

“TACCU SA PRUNA”

Impianto di accumulo idroelettrico mediante pompaggio
ad alta flessibilità

Comune di Esterzili (SU)

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	18/05/2022	Esterno	C. Pasqua	L. Papetti

Codice commessa: 1351

Codifica documento: 1351-M-FN-R-01-0

INDICE

1	OGGETTO	3
2	CONDIZIONI DEL SITO E DATI DI PROGETTO	3
2.1	Condizioni ambientali	3
2.2	Condizioni del fluido di lavoro (acqua)	3
2.3	Condizioni di lavoro	4
3	CALCOLI TERMICI	4
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
4	DESCRIZIONE DEI SISTEMI DI RAFFREDDAMENTO	6
4.1	Sistemi di raffreddamento ad acqua	6
4.2	Sistemi di raffreddamento ad aria	7
4.2.1	Architettura generale	7
4.2.2	Distribuzione dell'aria	8
4.2.3	Selezione dei ventilatori	8
4.3	Fabbisogni elettrici	9

1 OGGETTO

Il progetto dell'impianto di Taccu sa Pruna 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 460 MVA nel comune di Esterzili (SU).

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 sarà realizzato tra l'invaso esistente di Nuraghe Arrubiu ed un bacino di nuova realizzazione in località Taccu sa Pruna, all'interno del comune di Esterzili (SU), nella regione Sardegna. La centrale sarà ubicata in caverna artificiale, raggiungibile tramite una galleria di accesso di lunghezza pari a circa 1.500 m.

I dati ambientali di riferimento del sito sono i seguenti:

altezza s.l.m.

bacino di monte:	662,70 / 652 m s.l.m.
bacino di valle (invaso di Nuraghe Arrubiu):	267 / 242 m s.l.m.
quota asse macchine	165 m s.l.m.
quota imbocco galleria	270 m s.l.m.

temperatura ambientale limite (min/max):

bacino di monte:	-5 / +32 °C
bacino di valle (invaso di Nuraghe Arrubiu):	-5 / +32 °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 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:	8 / 20 °C
Acqua del bacino di valle:	8 / 20 °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 0-24 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 galleria di aspirazione/scarico.

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

La valutazione del calore da asportare dai macchinari in esercizio è riportata nel doc. 1351-M-FN-A-01-0 ed assomma a:

- Calore da asportare tramite scambiatori ad acqua: 2 x 8,8 MW
- Calore da asportare tramite aria di ventilazione: 1,645 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 cap. 4, e poi il dimensionamento dei diversi componenti (pure descritti nel cap. 4), il tutto sviluppato sulla base dei bilanci termici di cui ai doc. 1351-M-FN-A-01-0 e 1351-M-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 32°C.

L'aria esterna tramite ventilatori viene immessa nella parte superiore della galleria di accesso alla centrale; la stessa galleria è suddivisa in due distinte parti tramite una soletta, e la volta superiore funge da condotta di mandata in pressione.

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 prudenzialmente 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 si attesti e si mantenga stabile ad una temperatura di circa 13,5°C;
- il tratto finale, a partire da poco meno di un terzo della lunghezza totale della galleria, presenti una temperatura in lento ma progressivo aumento, in quanto la galleria, seppur procedendo con una pendenza modesta, si addentra nella profondità del rilievo presente.

Nel doc. 1351-M-FN-A-01-0 si è sviluppato il calcolo principale relativo agli scambi di calore fra aria di mandata e volta della galleria, considerando l'effetto dovuto alle rientrate di calore per effetto delle dispersioni dei cavi conduttori presenti nella volta della galleria. Gli apporti relativi alla dispersione delle sbarre sono stati considerati nella parte inferiore della galleria, ed è pertanto in essa che verranno collocate le sbarre stesse; nel doc. 1351-M-FN-A-01-0 è stato eseguito anche il calcolo relativo alla temperatura dell'aria in uscita dalla centrale attraverso la parte transitabile della galleria, ovvero quella inferiore.

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.

La potenza termica che l'aria in ingresso può cedere alle pareti della galleria, è di circa 1120 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: 361.826 m³/h
- Temperatura aria inizio galleria: 32 °C
- Calore sottratto in galleria 1294 kW
- Temperatura aria fine galleria: 21,4 °C

La temperatura dell'aria a inizio galleria è stata assunta pari a 32 °C secondo i dati a disposizione per la zona considerata. Mantenendo i locali a 35°C, come fissato nei dati di progetto, si verifica la seguente situazione:

- Temperatura aria ingresso centrale: 21,4 °C
- Calore disperso dai macchinari: 1645 kW
- Temperatura aria all'uscita dalla centrale: 35 °C
- Temperatura aria all'uscita della galleria verso l'esterno: 27,2 °C

Data la sezione netta libera della volta della galleria utilizzata per la mandata dell'aria ($17,9 \text{ m}^2$), si ottiene una velocità dell'aria pari a $5,6 \text{ m/s}$.

