

TITLE:

AVAILABLE LANGUAGE: IT

IMPIANTO DI VALCIMARRA II
Installazione di un nuovo gruppo reversibile
Centrale di Valcimarra
Comune di Caldarola (MC)

Progetto Definitivo per Autorizzazione
RELAZIONE IDRO-ELETTROMECCANICA

File: GRE.EEC.D.99.IT.H.17168.00.005.00_Relazione_Elettromeccanica.docx

00	06/06/2022	Prima Emissione	Groupe-E	C. Piccinin F. Maugliani	A. Balestra
REV.	DATE	DESCRIPTION	PREPARED	VERIFIED	APPROVED

GRE VALIDATION

-	Support Team: <i>G.RIPELLINO</i>	Project Engineer: <i>F.PODIO</i>
COLLABORATORS	VERIFIED BY	VALIDATED BY

PROJECT / PLANT

GRE CODE

ANAPO

GROUP	FUNCIÓN	TYPE	ISSUER	COUNTRY	TEC	PLANT	SYSTEM	PROGRESSIVE	REVISION
GRE	EEC	D	9 9	I T H		1 7 1 6 8	0 0	0 0	5 0 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	06.06.2022	Groupe-E	MFr/Bal
Versione	Data	Redatto	Verificato

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	3
3.1	Carichi e portate considerati in fase di generazione	3
3.2	Carichi e portate considerati in fase di pompaggio	3
4.	POTENZA DEL NUOVO GRUPPO	5
5.	RENDIMENTI DI MACCHINA	6
5.1	Modalità turbina	6
5.1.1	Salto Lordo = 242 m	6
5.1.2	Salto Lordo = 231 m	6
5.1.3	Salto Lordo = 222 m	6
5.1.4	Salto Lordo = 213 m	6
5.1.5	Salto Lordo = 202 m	7
5.2	Modalità pompa	7
5.2.1	Salto Lordo = 242 m	7
5.2.2	Salto Lordo = 231 m	7
5.2.3	Salto Lordo = 222 m	7
5.2.4	Salto Lordo = 213 m	7
5.2.5	Salto Lordo = 202 m	8
6.	DIMENSIONAMENTO DELLE MACCHINE ED APPARECCHIATURE PRINCIPALI D'IMPIANTO	9
6.1	Caratteristiche e dimensioni principali della macchina idraulica	9
6.2	Dimensioni principali della Cassa a Spirale	10
6.3	Dimensioni principali di Cono e Diffusore	11
6.4	Valvola di macchina di monte (lato alta pressione)	12

6.5	Valvola di macchina 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	22
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	24
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

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

Figura 13: Filtro Armonico - dimensioni principali	21
Figura 14: Installazione di Componenti MT	22
Figura 15: Sistema ad olio pressurizzato - dimensioni.....	25

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1: Nuovo Gruppo reversibile – generazione – carichi e portate	3
Tabella 2: Nuovo Gruppo reversibile – pompaggio – carichi e portate	4
Tabella 3: Nuovo Gruppo reversibile – potenze disponibili	5
Tabella 4: Nuovo Gruppo reversibile – caratteristiche principali della macchina idraulica	9
Tabella 5: Valvola di monte (alta pressione) – caratteristiche.....	12
Tabella 6: Valvola di valle (bassa pressione) – caratteristiche.....	13
Tabella 7: Generatore – caratteristiche	16
Tabella 8: 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 di installazione di un nuovo gruppo reversibile nell'impianto idroelettrico di Valcimarra, sito nel Comune di Caldarola (MC).

Attualmente la centrale di Valcimarra è dotata di tre gruppi di produzione: 2 turbine Francis (Gr.1 e Gr.2) con asse verticale da 14.823 MW sulla derivazione Fiastrone ed una turbina Francis (Gr.3) con asse verticale da 14.9 MW sulla derivazione Polverina.

L'intervento prevede la trasformazione dell'impianto idroelettrico di generazione esistente di Valcimarra Chienti in un impianto reversibile, di generazione e pompaggio. Il concetto dell'impianto nasce per iniziativa delle strutture tecniche di Enel Green Power con lo scopo di incrementare localmente la capacità di regolazione di rete, utilizzando una risorsa idrica già disponibile, con lo scopo di disporre di nuova potenza in pompaggio e della possibilità di effettuare regolazioni di rete mediante l'uso di un nuovo gruppo reversibile a velocità variabile (regolazione di frequenza, generazione di potenza reattiva, ecc.).

L'obiettivo di questa Relazione Tecnica è quello di descrivere, per la fase di progettazione definitiva, il dimensionamento dei principali componenti idromeccanici ed elettromeccanici del nuovo gruppo reversibile da installare nell'impianto.

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 più 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 di dimensionamento del nuovo gruppo reversibile valutati nella Relazione Idraulica e rappresentati nello Schema Idraulico della derivazione, documenti compresi nel presente progetto definitivo.

Il gruppo è stato dimensionato sulla base delle seguenti ipotesi:

1. In generazione:

- Portata massima 10.8 m³/s
- Max. salto lordo 242.0 mH₂O
- Salto netto alla massima portata. 188.6 mH₂O.

2. In pompaggio

- Portata massima 9.0 m³/s
- Max. salto lordo 242.0 mH₂O
- Salto netto alla massima portata. 279,1 mH₂O

Occorre considerare che con il salto lordo minimo i valori massimi di portata variano:

1. In generazione:

- Portata massima 9.89 m³/s
- Max. salto lordo 202.0 mH₂O
- Salto netto alla massima portata. 157.2 mH₂O.

2. In pompaggio

- Portata massima 10.27 m³/s
- Max. salto lordo 202.0 mH₂O
- Salto netto alla massima portata. 250.3 mH₂O

I valori sopra riportati evidenziano l'ampia variazione di salti e carichi (tra 157.2 mH₂O e 279.1 mH₂O) da considerare quando si dimensiona la macchina idraulica. In considerazione di queste grandi variazioni, si è optato per una macchina a velocità variabile, la cui gestione consente rendimenti accettabili per l'ampio campo di variabilità delle condizioni di funzionamento.

Per la macchina elettrica, si considera che tutta la potenza reattiva venga generata (induttiva e capacitiva) dal convertitore di frequenza. In questa fase del progetto, la frequenza di funzionamento del generatore (50Hz a 600rpm) non è stata ottimizzata, rimandando una possibile riduzione delle dimensioni del generatore alla fase progettuale successiva.

3. CARICHI E PORTATE

Nel presente capitolo si riporta per le fasi di generazione e pompaggio il dettaglio 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 ed alla derivazione Fiastrone, mentre per “valle” si intende quanto relativo al serbatoio ed alla derivazione Polverina.

