

# “FAVAZZINA”

**Impianto di accumulo idroelettrico mediante pompaggio  
ad alta flessibilità**

*Comune di Scilla (RC)*

COMMITTENTE



PROGETTAZIONE

STRATEGIES FOR WATER



Progettisti: Ing. Luigi Lorenzo Papetti

## **Impianti HVAC e Raffreddamento Relazione tecnica generale**

REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
0	PRIMA EMISSIONE	04/04/2023	Esterno	P. Macchi	L. Papetti
1	MODIFICA TENSIONE MT	02/02/2024	Esterno	E. Marchesi	L. Papetti

**Codice commessa: 1422**

**Codifica documento: 1422-L-FN-R-01-1**

## INDICE

<b>1</b>	<b>OGGETTO</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>CONDIZIONI DEL SITO E DATI DI PROGETTO</b>	<b>3</b>
2.1	Condizioni ambientali	3
2.2	Condizioni del fluido di lavoro (acqua)	3
2.3	Condizioni di lavoro	4
<b>3</b>	<b>CALCOLI TERMICI</b>	<b>4</b>
3.1	Calore da smaltire	4
3.2	Bilanci termici	4
3.2.1	Sistema ad aria	4
3.2.2	Sistema ad acqua	6
<b>4</b>	<b>DESCRIZIONE DEI SISTEMI DI RAFFREDDAMENTO</b>	<b>7</b>
4.1	Sistemi di raffreddamento ad acqua	7
4.2	Sistemi di raffreddamento ad aria	8
4.2.1	Architettura generale	8
4.2.2	Distribuzione dell'aria	9
4.2.3	Selezione dei ventilatori	9
4.3	Fabbisogni elettrici	10

## 1 OGGETTO

Il progetto dell'impianto di Favazzina prevede la realizzazione di un impianto di pompaggio ad alta flessibilità costituito da 2 gruppi ternari turbina-alternatore-pompa per un totale di potenza installata di 380 MVA nel comune di Scilla (RC).

La presente relazione costituisce il documento generale che illustra il progetto preliminare dei sistemi, ventilazione (HVAC) e raffreddamento, da utilizzarsi per la procedura autorizzativa della centrale in questione.

## 2 CONDIZIONI DEL SITO E DATI DI PROGETTO

### 2.1 CONDIZIONI AMBIENTALI

L'impianto trasferirà volumi di acqua tra il Mar Tirreno ed un bacino idrico di nuova realizzazione all'interno del comune di Scilla (RC), nella regione Calabria. La centrale sarà ubicata in caverna artificiale, raggiungibile tramite una galleria di accesso di lunghezza pari a circa 4,2 km.

I dati ambientali di riferimento del sito sono i seguenti:

#### **altezza s.l.m.**

bacino di monte:	Circa 620 m s.l.m.
mare:	0 m s.l.m.
quota asse macchine	-60 m s.l.m.
quota imbocco galleria	Circa 5 m s.l.m.

#### **temperatura ambientale limite (min/max):**

bacino di monte:	+7 / +26 °C
mare:	+10 / +30 °C
temperatura da mantenere in centrale min/max	+15 / +35 °C

I dati di temperatura sopra riportati si devono intendere come condizioni limite per l'ambiente esterno, fra le quali le apparecchiature si troveranno a lavorare e dovranno garantire di funzionare adeguatamente e senza disservizi.

### 2.2 CONDIZIONI DEL FLUIDO DI LAVORO (ACQUA)

L'acqua che costituisce il fluido di lavoro per le macchine idrauliche sarà anche resa disponibile anche per l'utilizzo come fluido di raffreddamento per macchinari e ambienti.