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 $361.826 \text{ m}^3/\text{h}$ viene ripresa dagli ambienti a 35°C e rinviata attraverso la parte transitabile della galleria di accesso ($50,6 \text{ m}^2$), dove scorre ad una velocità di $1,98 \text{ m/s}$.

3.2.2 SISTEMA AD ACQUA

I bilanci termici sono illustrati nel doc. 1351-M-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 bacino di valle delle macchine idrauliche:

- quando queste funzionano in turbinaggio, si tratta di acqua in uscita dalle turbine, che poi viene inviata al bacino di valle;
- quando queste funzionano in pompaggio, si tratta di acqua proveniente dal bacino di valle, 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 1351-M-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 (8.784 kW): l'apposita pompa preleva la portata necessaria (2 da $950 \text{ m}^3/\text{h}$ cadauna una di riserva all'altra, calcolata sulla base della potenza suddetta, con temperatura dell'acqua in arrivo pari a 20°C e restituzione a 28°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 valle.

Per quanto riguarda il circuito secondario:

- Lo schema 1351-M-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 8.784 kW cadauno) e con proprie pompe (2 da 945 m³/h cadauna una di riserva all'altra, calcolate sulla base della potenza suddetta, con temperatura dell'acqua in arrivo pari a 30°C e restituzione a 38°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 1351-M-FN-A-03-0 mostra altresì che, quando le macchine idrauliche lavorano con la portata nominale di 48,25 m³/s cadauna, il calore scaricato dal sistema di raffreddamento altera la temperatura dell'acqua in modo impercettibile (0,04°C).

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, con valvole che regolano il flusso dell'acqua di raffreddamento immessa nello scambiatore: una riduzione della temperatura di prelievo dell'acqua comporterà una riduzione dell'utilizzo di acqua sul secondario e, conseguentemente, si ridurrà il calore scambiato tramite gli scambiatori primario/secondario, senza bisogno di dotarli di termoregolazione.

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 nell'ambiente della centrale in caverna da quegli elementi ai quali non è possibile applicare degli scambiatori di calore ad acqua.

L'organizzazione del sistema ad aria (schema 1351-M-FN-D-02-0) prevede:

- Prelievo di aria esterna all'esterno della galleria di accesso alla centrale e invio tramite appositi ventilatori alla parte superiore della galleria di accesso, divisa dalla parte inferiore tramite soletta; la parte superiore dovrà essere chiusa verso l'esterno e funge da condotta in pressione.
- All'arrivo presso la centrale l'immissione potrà avvenire a piena sezione della parte superiore della galleria 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 la parte transitabile della galleria, ovvero quella inferiore, 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 sen-

sibilmente la sezione di passaggio. Per favorire lo scorrimento dell'aria, sono previsti ventilatori booster da galleria, distribuiti lungo il percorso (al momento, ne sono previsti quattro più uno di riserva).

I sistemi di trasporto dell'aria sono unificati (cioè, una condotta di mandata sulla volta, un'unica restituzione attraverso la galleria); per le unità di ventilazione, però, si è operato prevedendo cinque 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 far funzionare un solo ventilatore, a portata ridotta, quando entrambe le unità di produzione sono ferme.

Il doc. 1351-M-FN-A-01-0 ha valutato anche le dispersioni a centrale ferma e la necessità di mantenere in circolazione, in tale eventualità, una portata d'aria pari al 12,6% circa della massima.

Sempre a proposito del dimensionamento, la temperatura di arrivo dell'aria all'ambiente esterno (cioè a fine galleria) è stata valutata nelle peggiori condizioni nell'ordine dei 27,2° C, valore sensibilmente inferiore alla temperatura di 35 °C in uscita dalla 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 2,8 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. Parallelamente, quindi, si ridurrà anche la portata d'aria immessa; indicativamente, il risparmio ottenibile potrebbe essere il 10% della portata totale.

4.2.3 SELEZIONE DEI VENTILATORI

Le macchine selezionate preliminarmente sono le seguenti:

- Ventilatori di mandata:
 - Quantità: n. 5 (1 di riserva)
 - Portata massima: 125.000 m³/h cad.
 - Portata minima: 25.000 m³/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. 5 (1 di riserva)
 - Portata: 240.000 m³/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 silenzianti.

La lunghezza indicata per i ventilatori di mandata, invece, è quella netta della macchina. Ad essa si somma l'ingombro dei silenzianti 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" 1351-M-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 - Sito: www.frosionext.com
Via Corfù 71 - Brescia (BS), CAP 25124
P.Iva e Codice fiscale: 03228960179