

## Fornitura di un impianto prototipale P-TES (Pumped Thermal Energy Storage) in scala di laboratorio, nell'ambito del progetto RECOVER.

### Documento descrittivo

#### 1. ASPETTI GENERALI

##### Premessa

- La Società Sotacarbo – Società Tecnologie Avanzate Low Carbon S.p.A., in qualità di soggetto proponente, ha presentato la propria candidatura per partecipare all'“Avviso pubblico per la manifestazione di interesse per la candidatura di idee progettuali da ammettere ad una procedura negoziale finalizzata al finanziamento di interventi di riqualificazione e rifunionalizzazione di siti per la creazione di ecosistemi dell'innovazione nel Mezzogiorno”, così come indicato dal Decreto n. 204/2021 dell'Agenzia per la Coesione Territoriale, per un progetto di riqualificazione di edifici minerari per la creazione di un polo di innovazione su idrogeno e combustibili verdi (denominato “RECOVER”).
- Con Decreto n. 214/2022 dell'Agenzia per la Coesione Territoriale il progetto di cui al punto precedente è risultato ammesso al terzo posto della graduatoria con un punteggio complessivo di 85 punti.
- In data 4 luglio 2022 il Soggetto Proponente ha trasmesso all'Agenzia per la Coesione Territoriale la “Convenzione per la concessione del contributo di cui all'art. 16 dell'Invito”, sottoscritta dallo stesso Soggetto Proponente e da tutti i Partner (Comune di Carbonia, Università degli Studi di Cagliari, Università degli Studi di Sassari, CRS4, IMI-Remosa, Università Degli Studi Della Campania Luigi Vanvitelli) nella quale:
  - l'Agenzia assegna il contributo pari a euro 12.000.000,00 (dodicimilioni/00) per l'attuazione del Progetto;
  - viene individuato il beneficiario del contributo assegnato nella compagine costituita dal Soggetto Proponente e dai Partner del progetto “RECOVER”;
  - i Partner conferiscono mandato collettivo speciale gratuito e irrevocabile al Soggetto Proponente, e per esso al suo Presidente e rappresentante legale pro-tempore, che è autorizzato a rappresentare in via esclusiva, anche processuale, i Partner nei confronti dell'Agenzia per la Coesione Territoriale e della Presidenza del Consiglio dei ministri per tutte le operazioni, gli atti di qualsiasi natura dipendenti dalla suddetta convenzione, fino alla estinzione di ogni rapporto.
- Ai sensi dell'allegato 3 al decreto 319/2021, invito alla presentazione dei progetti, la conclusione del progetto deve avvenire obbligatoriamente entro il 30.06.2026.
- Il Responsabile del progetto è l'ing. Alberto Pettinau.
- La Responsabile amministrativa del progetto è la dott.ssa Valentina Serra.
- Secondo l'art. 5.2 del regolamento acquisti Sotacarbo, tutti gli appartenenti alla Società possono manifestare l'esigenza all'acquisto di beni, servizi o lavori.
- Con ordine di servizio n. 5/24 l'ing. Alberto Pettinau, è stato nominato Responsabile Unico di Progetto (RUP) ai sensi dell'art. 15 del D.Lgs n. 36/2023 per l'esecuzione delle procedure selettive afferenti al progetto RECOVER.

- Il progetto RECOVER è finanziato dal Fondo sviluppo e coesione 2021-2027, riconducibile ai fondi complementari del PNRR.
- Con decisione di contrarre prot. n. 09/ACQ/24 del 02.05.2024, la Sotacarbo Spa ha deciso di avviare le procedure di affidamento per la fornitura di un impianto prototipale di accumulo termico dell'energia (P-TES, pumped thermal energy storage), in scala da laboratorio.

### 1.1 Scopo della fornitura

Il progetto RECOVER (Riqualificazione di Edifici minerari per la creazione di un polo di innovazione su idrogeno e COMbustibili VERdi) consiste nella riqualificazione di un edificio dismesso (ex ufficio tecnico) della Grande Miniera di Serbariu in Carbonia (SU), di proprietà del Comune di Carbonia (partner del progetto), al fine di creare un laboratorio avanzato – che operi in stretto coordinamento con il Centro Ricerche Sotacarbo – per lo sviluppo di tecnologie altamente trasferibili per la produzione di combustibili sostenibili: idrogeno verde e combustibili rinnovabili da esso derivati per la decarbonizzazione dei settori cosiddetti “hard-to-abate” (principalmente industria e trasporti pesanti).