Le temperature min/max durante l'anno saranno le seguenti:

Acqua del bacino di monte:	+10 / 30 °C
Acqua di mare:	+10 / 30 °C

## 2.3 CONDIZIONI DI LAVORO

Per la centrale è previsto il funzionamento in pompaggio e turbinaggio, con le seguenti tempistiche orientative:

- Pompaggio 4-12 h/giorno
- Turbinaggio 4-12 h/giorno
- Macchine ferme 8-24 h/giorno

## 3 CALCOLI TERMICI

### 3.1 CALORE DA SMALTIRE

Il progetto del sistema di ventilazione e climatizzazione deve partire innanzitutto dalla valutazione del calore che deve essere asportato dai macchinari durante il loro funzionamento e che, quindi, determina il dimensionamento dei sistemi di movimentazione dei fluidi di raffreddamento.

I fluidi di raffreddamento disponibili sono:

- Aria, prelevabile all'imbocco della galleria di accesso alla centrale.
- Acqua, prelevabile durante il normale funzionamento dallo scarico turbine.

Le temperature limite di detti fluidi sono riportate nel Capitolo 2, Dati di progetto.

La valutazione del calore da asportare dai macchinari in esercizio è riportata nel doc. 1422-L-FN-A-01-1 ed assomma a:

- Calore da asportare tramite scambiatori ad acqua: 2 x 5,47 MW
- Calore da asportare tramite aria di ventilazione: 1,031 MW

Tale valutazione è riferita alla cosiddetta all'ipotesi di utilizzo di macchine elettriche (motore/generatore) di tipo sincrono.

Da tali valutazioni discende innanzitutto l'individuazione dei sistemi di raffreddamento più idonei per ogni sistema da raffreddare, descritta nel Capitolo 4, e poi il dimensionamento dei diversi componenti (pure descritti nel Capitolo 4.), il tutto sviluppato sulla base dei bilanci termici di cui ai doc. 1422-L-FN-A-01-1 e 1422-L-FN-A-03-0 come di seguito descritto.

### 3.2 BILANCI TERMICI

#### 3.2.1 SISTEMA AD ARIA

Il dimensionamento del sistema deve essere effettuato sulla base della condizione più critica, che è ovviamente l'estate, durante il quale si assume una temperatura massima dell'aria esterna, per il calcolo della portata necessaria, pari a 35°C.

L'aria esterna tramite ventilatori viene immessa nella galleria di accesso alla centrale che funge, con la sua intera sezione, da condotta di mandata in pressione; per evitare ritorni d'aria verso l'esterno e quindi perdite di efficienza del sistema, l'accesso alla galleria è costituito da due distinti portoni con camera intermedia, con immissione dell'aria a valle della camera stessa.

L'estrazione dell'aria calda dalla centrale avviene tramite il cunicolo sbarre MT che collega la sala macchine con il pozzo verticale. L'aria in uscita dalla centrale e transitante

attraverso il cunicolo e il pozzo avrà anche il compito di asportare il calore prodotto dalle perdite delle sbarre.

Per quanto riguarda la temperatura delle pareti della galleria, nella maggioranza dei casi il sottosuolo ha una temperatura pressoché costante che in Italia oscilla fra i 12 e i 14°C, e in generale questa temperatura si mantiene costante a partire da 10 m fino a 100 m di profondità, mentre il primo strato risente delle escursioni termiche giorno/notte-estate/inverno; al di sotto di 100 m la temperatura inizia a salire intorno ai 3 gradi per ogni 100 m di profondità. Si è pertanto assunto che:

- il primo tratto a partire dall'imbocco risente della temperatura esterna e perciò, sia pur con valori in rapida diminuzione, la temperatura delle pareti parta da un valore prossimo a quello dell'aria esterna nella peggior condizione;
- il tratto successivo presenti temperature dipendenti dalla profondità effettiva della galleria rispetto al sopra suolo e calcolate in base ai criteri sopra esposti.