3.1 Carichi e portate considerati in fase di generazione

Grandezza	Valore	u.m.
Max. livello serbatoio monte	634.00	m s.l.m.
Min. livello serbatoio monte	598.00	m s.l.m.
Max. livello serbatoio valle	396.00	m s.l.m.
Min. livello serbatoio valle	392.00	m s.l.m.
Max. salto lordo	242.00	mH2O
Min. salto lordo	202.00	mH2O
Max. portata al massimo salto netto	10.8	m ³ /s
Perdite di carico complessive @10.8 m ³ /s	53.404	mH2O
Minimo salto netto @10.8 m ³ /s	188.596	mH2O
Max. portata al minimo salto netto	9.89	m ³ /s
Perdite di carico complessive @9.89 m ³ /s	43.784	mH2O
Minimo salto netto @9.89 m ³ /s	157.216	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	634.00	m s.l.m.
Min. livello serbatoio monte	598.00	m s.l.m.
Max. livello serbatoio valle	396.00	m s.l.m.
Min. livello serbatoio valle	392.00	m s.l.m.
Max. salto lordo	242.00	mH2O
Min. salto lordo	202.00	mH2O

Grandezza	Valore	u.m.
Max. portata al massimo salto netto efficace	9.0	m ³ /s
Perdite di carico complessive @9.0 m ³ /s	37.086	mH2O
Massimo salto netto efficace @9.0 m ³ /s	279.086	mH2O
Max. portata al minimo salto netto efficace	10.27	m ³ /s
Perdite di carico complessive @10.27 m ³ /s	48.291	mH2O
Minimo salto netto efficace @10.27 m ³ /s	250.291	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	18.2	MW
Generazione	Minimo	13.9	MW
Pompaggio	Massimo a portata efficace	26.9	MW
Pompaggio	Minimo a portata efficace	27.2	MW

Tabella 3: Nuovo Gruppo reversibile – potenze disponibili

Per il dimensionamento della macchina elettrica, la potenza considerata è la potenza meccanica di 27.2 MW all'albero divisa per l'efficienza dell'alternatore e del convertitore di frequenza, ovvero una potenza elettrica di circa 28.0 MW. Come accennato in precedenza, l'alternatore funzionerà sempre con $\cos(\varphi) = 1.0$.

5. RENDIMENTI DI MACCHINA

I rendimenti percentuali della girante in modalità turbina o pompa sono dati per diverse aperture del distributore (dal 40% al 100% di apertura) e per 5 diversi salti lordi.

I risultati sono presentati nelle tabelle seguenti.

5.1 Modalità turbina

5.1.1 Salto Lordo = 242 m

Grado di apertura	100%	90%	80%	70%	60%	50%	40%
Portata	10.8	9.72	8.64	7.56	6.48	5.4	4.32
Perdite di carico	53.40	43.26	34.18	26.17	19.23	13.35	8.54
Salto netto	188.60	198.74	207.82	215.83	222.77	228.65	233.46
Rendimento	91.07%	92.58%	92.46%	91.27%	88.52%	84.13%	77.87%

5.1.2 Salto Lordo = 231 m

Grado di apertura	100%	90%	80%	70%	60%	50%	40%
Portata	10.65	9.585	8.52	7.455	6.39	5.325	4.26
Perdite di carico	51.93	42.06	33.24	25.45	18.70	12.98	8.31
Salto netto	179.07	188.94	197.76	205.55	212.30	218.02	222.69
Rendimento	90.97%	92.40%	92.60%	91.40%	88.64%	84.32%	78.50%

5.1.3 Salto Lordo = 222 m

Grado di apertura	100%	90%	80%	70%	60%	50%	40%
Portata	10.36	9.324	8.288	7.252	6.216	5.18	4.144
Perdite di carico	49.14	39.80	31.45	24.08	17.69	12.29	7.86
Salto netto	172.86	182.20	190.55	197.92	204.31	209.71	214.14
Rendimento	90.97%	92.59%	92.52%	91.26%	88.51%	84.13%	78.51%

5.1.4 Salto Lordo = 213 m

Grado di apertura	100%	90%	80%	70%	60%	50%	40%
Portata	10.17	9.153	8.136	7.119	6.102	5.085	4.068
Perdite di carico	47.36	38.36	30.31	23.20	17.05	11.84	7.58
Salto netto	165.64	174.64	182.69	189.80	195.95	201.16	205.42
Rendimento	90.97%	92.59%	92.52%	91.28%	88.54%	84.19%	78.01%

5.1.5 Salto Lordo = 202 m

Grado di apertura	100%	90%	80%	70%	60%	50%	40%
Portata	9.89	8.901	7.912	6.923	5.934	4.945	3.956
Perdite di carico	44.78	36.27	28.66	21.94	16.12	11.20	7.17
Salto netto	157.22	165.73	173.34	180.06	185.88	190.80	194.83
Rendimento	90.97%	92.59%	92.52%	91.17%	88.58%	84.26%	78.02%

5.2 Modalità pompa

5.2.1 Salto Lordo = 242 m

Grado di apertura	100%	90%	80%	70%	60%	50%	40%
Portata	9	8.1	7.2	6.3	5.4	4.5	3.6
Perdite di carico	37.09	30.04	23.74	18.17	13.35	9.27	5.93
Salto netto	279.09	272.04	265.74	260.17	255.35	251.27	247.93
Rendimento	91.73%	90.62%	88.81%	86.29%	82.67%	78.11%	71.47%

5.2.2 Salto Lordo = 231 m

Grado di apertura	100%	90%	80%	70%	60%	50%	40%
Portata	9.3	8.37	7.44	6.51	5.58	4.65	3.72
Perdite di carico	39.60	32.08	25.34	19.40	14.26	9.90	6.34
Salto netto	270.60	263.08	256.34	250.40	245.26	240.90	237.34
Rendimento	92.04%	91.31%	89.82%	87.70%	84.12%	79.64%	73.25%

5.2.3 Salto Lordo = 222 m

Grado di apertura	100%	90%	80%	70%	60%	50%	40%
Portata	9.55	8.595	7.64	6.685	5.73	4.775	3.82
Perdite di carico	41.76	33.82	26.72	20.46	15.03	10.44	6.68
Salto netto	263.76	255.82	248.72	242.46	237.03	232.44	228.68
Rendimento	92.40%	91.73%	90.48%	88.31%	85.18%	80.62%	74.70%

5.2.4 Salto Lordo = 213 m

Grado di apertura	100%	90%	80%	70%	60%	50%	40%
Portata	9.8	8.82	7.84	6.86	5.88	4.9	3.92
Perdite di carico	43.97	35.62	28.14	21.55	15.83	10.99	7.04
Salto netto	256.97	257.62	250.14	243.55	237.83	232.99	229.04
Rendimento	92.59%	91.91%	90.79%	88.76%	85.76%	81.27%	75.45%