L'obiettivo generale del progetto RECOVER è quello di:

- contribuire alla sicurezza del sistema energetico nazionale con lo sviluppo di tecnologie finalizzate ad assicurare una sempre maggiore autosufficienza energetica;
- contribuire allo sviluppo del territorio e del Paese attraverso attività di ricerca avanzata per la produzione di idrogeno verde e combustibili da fonti rinnovabili;
- dimostrare tecniche avanzate di riqualificazione energetica e di creazione di veri propri distretti energetici;
- favorire la nascita di start-up capaci di entrare nel mercato internazionale delle tecnologie di interesse;
- ottimizzare processi in modo da abbattere i costi di gestione della transizione energetica e contribuire all'arricchimento del patrimonio culturale della popolazione locale.

In particolare, il progetto vedrà una stretta collaborazione tra il settore della ricerca e quello dell'industria per lo sviluppo di tecnologie da immettere sul mercato internazionale nel breve e medio periodo, seguendo un modello organizzativo già consolidato nel quale le industrie coinvolgeranno imprese locali (aziende manifatturiere e piccole-medie imprese) per la realizzazione dei componenti impiantistici, sviluppati presso i nuovi laboratori, da esportare nel mercato mondiale.

L'edificio, una volta riqualificato dal punto di vista architettonico ed energetico, sarà adibito a laboratorio avanzato per lo sviluppo di tecnologie di produzione di idrogeno verde ed e-fuels. In particolare, coerentemente con le strategie europee e nazionali per la lotta ai cambiamenti climatici, si intendono realizzare dei laboratori di ricerca per lo sviluppo e la messa a punto di processi innovativi per la produzione di idrogeno verde da energia elettrica rinnovabile mediante processi elettrochimici e/o fotoelettrochimici, oppure da biomasse di scarto e/o rifiuti plastici attraverso processi di gassificazione.

Particolare attenzione sarà dedicata allo sviluppo delle tecnologie che consentono la produzione dei cosiddetti e-fuels (combustibili derivati da energia elettrica rinnovabile, anche attraverso i processi di riutilizzo della CO<sub>2</sub>). Gli e-fuels sono combustibili liquidi o gassosi, di origine sintetica, che consentono di trasformare l'energia elettrica rinnovabile in energia chimica. Essi possiedono caratteristiche del tutto simili a quelle dei corrispondenti combustibili tradizionali e questo li rende compatibili sia con l'esistente infrastruttura di trasporto, distribuzione e stoccaggio, sia con gli attuali sistemi di utilizzo finale.

Tra i vari laboratori che verranno realizzati, l'apparato sperimentale oggetto dell'appalto sarà inserito nel laboratorio di seguito descritto:

### 1.1.1 Laboratorio di Accumulo Termico

L'integrazione delle fonti energetiche rinnovabili (FER) non programmabili (eolica e solare in particolare) con sistemi di accumulo dell'energia è essenziale per la gestione razionale e intelligente dei sistemi energetici a fonti rinnovabili.

Come è noto, le molteplici tecnologie utili allo scopo sono di varia tipologia e caratteristiche in relazione ai diversi livelli di integrazione, sulla rete di trasmissione e distribuiti presso le utenze, al tipo di applicazione, a risposta in energia (pompaggio idraulico, CAES, batterie a stato solido e a flusso, ecc.), per compensare le eccedenze e i deficit di produzione rispetto alla domanda, e a risposta in potenza molto rapida (supercapacitori, SMES, volani a bassa e ad alta velocità, ecc.), per compensare le fluttuazioni istantanee lato produzione e lato domanda, di breve termine, a ciclo al più giornaliero, e di medio-lungo termine, a ciclo anche stagionale, con caratteristiche costitutive dipendenti dai requisiti di conservazione nel tempo dell'energia accumulata.