Nel doc. 1422-L-FN-A-01-0 si è sviluppato il calcolo principale relativo agli scambi di calore fra aria di mandata e galleria, considerando l'effetto dovuto alle rientrate di calore a causa delle dispersioni dei cavi conduttori presenti nella volta della galleria. Gli apporti relativi alla dispersione delle sbarre sono stati invece considerati nel relativo cunicolo e nel successivo pozzo di risalita, in quanto è in essi che verranno collocate le sbarre stesse. In particolare il collegamento tra i motori generatori presenti in centrale ed i trasformatori presenti nella sottostazione elettrica avviene mediante due terne di sbarre (per una lunghezza di circa 900 m) in media tensione di tipo Insulated Phase Busbars (IPB). In totale si hanno quindi 6 sbarre, che convogliano circa 5700 A di corrente ad una tensione di 20 kV. In base ad informazioni contenute in cataloghi di sbarre di questa tipologia, si è stimata una perdita di potenza (che si converte in calore) pari a circa 1,1 MW. Nel doc. 1422-L-FN-A-01-1 è stato eseguito anche il calcolo relativo alla temperatura dell'aria in uscita dalla centrale attraverso cunicolo e pozzo suddetti.

Il calcolo è sviluppato per tronchi di galleria di lunghezza di 10 m cadauno, dall'inizio fino alla fine, valutando il salto termico, variabile da punto a punto, fra la temperatura dell'aria e la temperatura della parete della galleria; il calcolo è effettuato per tutti i tronchi con la seguente formula:

$$P_{disp} [W] = (T_{aria} - T_{parete}) [°C] \cdot K [W/m^2 °C] \cdot S_{tronco} [m^2]$$

La potenza termica che l'aria in ingresso può cedere alle pareti della galleria, è di circa 2287 kW, ma data l'elevata profondità raggiunta, da meno della metà del percorso inizia ad avvenire il contrario, ovvero sono le pareti della galleria a cedere calore all'aria, tanto che la potenza complessivamente ceduta si riduce infine a 1083 kW.

Per determinare la temperatura dell'aria a fine galleria, e quindi in ingresso alla centrale, è necessario definire il valore della portata, per cui il calcolo è stato sviluppato con un procedimento iterativo e si sono ricavate le seguenti condizioni di funzionamento:

- Portata d'aria: 514.157 m<sup>3</sup>/h

- Temperatura aria inizio galleria: 35 °C
- Calore sottratto in galleria 1083 kW
- Temperatura aria fine galleria: 29,0 °C

La temperatura dell'aria a inizio galleria è stata assunta pari a 35 °C secondo i dati a disposizione per la zona considerata.

La portata dell'aria per il calcolo dello scambio termico con le pareti della galleria deve combaciare con quello relativo allo scambio termico che avviene all'interno della centrale, con temperatura dell'aria di uscita dalla stessa imposta, tramite la formula:

$$Q_{aria}[\text{m}^3/\text{h}] = P_{disp\_centr}[\text{kW}]/(T_{out} - T_{in})[^\circ\text{C}] \cdot c_{p\ airia}[\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})]$$

Mantenendo i locali a 35°C, come fissato nei dati di progetto, si verifica la seguente situazione:

- Temperatura aria ingresso centrale: 29,0 °C
- Calore disperso dai macchinari: 1083 kW
- Temperatura aria all'uscita dalla centrale: 35 °C

Data la sezione netta libera della volta della galleria utilizzata per la mandata dell'aria (44,75 m<sup>2</sup>), si ottiene una velocità dell'aria pari a 3,19 m/s.