5.2.5 Salto Lordo = 202 m

Grado di apertura	100%	90%	80%	70%	60%	50%	40%
Portata	10.15	9.135	8.12	7.105	6.09	5.075	4.06
Perdite di carico	47.17	38.21	30.19	23.11	16.98	11.79	7.55
Salto netto	249.17	240.21	232.19	225.11	218.98	213.79	209.55
Rendimento	92.75%	92.47%	91.66%	90.20%	87.62%	83.32%	77.56%

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 ottimale con le seguenti caratteristiche:

Grandezza	Valore	u.m.
Salto netto	195.0	mH2O
Portata nominale	9.60	m ³ /s
Portata massima (in generazione)	10.86	m ³ /s
Velocità nominale	600.0 (variabile)	Giri/min

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

Tutte le dimensioni ed i valori indicati dovranno essere confermati dal Produttore in sede di Appalto.

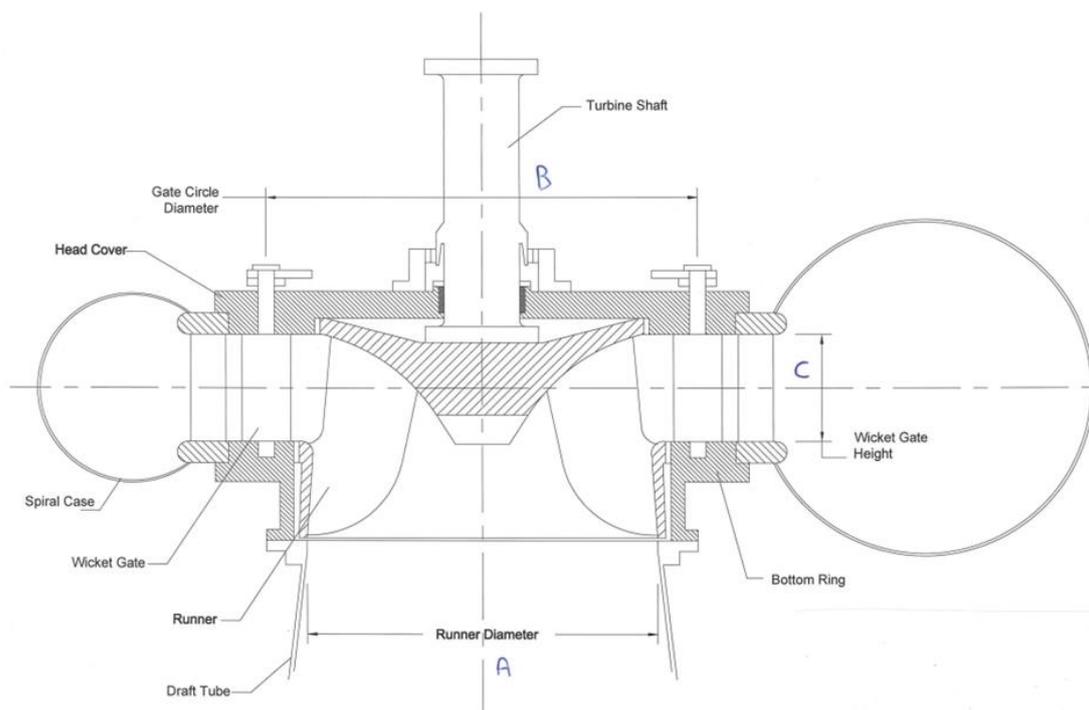


Figura 1: Macchina idraulica - schema dimensioni principali

- A : 1'135 mm
- B : 1'730 mm
- C : 211 mm

6.2 Dimensioni principali della Cassa a Spirale

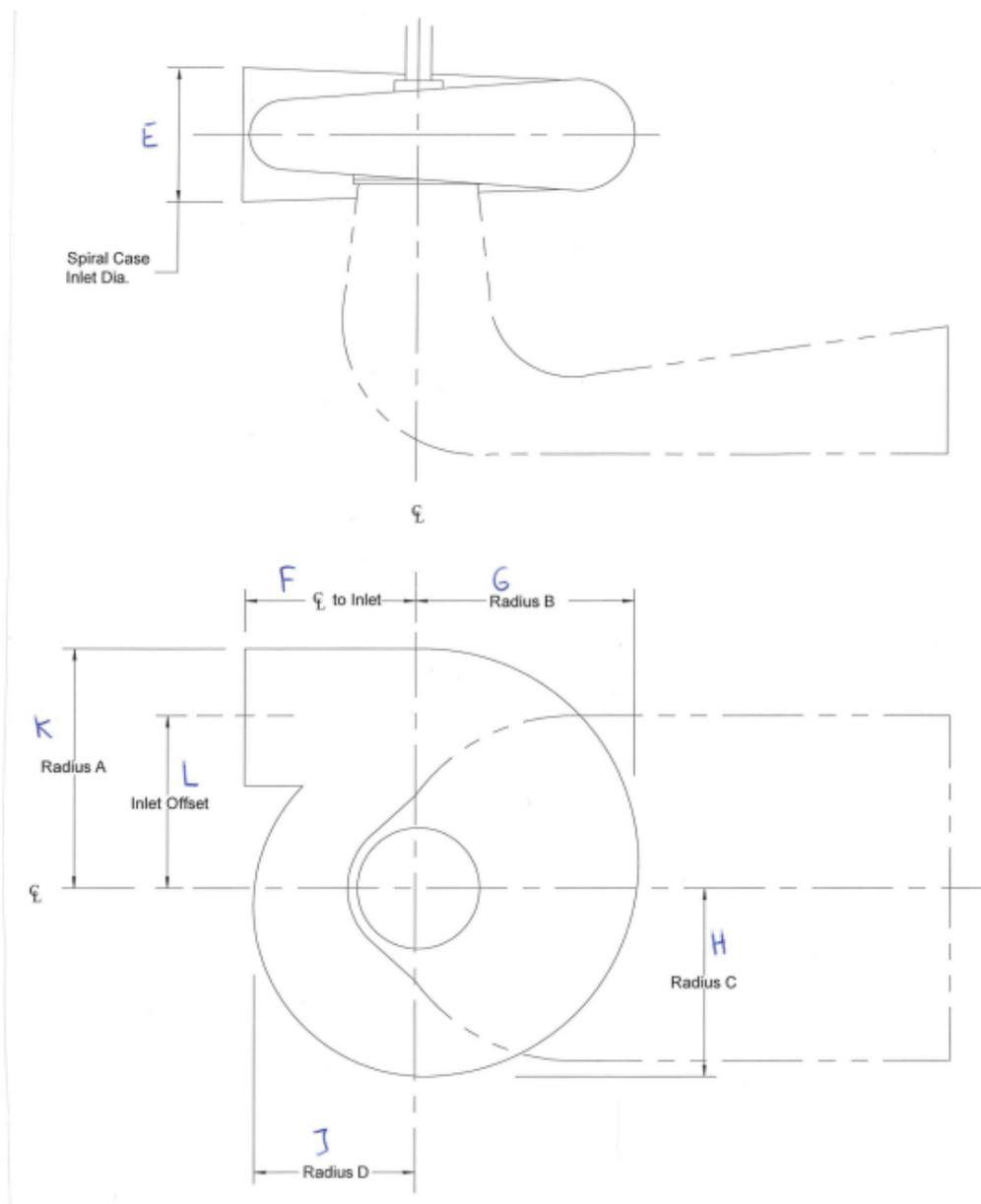


Figura 2: Cassa a spirale - schema dimensioni principali

E : 1'219 mm

F : 2'161 mm

G : 2'258 mm

H : 2'089 mm

J : 1'905 mm

K : 2'381 mm