Un sistema di accumulo energetico innovativo di interesse per applicazioni di media potenza (0,1-10 MW, con capacità di accumulo fino a 40-400 MWh) è quello denominato "pumped thermal energy (electricity) storage" (PTES) (o pumped heat energy storage, PHES), in cui l'energia elettrica prodotta in eccesso viene accumulata previa trasformazione mediante un ciclo termodinamico inverso in energia termica a due diversi livelli di temperatura per poi essere ritrasformata in energia meccanica, e quindi elettrica, mediante un ciclo termodinamico diretto. I sistemi P-TES si dividono principalmente in due tecnologie: una per le elevate potenze basata sul ciclo Brayton operante con fluido gassoso (argon o aria sono solitamente proposti in letteratura) e livelli di temperatura molto ampi (temperature minime del ciclo anche dell'ordine di -70 °C e temperature massime del ciclo di 600-1000 °C) e una per potenze più basse basata su pompe di calore/motori ORC reversibili (ovvero su cicli Rankine con fluidi organici) con temperature massime inferiori a 200 °C.

Presso il laboratorio "Accumulo Termico" del Centro Ricerche in fase di realizzazione nell'ambito del progetto Recover verrà realizzato un impianto sperimentale su scala pilota basato sulla tecnologia P-TES a ciclo Rankine (pompa di calore e motore ORC) finalizzato allo studio delle potenziali applicazioni nelle micro-reti integrate con fonti rinnovabili in ambito civile e industriale.

### 1.2 Tipologia di procedura

L'affidamento avverrà mediante procedura del dialogo competitivo con applicazione del criterio dell'offerta economicamente più vantaggiosa individuata sulla base del miglior rapporto qualità prezzo.

La durata massima del procedimento è prevista pari a 7 (sette) mesi dalla pubblicazione del bando, salvo il verificarsi delle ipotesi di proroga previste all'articolo 1, commi 4 e 5, dell'allegato II.3 del codice).

Il luogo di installazione della fornitura è Carbonia (SU)[codice NUTS ITG2C].

I presupposti per il ricorso alla procedura di dialogo competitivo ai sensi degli artt. 70 e 74 del Codice sono da ritrovarsi nelle seguenti motivazioni:

- a) l'affidamento della citata fornitura non può essere soddisfatto con soluzioni immediatamente disponibili sul mercato;
- b) la progettazione e la realizzazione di un impianto prototipale di accumulo termico (P-TES), in scala pre-pilota, costituiscono attività che richiedono un elevato grado di know-how tecnologico e informatico;
- c) la realizzazione presenta caratteristiche altamente innovative che richiedono venga effettuata da parte di Operatori Economici altamente specializzati;
- d) la necessità di non precludersi la possibilità di raggiungere una platea più ampia di fornitori in grado di soddisfare le esigenze della Stazione Appaltante.

La presente procedura sarà interamente svolta tramite la piattaforma telematica accessibile all'indirizzo [www.sardegnaecat.it](http://www.sardegnaecat.it).

### 1.3 Finanziamento

L'appalto è finanziato con il Fondo sviluppo e coesione 2021-2027, con risorse riconducibili ai fondi complementari del PNRR di cui al Decreto del Direttore dell'Agenzia di Coesione Territoriale 215/2022 emesso in data 27.06.2022 con cui è stato finanziato il Progetto RECOVER - *Riqualificazione di Edifici minerari per la creazione di un polo di innovazione su idrogeno e COMbustibili VERdi* per un importo di € 12.000.000.

Trattandosi di risorse riconducibili ai fondi complementari del PNRR, nella presente procedura trovano applicazione i principi e gli obblighi specifici del PNRR relativamente al non arrecare un danno significativo agli obiettivi ambientali cd. "Do No Significant Harm" (d'ora in poi, "DNSH"), ai sensi dell'articolo 17 del Regolamento (UE) 2020/852 e del Consiglio del 18 giugno 2020, e, ove applicabili, ai principi trasversali, quali, tra l'altro, il principio del contributo all'obiettivo climatico e digitale (cd. Tagging), della parità di genere (Gender Equality), della protezione e valorizzazione dei giovani e del superamento dei divari territoriali; pertanto, l'aggiudicatario dovrà rispettare le normative e le prescrizioni relative e derivanti dalla fonte di finanziamento citata.