Considerando una dispersione per perdite varie del 5% della portata (il che equivale a creare una leggera sovra-pressione nei locali della centrale, come d'uso negli impianti HVAC), una portata d'aria di 488.450 m<sup>3</sup>/h viene ripresa dagli ambienti a 35°C e rinviata attraverso il cunicolo sbarre (31,9 m<sup>2</sup>), dove scorre ad una velocità di 4,25 m/s e il successivo pozzo (area utile ~22,6 m<sup>2</sup>), dove scorre ad una velocità di 6,0 m/s. Per quanto riguarda il cunicolo è previsto che l'aria scorra su tutta la sezione, compresa la parte protetta delle sbarre che saranno anch'esse investite dal flusso, favorendone il raffreddamento; lo stesso è previsto che si verifichi nel pozzo, dove una parte della sezione utile è però ritenuta ingombra dal montacarichi e i suoi componenti. Le modalità di calcolo degli scambi termici sono del tutto analoghe a quelle per l'aria in ingresso, fatto salvo che la portata d'aria è nota.

- Temperatura aria uscita centrale-ingresso cunicolo: 35,0 °C
- Calore disperso dalle sbarre: 1100 kW
- Temperatura aria all'uscita dal pozzo verso l'esterno: 35,0 °C

Si precisa che con la centrale a pieno carico e le temperatura dell'aria che si viene a realizzare nel pozzo d'uscita, si verifica un tiraggio naturale che permette di arrestare o comunque parzializzare anche i ventilatori di ripresa, che sono in ogni caso indispensabili dopo ogni avviamento o ai carichi parziali, al fine di superare le perdite di carico.

### 3.2.2 SISTEMA AD ACQUA

I bilanci termici sono illustrati nel doc. 1422-L-FN-A-03-0. Il successivo par. 4.2, che descrive l'organizzazione del sistema ad acqua, ne illustra i risultati.

## 4 DESCRIZIONE DEI SISTEMI DI RAFFREDDAMENTO

### 4.1 SISTEMI DI RAFFREDDAMENTO AD ACQUA

La parte più consistente del raffreddamento da effettuare è costituita dai diversi elementi di ciascuna unità che devono essere raffreddati ad acqua, tramite scambiatori di calore dedicati per ciascuno di essi; tutti questi raffreddamenti sono effettuati in circuito chiuso, con acqua trattata. Il calore asportato in questi circuiti viene smaltito all'esterno tramite scambiatori di calore che lo cedono ad acqua prelevata dalla galleria di restituzione al mare delle macchine idrauliche:

- quando queste funzionano in turbinaggio, si tratta di acqua in uscita dalle turbine, che poi viene inviata al mare;
- quando queste funzionano in pompaggio, si tratta di acqua proveniente dal mare, che poi viene inviata in aspirazione alle pompe.

Il circuito con acqua prelevata dal processo delle macchine idrauliche è detto circuito primario, il circuito chiuso è detto secondario. Si è ritenuto opportuno prevedere dei sistemi primario/secondario distinti per ciascuna delle due macchine, in modo che, in caso di fermata di un'unità, possano esserne fermati contestualmente anche tutti i sistemi di raffreddamento ad essa legati, e l'altra unità continua a funzionare con i propri elementi di raffreddamento, senza necessità di sistemi di regolazione.

L'organizzazione generale dei sistemi di raffreddamento ad acqua è mostrata negli schemi di flusso 1422-L-FN-D-01-0.

Per il circuito primario, l'acqua di raffreddamento è prelevata dalla galleria a valle delle macchine idrauliche, in due punti distinti:

- Uno per il raffreddamento dell'unità 1 (5.472 kW): l'apposita pompa preleva la portata necessaria (2 da 950 m<sup>3</sup>/h cadauna una di riserva all'altra, calcolata sulla base della potenza suddetta, con temperatura dell'acqua in arrivo pari a 30°C e restituzione a 35°C)
- Uno per il raffreddamento dell'unità 2, con organizzazione e dimensionamento del tutto identico a quello dell'unità 1

Ciascun sistema restituisce poi l'acqua nella galleria di aspirazione-scarico.