L : 1'772 mm

6.3 Dimensioni principali di Cono e Diffusore

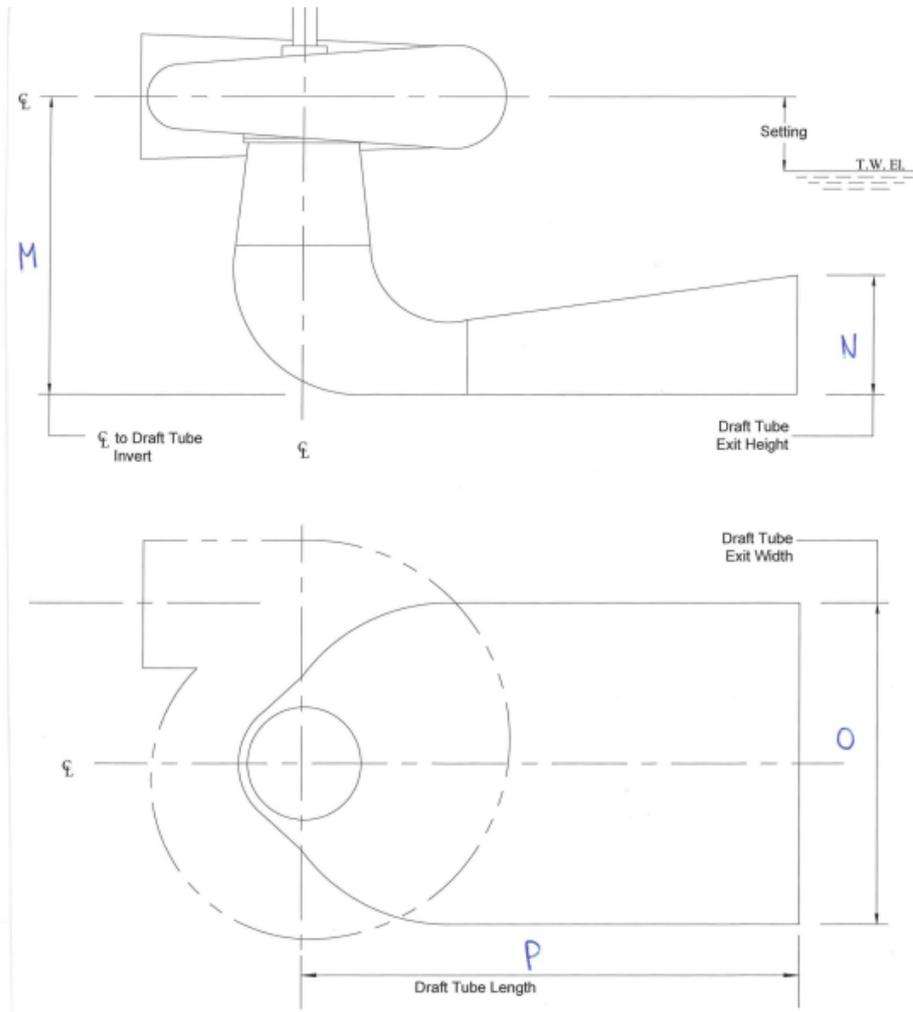


Figura 3: Cono e Diffusore - schema dimensioni principali

M : 3'627 mm

N : 2'043 mm

O : 3'405 mm

P : 5'448 mm

Lo schema si riferisce ad una soluzione con raccordo circolare-rettangolare. Per l'impianto di Valcimarra, essendo il nuovo gruppo collegato direttamente a due condotte circolari, il raccordo sarà da sezione circolare a sezione circolare, con una lunghezza sviluppata del cono pari a circa 5'220 mm ed un diametro interno finale pari a circa 2'160 mm.

6.4 Valvola di macchina di monte (lato alta pressione)

La valvola di macchina di monte, posta lungo la derivazione Fiastrone, quindi sul lato ad alta pressione, avrà le seguenti caratteristiche:

Grandezza	Valore	u.m.
Tipo di valvola	rotativa	
Diametro Interno	1'500.0	mm
Quota asse valvola	298.10	m slm
Pressione statica	342	mH2O
Pressione massima dinamica in esercizio	420	mH2O

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

Rispetto all'asse della macchina, la valvola sarà posizionata a circa 3-4 metri di distanza.

