

“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
1	REVISIONE 1 - INTEGRAZIONI	26/05/2023	Esterno	P. Macchi	L. Papetti

Codice commessa: 1351

Codifica documento: 1351-M-FN-R-01-1

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	9
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 discenderia di accesso di lunghezza pari a circa 1.800 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 discenderia	650 m s.l.m.

temperatura ambientale limite aria (min/max):

bacino di monte:	+8 / +25 °C
bacino di valle (invaso di Nuraghe Arrubiu):	+8 / +25 °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:	8 / 25 °C
Acqua del bacino di valle:	8 / 25 °C

2.3 CONDIZIONI DI LAVORO

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

- Pompaggio 4-12 h/giorno
- Generazione 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 cap. 2, Dati di progetto.

La valutazione del calore da asportare dai macchinari in esercizio è riportata nel doc. 1351-M-FN-A-01-1 ed assomma a:

- Calore da asportare tramite scambiatori ad acqua: 2 x 8,8 MW
- Calore da asportare tramite aria di ventilazione: 1,861 MW

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

Sono stati prudenzialmente considerati 216 kW, pari al 5% della potenza dissipata presso la sottostazione che nella realtà è raffreddata ad acqua, al fine di garantire in ogni caso un adeguato ricambio d'aria per eventuali dispersioni di calore nel locale della sottostazione stessa.

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-01-1 e 1351-M-FN-A-03-1 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 in una apposita galleria cavi e ventilazione lunga circa 1500 m e con una sezione di 28,9 m².

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 parte 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°C;
- il tratto finale 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-01-1 si è sviluppato il calcolo principale relativo agli scambi di calore fra aria di mandata e perimetro della galleria, considerando le rientrate di calore per effetto delle dispersioni dei cavi conduttori presenti. Nel doc. 1351-M-FN-A-01-1 è stato eseguito anche il calcolo relativo alla temperatura dell'aria in uscita dalla centrale attraverso la galleria di accesso; in questo caso la temperatura delle pareti della galleria non ha particolare influsso, ma sono stati comunque applicati gli stessi criteri adottati per la galleria di ingresso aria.

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 1531 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 a carico massimo, con una partizione delle portate direttamente proporzionale alla potenza dissipata nei diversi locali:

- | | |
|--|---------------------------|
| • Portata d'aria complessiva: | 341.528 m ³ /h |
| • Portata d'aria destinata alla sala macchine | 300.545 m ³ /h |
| • Portata d'aria destinata al locale sottostazione | 40.983 m ³ /h |
| • Temperatura aria inizio galleria: | 32 °C |
| • Calore sottratto in galleria | 1531 kW |
| • Temperatura aria fine galleria: | 18,7 °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 e sottostazione: | 18,7 °C |
| • Calore complessivo disperso dai macchinari: | 1861 kW |
| • Temperatura aria all'uscita dalla centrale: | 35 °C |

- Temperatura aria all'uscita della discenderia verso l'esterno: 17,5 °C

Data la sezione netta libera della galleria utilizzata per la mandata dell'aria (28,9 m²), si ottiene una velocità dell'aria pari a 3,3 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 324.451 m³/h viene ripresa dagli ambienti a 35°C e rinviata attraverso la discenderia (69,3 m²), dove scorre ad una velocità di 1,3 m/s.

3.2.2 SISTEMA AD ACQUA

I bilanci termici sono illustrati nel doc. 1351-M-FN-A-03-1. 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 generazione, si tratta di acqua in uscita dalle turbine, che poi viene rilasciata nel 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-01-1.

Per il circuito primario, l'acqua di raffreddamento è prelevata dalla galleria idraulica 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, 950 m³/h. Sono previste n. 2 pompe aventi la suddetta portata in modo da averne sempre a disposizione una come riserva. La temperatura dell'acqua in arrivo sarà pari a 20 °C, mentre quella di restituzione sarà a 28 °C.
- Uno per il raffreddamento dell'unità 2, con organizzazione e dimensionamento identico a quello dell'unità 1

Ciascun sistema restituirà poi l'acqua nella galleria idraulica 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 33°C e restituzione a 41°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). 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; comunque, è opportuno che tale fatto si verifichi quando le unità funzionano in turbinaggio, perché in questa situazione viene utilizzata l'acqua proveniente dal bacino di monte, che si prevede sia leggermente più fredda.

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 del consumo di acqua sul secondario e, conseguentemente, si ridurrà il calore scambiato tramite gli scambiatori primario/secondario, senza bisogno di dotarli di termoregolazione.

Qualora invece, in fase esecutiva, si riscontrasse la necessità di effettuare una termoregolazione degli scambiatori di calore, 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.

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 1351-M-FN-D-02-1) prevede:

- Prelievo di aria (in prossimità del lago del Flumendosa) dall'esterno della galleria cavi e ventilazione della centrale e invio tramite appositi ventilatori verso la sala

macchine e la sottostazione elettrica; la galleria dovrà essere chiusa verso l'esterno e funge da condotta in pressione.

- All'arrivo presso il cunicolo di collegamento alla sottostazione sarà collocata una tamponatura con portone di transito e serrande motorizzate per la regolazione dell'aria da immettere nelle sottostazione stessa; i raffreddamenti della sottostazione sono previsti ad acqua, ma andrà comunque garantito un ricambio d'aria per evitare condense e garantire la salubrità dell'ambiente; nella sala macchine della centrale l'immissione potrà avvenire a piena sezione, superata la parzializzazione per la sottostazione, ma visto il lay-out sembra essere più conveniente ed efficace prevedere un sistema di canali in lamiera metallica con distribuzione nelle diverse parti. 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 dalla sottostazione avviene verso la sala macchine tramite il cunicolo di collegamento delle stesse senza apporti significativi di calore, mentre la restituzione dell'aria calda dalla sala macchine verso l'esterno avviene attraverso la discenderia a sezione piena; in tale galleria 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 percorso (al momento, ne sono previsti tre più uno di riserva).

I sistemi di trasporto dell'aria sono unificati per le unità di ventilazione, si è operato prevedendo quattro 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-01-1 ha valutato anche le dispersioni a centrale ferma e la necessità di mantenere in circolazione, in tale eventualità, una portata d'aria pari al 13,4% circa della massima.

Sempre a proposito del dimensionamento, la temperatura di arrivo dell'aria all'ambiente esterno (cioè a fine della discenderia) è stata valutata nelle peggiori condizioni nell'ordine dei 17,5° 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 la portata di ventilazione necessaria per lo smaltimento del calore corrisponde ad un ricambio di circa 3 vol/h, mentre per il locale della sottostazione la portata stimata corrisponde a un ricambio di 0,85 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 immisione libera in ogni locale ed estrazione pure libera dalla totalità dei locali, fatta salva la partizione per garantire la ventilazione della sottostazione; 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, 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. 4 (1 di riserva)
 - Spinta: 529 N cad.
 - Motore: a 4 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" 1351-M-FN-A-02-1 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