Per quanto riguarda il circuito secondario:

- Lo schema 1422-L-FN-D-01-0 mostra che, per ogni unità, è previsto un circuito chiuso di raffreddamento dedicato, con propri scambiatori di calore primario/secondario (2x100% da 5.472 kW cadauno) e con proprie pompe (2 da 950 m<sup>3</sup>/h cadauna una di riserva all'altra, calcolate sulla base della potenza suddetta, con temperatura dell'acqua in arrivo pari a 35°C e restituzione a 40°C)
- Sullo stesso schema si mostra, per ogni unità, le unità che vengono raffreddate dal circuito chiuso, con la potenza di ciascun elemento da raffreddare.

Il bilancio termico 1422-L-FN-A-03-0 mostra altresì che, quando le macchine idrauliche lavorano con la portata nominale di 23,4 m<sup>3</sup>/s cadauna, il calore scaricato dal sistema di raffreddamento altera la temperatura dell'acqua in modo impercettibile (0,06°C). Non vi

sono quindi problemi legati all'inversione del flusso nella condotta di valle, che comporta il fatto che in uno dei due versi di scorrimento dell'acqua l'acqua di raffreddamento verrà restituita a monte del punto di prelievo; l'effetto del calore disperso sulla temperatura di aspirazione è assolutamente irrisorio.

È stata considerata anche la situazione opposta, cioè i periodi di funzionamento invernali con bassa temperatura per l'acqua di raffreddamento; l'ipotesi al momento adottata è che le diverse unità da raffreddare possano eventualmente disporre di propria termoregolazione.

Qualora, in fase esecutiva, si riscontrasse la necessità di effettuare una termoregolazione, sarà sufficiente prevedere in ciascun circuito secondario il posizionamento della pompa in ingresso allo scambiatore ed un parziale bypass (con valvola di regolazione) della portata inviata allo scambiatore stesso, al fine di mantenere costante, e al valore ottimale, la temperatura di mandata del circuito secondario.

Particolare menzione va fatta per la scelta dei materiali del circuito primario che dovrà utilizzare come fluido di raffreddamento acqua di mare. Per tutte le apparecchiature che saranno in contatto con acqua di mare dovranno essere scelti materiali di costruzione adeguati come l'acciaio inossidabile AISI316, Duplex (EN 1.4462 o superiori) o Super Duplex.

## **4.2 SISTEMI DI RAFFREDDAMENTO AD ARIA**

### **4.2.1 ARCHITETTURA GENERALE**

La parte più consistente del calore da asportare è costituita dalle dispersioni rilasciate in ambiente da quegli elementi ai quali non è possibile applicare degli scambiatori di calore ad acqua.

L'organizzazione del sistema ad aria (schema 1422-L-FN-D-02-0) prevede:

- Prelievo di aria esterna all'esterno della galleria di accesso alla centrale e invio tramite appositi ventilatori alla galleria stessa che funge da condotta in pressione.
- All'arrivo presso la centrale l'immissione potrà avvenire a piena sezione oppure potrà essere previsto un sistema di canali in lamiera metallica con distribuzione nelle diverse parti della centrale. In questo secondo caso delle serrande motorizzate, poste in punti opportuni dei canali di distribuzione, permetteranno sia di bilanciare le portate fra le varie zone, sia di sezionare le aree, in caso di funzionamento di una sola delle due unità.
- La restituzione dell'aria dagli ambienti della centrale avviene attraverso il cunicolo sbarre, a sezione piena; in tale parte dovrà quindi essere garantito il libero transito dell'aria, ed eventuali chiusure potranno essere costituite solamente da cancelli a sbarre che non penalizzino sensibilmente la sezione di passaggio. Per favorire lo scorrimento dell'aria, sono previsti ventilatori booster da galleria, distribuiti lungo il cunicolo sbarre (al momento, ne sono previsti quattro più uno di riserva).

I sistemi di trasporto dell'aria sono unificati (cioè, un'unica mandata attraverso la galleria d'accesso, un'unica restituzione attraverso il cunicolo sbarre e il successivo pozzo); per

le unità di ventilazione, però, si è operato prevedendo sette ventilatori di mandata, uno dei quali di riserva, in modo da garantire una buona flessibilità di esercizio e mettendo in funzione il numero di ventilatori necessario ad adeguare la portata d'aria all'effettivo carico da smaltire.