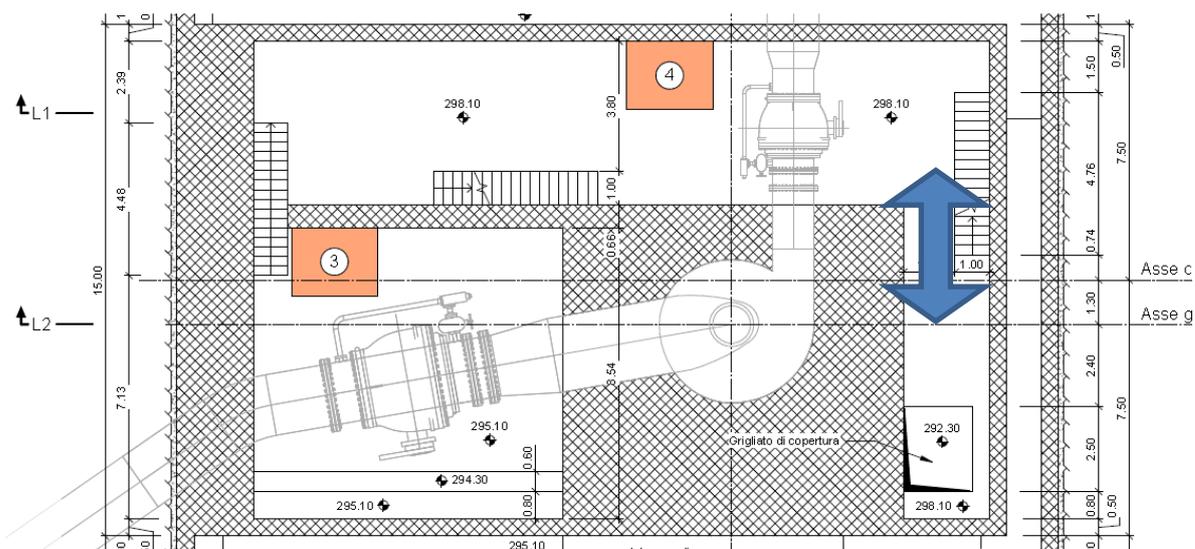


Figura 4: Valvola di monte (alta pressione) – posizione

6.5 Valvola di macchina di valle (lato bassa pressione)

La valvola di macchina di valle, posta lungo la derivazione Polverina, quindi sul lato a bassa pressione, avrà le seguenti caratteristiche:

Grandezza	Valore	u.m.
Tipo di valvola	rotativa	
Diametro Interno	1'800.0	mm
Quota asse valvola	295.60	m slm
Pressione statica	104	mH2O
Pressione massima dinamica in esercizio	114	mH2O

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

Rispetto all'asse della macchina, la valvola sarà posizionata a circa 5 metri di distanza, valore che il costruttore dovrà confermare. A causa della posizione di questa valvola è anche obbligatorio che questa sia una valvola sferica con apertura integrale di 2200 mm.

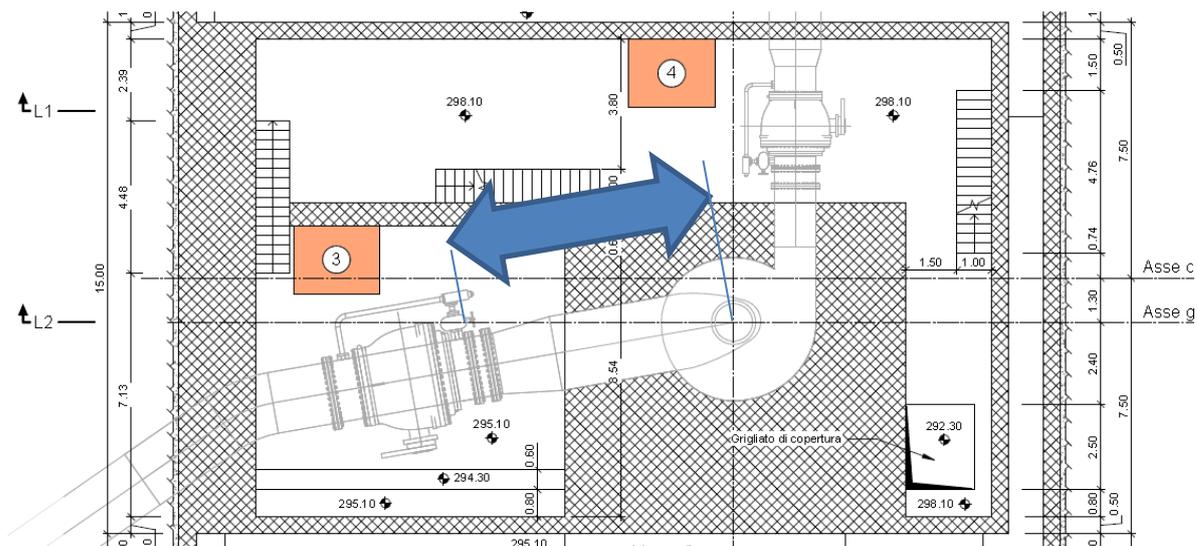


Figura 5: Valvola di valle (bassa pressione) – posizione

6.6 Lunghezza dell'albero della girante

La distanza da considerare tra l'asse della girante e la flangia di accoppiamento con l'albero del generatore è di circa 2600 mm. Questo valore dovrà essere confermato dal costruttore.

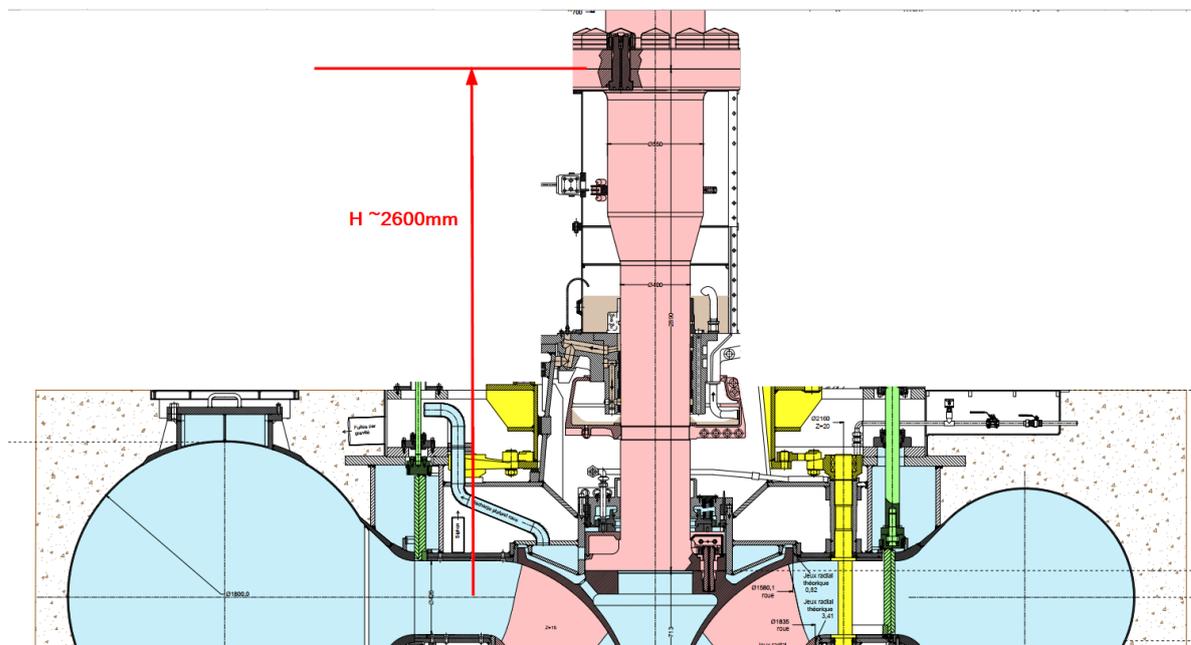


Figura 6: Albero della girante - dimensioni

6.7 Introduzione alla tecnologia CFMS

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 i due soggetti citati 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 (record da attribuire all'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 CFMS, 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).

