, trasformatori, ecc.) sarà collegato a questa circuito.

#### Circuito Terziario

Il convertitore di frequenza sarà dotato di un proprio sistema di raffreddamento (terziario) a circuito chiuso, raffreddato dal circuito secondario per sicurezza verso possibile contaminazione, in quanto utilizza come vettore acqua demineralizzata.

### 7.2 Sistema di lubrificazione e raffreddamento delle tenute dell'albero

L'acqua per l'alimentazione del sistema di lubrificazione e raffreddamento delle tenute dell'albero sarà derivata dalla presa del circuito di raffreddamento primario, con circolazione indipendente.

Quest'acqua verrà filtrata prima di essere distribuita per garantire la lubrificazione e il raffreddamento della tenuta dell'albero.

Per questo sistema si considerano le seguenti dimensioni: 3m x 2m x 2m.

### **7.3 Sistema ad olio pressurizzato**

In questa fase del progetto si propone di installare una centralina idraulica contenente:

- Un sistema ad olio pressurizzato per il controllo della valvola di macchina (sezione alta pressione);
- Un sistema ad olio pressurizzato per il controllo del distributore;
- Un sistema ad olio pressurizzato per il controllo della paratoia valle macchina (sezione bassa pressione).

Potrà essere eventualmente possibile combinare i primi due sistemi in un'unica unità oleodinamica durante la fase di costruzione.

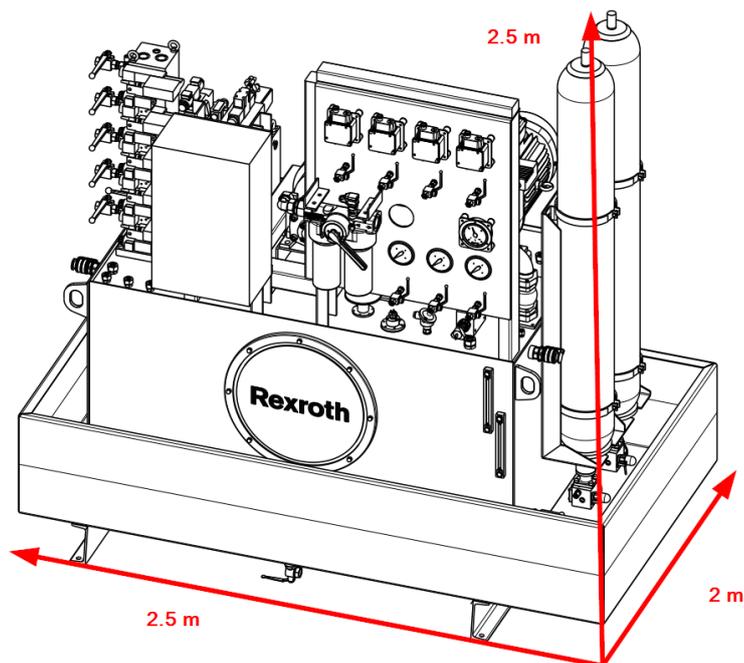
Le valvole di macchina saranno dotate di contrappesi per garantire la chiusura senza energia esterna.

Per il distributore può essere preso in considerazione un sistema con accumulatore azoto/olio (a pistone o a membrana), anche per garantire la chiusura e la sicurezza dell'unità senza alimentazione esterna di energia.

I vari sistemi devono essere installati nelle immediate vicinanze dei componenti da controllare (valvole, distributore).

La dimensione di questi componenti sarà fortemente influenzata dalla pressione di controllo considerata.

Le dimensioni indicative di una singola centralina idraulica per questi tre sistemi sono riportate nella figura seguente:



**Figura 15:** Centralina idraulica - dimensioni

#### 7.4 Armadi di controllo del processo

Sono previsti i seguenti quadri elettrici:

- Quadro di distribuzione a bassa tensione (LVDB) 4mx1mx2m (LxBxH)
- Armadi ausiliari CA (ACS) 6m x 1m x 2m (LxBxH)
- Armadi ausiliari CC (DCS) 6m x 1m x 2m (LxBxH)
- Armadi di controllo generali 6m x 1m x 2m (LxBxH)
- Armadi di controllo dell'unità 12m x 1m x 2m (LxBxH)

Lo spazio necessario per gli armadi di controllo del convertitore di frequenza, così come gli armadi di eccitazione statica, è compreso in quanto indicato nei paragrafi precedenti.

#### 7.5 Sistema di Drenaggio

La caverna deve essere dotata di un sistema di drenaggio e di un pozzo di raccolta posto nel punto più depresso della caverna.

Questo sistema dovrà garantire che l'impianto non sia soggetto ad allagamento in nessuna circostanza. L'acqua drenata proveniente da afflussi potenzialmente contaminati (es. in presenza di eventuali fuoruscite olio da sistemi lubrificazione) dovrà passare attraverso un sistema di disoleazione prima del recapito finale.

### **7.6 Sistema di svuotamento dell'acqua contenuta nel gruppo**

Per consentire lo svuotamento dell'unità, è necessario prevedere un sistema pompaggio nonché di un relativo circuito con tubazioni e valvole.

Il sistema di svuotamento sarà dimensionato per permettere uno svuotamento della macchina (da valvola di macchina a paratoia) in un tempo massimo di 5 ore.

Le acque saranno canalizzate verso l'esterno della caverna.