L'azionamento dei motori dei ventilatori, peraltro, è previsto tramite inverter, in modo da poter parzializzare la portata; quando entrambe le unità di produzione sono ferme è previsto il funzionamento di un solo ventilatore, parzializzato. Il doc. 1422-L-FN-A-01-0 ha valutato infatti anche le dispersioni a centrale ferma e la necessità di mantenere in circolazione, in tale eventualità, una portata d'aria pari al 17% circa della massima.

Sempre a proposito del dimensionamento, la temperatura di arrivo dell'aria dall'ambiente esterno (cioè a fine galleria) è stata valutata nelle peggiori condizioni nell'ordine dei 28,6°C, valore sensibilmente inferiore alla temperatura di 35°C dell'aria esterna alla centrale; tale diminuzione di temperatura si giustifica con le dispersioni verso le pareti della galleria.

#### 4.2.2 DISTRIBUZIONE DELL'ARIA

Dato il grande volume del locale col macchinario idraulico, in esso le portate di ventilazione necessarie per lo smaltimento del calore corrispondono ad un ricambio di circa 5,7 vol/h.

In questa fase di progetto preliminare, in assenza di dettagli costruttivi sui macchinari, le portate di ventilazione sono state calcolate nel modo più conservativo, cioè con immissione libera in ogni locale ed estrazione pure libera dalla totalità del locale; non si può escludere che in fase di progetto esecutivo, si possa individuare la possibilità di effettuare delle estrazioni localizzate, aggiungendo cappe e ventilatori di estrazione dedicati sopra i macchinari a maggiore emissione termica (per esempio, sopra i quadri elettrici); ciò consentirebbe di estrarre l'aria calda direttamente al punto di emissione, quindi ad una maggior temperatura, riducendo quindi la portata necessaria, a parità di potenza termica.

#### 4.2.3 SELEZIONE DEI VENTILATORI

Le macchine selezionate preliminarmente sono le seguenti:

- Ventilatori di mandata:
  - Quantità: n. 6 (1 di riserva)
  - Portata massima: 125.000 m<sup>3</sup>/h cad.
  - Portata minima: 25.000 m<sup>3</sup>/h cad.
  - Prevalenza alla portata minima: 160 mmca
  - Motore: a 4 poli /37 kW
  - Dimensioni indicative: 136 cm (D) x 115 cm (L)
  - Peso indicativo (con motore): 500 kg
  - Silenziatori: in aspirazione
- Ventilatori di ripresa:
  - Quantità: n. 6 (1 di riserva)

- Portata: 240.000 m<sup>3</sup>/h cad.
- Motore: a 2 poli 55 kW
- Dimensioni indicative: 63 cm (D) x 200 cm (L)
- Silenziatori: in aspirazione e in mandata

La lunghezza dei ventilatori di ripresa include già l'ingombro dei silenziatori.

La lunghezza indicata per i ventilatori di mandata, invece, è quella netta della macchina. Ad essa si somma l'ingombro dei silenziatori da prevedere in aspirazione, che verrà valutata in fase di progetto esecutivo.

### **4.3 FABBISOGNI ELETTRICI**

Sono individuati, per ogni singolo macchinario e legati alla posizione dell'utenza, nel doc. "Elenco carichi elettrici" 1422-L-FN-A-02-0 gli assorbimenti elettrici dei sistemi di HVAC, del sistema di raffreddamento e degli altri principali carichi elettrici della centrale.



Tel: +39 030 3702371 – Mail: [info@frosionext.com](mailto:info@frosionext.com) - Sito: [www.frosionext.com](http://www.frosionext.com)  
Via Corfù 71 - Brescia (BS), CAP 25124  
P.Iva e Codice fiscale: 03228960179