D'altro canto, se per le DFIM l'elettronica aveva notevoli esigenze di spazio, nel caso delle CFMSM 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 CFMSM 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 CFMSM 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 CFMSM 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 CFMSM offre una buona capacità di LVVRT (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 al 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.

La configurazione CFM trova maggior facilità applicativa nell'aggiornamento di impianti esistenti (tenendo comunque conto che il generatore sincrono esistente non potrà più essere mantenuto tale quale, per la non compatibilità in termini di isolamento: a volte comunque si riesce a salvare lo statore, qualora le caratteristiche elettriche della macchina esistente siano compatibili con la nuova soluzione).

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	27.5	MVA
$\cos(\phi)$	1.0	
Frequenza	50	Hz
Numero di poli	10	
Numero di giri	600 (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:

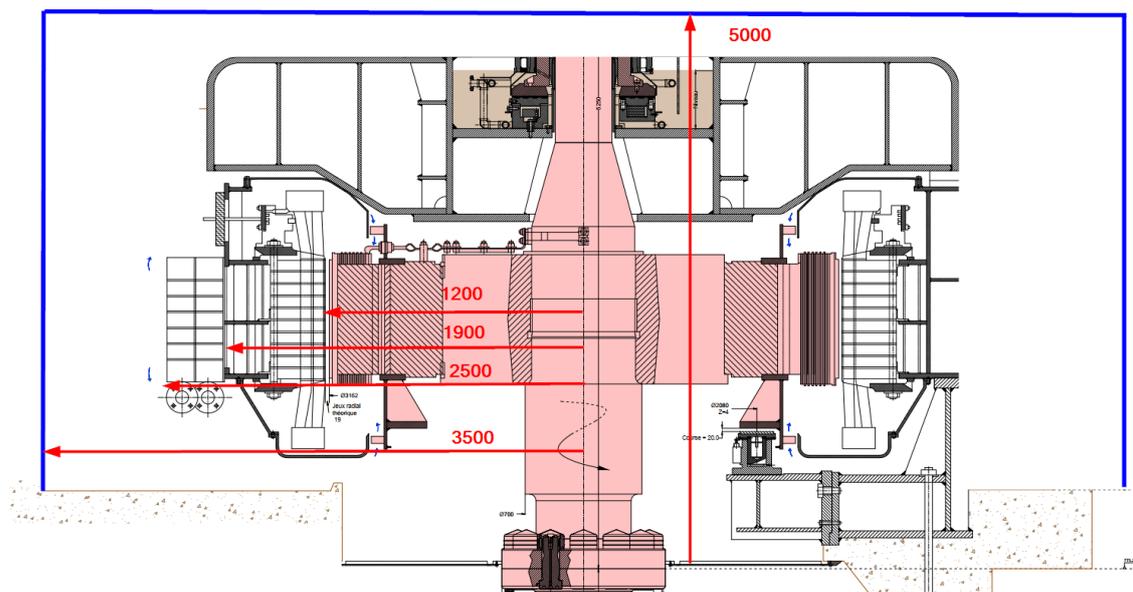


Figura 7: Generatore - dimensioni principali

Si prevede una lunghezza dell'albero del rotore pari a circa 5.0 m, dimensione che governa la quota dei binari del carro ponte.

Si stima che il rotore possa pesare circa 60 ton. Dati che devono essere finalizzati dal 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 (cfr. estratto qui sotto dello Schema Unifilare Elettrico).

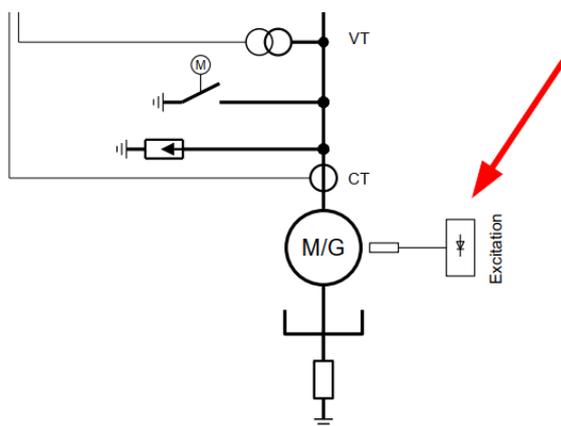


Figura 8: Eccitazione Statica - estratto schema unifilare

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 installata in armadi elettrici 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 sono le seguenti:

Grandezza	Valore	u.m.
Tipologia	OFWF	
Potenza elettrica	27.8	MVA
$\cos(\phi)$	1.0	
Frequenza	50	Hz
Peso totale	50	ton
Peso di olio	7	ton

Tabella 8: Trasformatore – caratteristiche

Le dimensioni principali sono riassunte nella seguente figura:

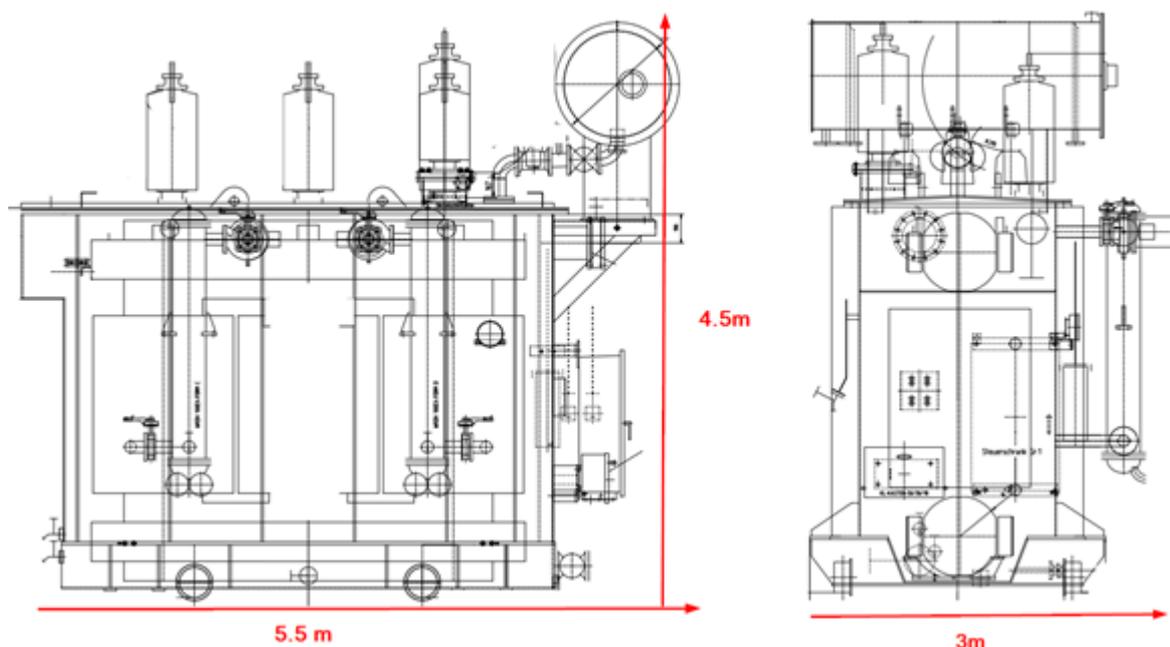


Figura 9: Trasformatore - dimensioni principali

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	-28	MVA
$\cos(\phi)$	-0.0 ÷ 1.0 ÷ 0.0	

Il convertitore può funzionare sull'intera gamma con solo 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:

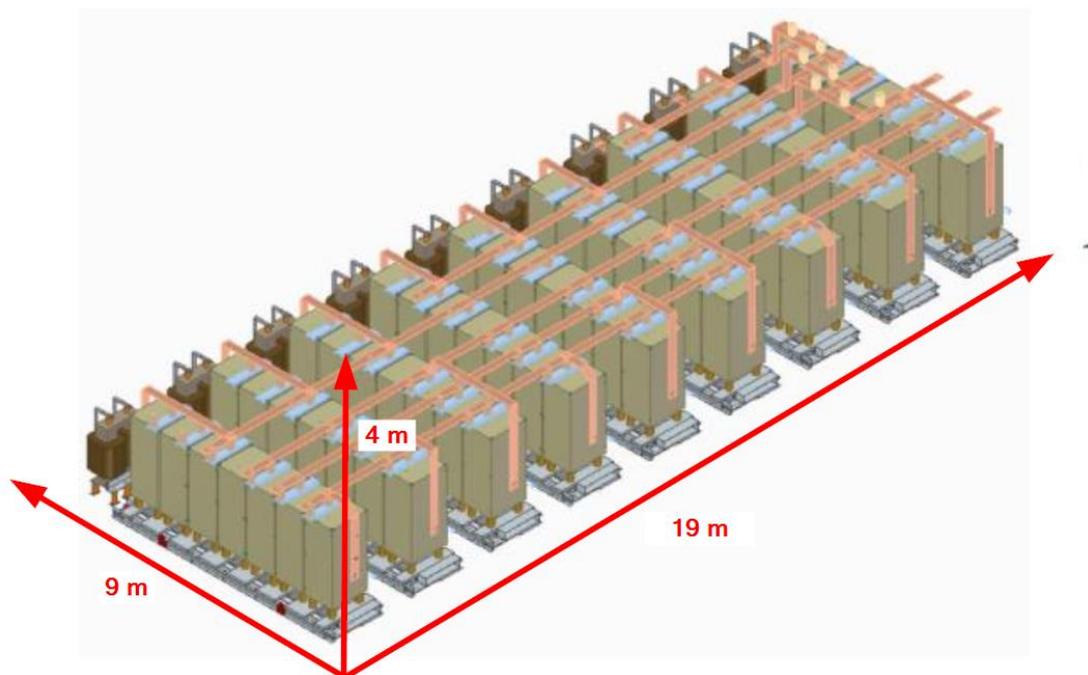


Figura 11: Convertitore statico – schemi alternativi e dimensioni principali

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:

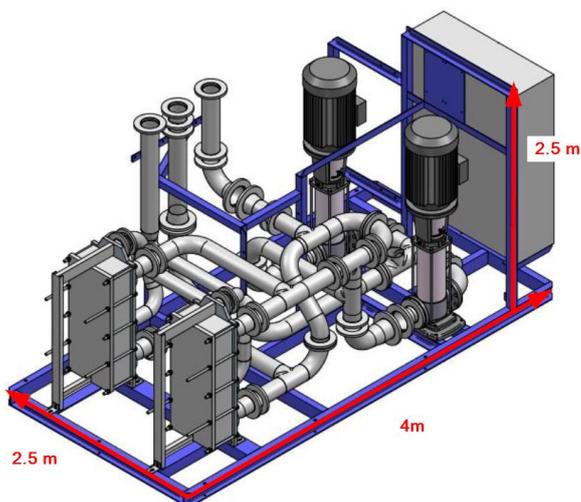


Figura 12: Convertitore statico - Sistema di raffreddamento a circuito chiuso

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 (cfr. Schema Elettrico Unifilare).

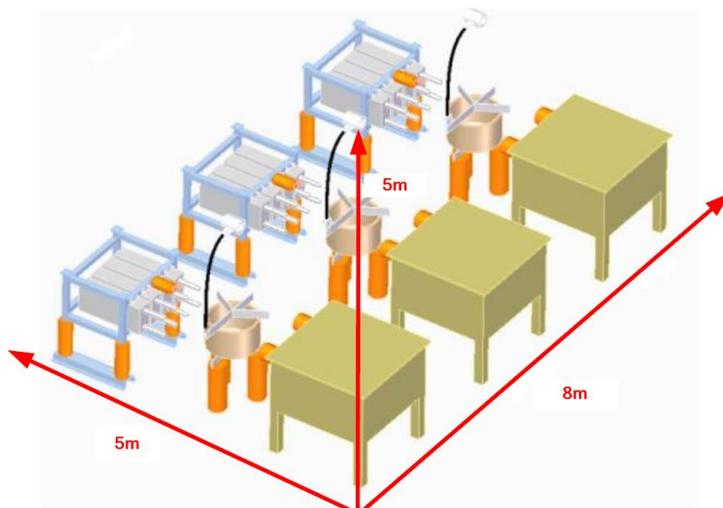


Figura 13: Filtro Armonico - dimensioni principali

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 armadi elettrici blindati.

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.

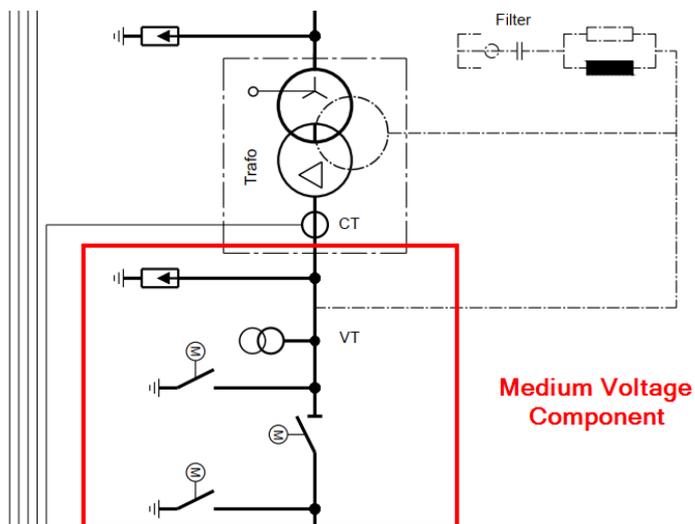


Figura 14: Installazione di Componenti MT

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, con prelievo e mandata di acqua da e verso il lato a bassa pressione dell'unità (tra il tubo di tiraggio e la valvola a bassa pressione).
- Uno scambiatore di calore a tubo (pressione 33 bar)
- Un circuito secondario a circuito chiuso (acqua con glicole).
- Un circuito terziario a circuito chiuso (acqua deionizzata) per i convertitori di frequenza (vedi dimensioni di questo sistema nel capitolo precedente)

Circuito Primario

A causa della configurazione del sito, il circuito primario sarà collegato alla condotta forzata del nuovo gruppo ed avrà una massima pressione in ingresso pari a circa 33bar.

Esso sarà dotato di un gruppo motopompa (ridondante), un sistema di filtrazione e tutta la strumentazione necessaria per il suo utilizzo. Questo sistema ha lo svantaggio di essere sensibile all'intasamento e quindi richiede la filtrazione, che necessita di un elevato controllo manutentivo.

Sarebbe interessante nelle successive fasi progettuali valutare la possibilità di installare uno scambiatore immerso in acqua viva come fonte fredda o di disporre acqua pulita a bassa pressione.

Circuito Secondario

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

Se il trasformatore e il convertitore statico dovessero essere installati all'esterno, il circuito di refrigerazione secondario dovrebbe essere esteso a questi componenti.

Circuito Terziario

Il convertitore di frequenza sarà dotato di un proprio sistema (terziario) a circuito chiuso, raffreddato dal circuito secondario, che utilizza come vettore acqua demineralizzata.

Sistema di estrazione

Per il sistema di estrazione (circuito primario) e il sistema secondario, lo spazio richiesto è: 8 x 2,5 x 2,5 m

I singoli componenti da raffreddare sono collegati a questa unità tramite un distributore o collettore con un diametro di circa 200 mm e tubi in acciaio inossidabile più piccoli per l'alimentazione e la restituzione dei singoli utilizzatori.

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 dal circuito di raffreddamento primario mediante una valvola riduttrice di pressione. Quest'acqua verrà filtrata prima di essere iniettata per garantire la lubrificazione e il raffreddamento della tenuta dell'albero.

Per questo sistema è necessario un componente con le seguenti dimensioni: 2m x 1m x 2m.

7.3 Sistema ad olio pressurizzato

A seconda della configurazione della caverna, in questa fase del progetto si propone di installare:

- Un sistema ad olio pressurizzato per il controllo della valvola di macchina sulla derivazione ad alta pressione;
- Un sistema ad olio pressurizzato per il controllo del distributore;
- Un sistema ad olio pressurizzato per il controllo della valvola di macchina sulla derivazione a bassa pressione.

Potrebbe essere possibile combinare questi tre sistemi in un'unica unità di pompaggio durante la fase di costruzione.

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

Per il distributore può essere preso in considerazione un sistema con accumulatore aria/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 unità di pompaggio per questi tre sistemi sono riportate nella figura seguente:

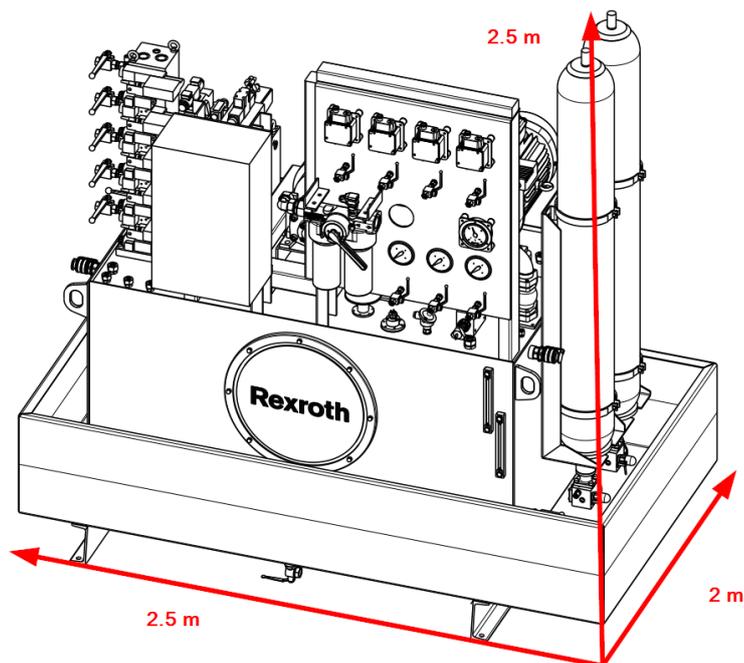


Figura 15: Sistema ad olio pressurizzato - dimensioni

7.4 Armadi di controllo del processo

Sono previsti i seguenti quadri elettrici:

- Quadro di distribuzione a bassa tensione (LVDB) 4m x 1m x 2m (LxBxH)
- Armadi ausiliari CA (ACS) 4m x 1m x 2m (LxBxH)
- Armadi ausiliari CC (DCS) 4m x 1m x 2m (LxBxH)
- Armadi di controllo generali 4m x 1m x 2m (LxBxH)
- Armadi di controllo dell'unità 10m 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 indicato nei paragrafi precedenti.

7.5 Sistema di Drenaggio

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

Questo sistema dovrebbe garantire che l'impianto non sia soggetto ad allagamento in nessuna circostanza. L'acqua drenata deve passare attraverso un sistema di disoleazione prima del recapito finale.

Per il sistema di controllo, si prevede l'installazione di un quadro elettrico di 1,6 x 1 x 2 m (LxBxH) nelle vicinanze del pozzetto di sollevamento.

7.6 Sistema di svuotamento dell'acqua contenuta nel gruppo

Per consentire lo svuotamento dell'unità, è necessario fornire un sistema pompaggio e di tubazioni e valvole.

Per la pompa e la sezione della valvola, devono essere considerate le stesse dimensioni delle unità di pompaggio, ovvero 2,5 m X 2,5 m X 2 m.

Le acque saranno canalizzate verso l'esterno della caverna, nella stessa condotta che porta le acque di drenaggio al disoleatore.