Si dà atto dell'assenza del cd. doppio finanziamento di cui all'art. 9 del regolamento UE n. 241/2021.

### 1.4 Durata

Le prestazioni oggetto dell'appalto devono essere eseguite nel termine complessivo di n. 180 giorni decorrenti dalla data di sottoscrizione del contratto.

La durata del contratto che regolerà i rapporti tra le parti potrà essere oggetto di negoziazione in fase procedurale in funzione delle soluzioni proposte dai candidati durante il dialogo.

### 1.5 Valore stimato e quadro delle risorse

Il valore complessivo stimato del contratto sarà definito dopo l'espletamento delle prime tre fasi procedurali del dialogo competitivo in esito alle risultanze delle stesse.

In questa fase, ai fini della definizione dei requisiti, si assume a riferimento il valore stimato pari a € 400.000,00 (IVA esclusa).

### 1.6 Descrizione fasi del dialogo

La procedura di dialogo sarà così articolata:

- **prima fase**, in cui la Stazione Appaltante riceverà le domande di partecipazione da parte degli operatori economici interessati al fine di verificarne i requisiti richiesti per l'ammissione (manifestazione di interesse e ammissione al dialogo dei candidati in possesso dei requisiti);
- **seconda fase**, in cui i partecipanti ammessi sono invitati, mediante apposita lettera di invito in cui verranno indicate le modalità del dialogo, a presentare, entro i termini indicati, la propria soluzione progettuale; la proposta dovrà essere presentata mediante gli elaborati indicati nel paragrafo 1.7.2 del presente documento.
- **terza fase**, in cui la Stazione Appaltante avvierà il vero e proprio dialogo con i candidati che hanno presentato una soluzione progettuale nella fase precedente. Si precisa che i concorrenti che, pur

essendo stati invitati alla seconda fase, non abbiano presentato soluzioni progettuali, non verranno invitati a questa fase di gara. Questa fase, nel caso in cui a conclusione delle precedenti fasi siano stati definiti tutti gli aspetti tecnici e contrattuali che definiscono la soluzione o le soluzioni che possano soddisfare le esigenze della Stazione Appaltante, si concluderà con l'individuazione della soluzione progettuale maggiormente rispondente alle esigenze della Stazione Appaltante, che sarà successivamente posta a base di gara.

- **quarta fase**, in cui, la Stazione Appaltante, dopo avere dichiarato concluso il dialogo e approvato il progetto della fornitura da porre a base di gara (eventualmente integrando aspetti inerenti a proposte differenti), la Stazione Appaltante procede, sulla base del progetto di fornitura individuato, a invitare, ai sensi dell'art. 74, comma 5, del Codice, i candidati ammessi a presentare le proprie offerte finali.

**La procedura sarà ritenuta valida anche in presenza di una sola istanza di partecipazione e/o di una sola soluzione progettuale, qualora ritenuta idonea alla conclusione del dialogo competitivo.**

La procedura di dialogo competitivo si concluderà anche nel caso in cui non sia stata individuata alcuna soluzione idonea. Nell'ipotesi che nessuna proposta sia ritenuta idonea in base alle finalità della Stazione Appaltante in relazione all'oggetto dell'affidamento, nessun obbligo residua nei confronti degli operatori che hanno presentato istanza di partecipazione e prodotto proposte.

La Stazione Appaltante si riserva in ogni caso di sospendere e/o interrompere in qualunque momento la procedura e/o di non procedere all'aggiudicazione e/o di revocarla, per sopravvenuti motivi di interesse pubblico, senza che i concorrenti possano per questo vantare diritti a rimborsi, indennizzi, compensi o risarcimenti.

Nel caso in cui la procedura di dialogo competitivo venga interrotta, ovvero nel caso in cui al termine della procedura di gara non venga individuato nessun operatore economico per la fornitura, la Stazione Appaltante potrà utilizzare le informazioni presentate dagli operatori economici partecipanti alla gara d'appalto nella eventualità di poter essere riutilizzati per procedure future.

**La documentazione prodotta dai soggetti concorrenti non sarà restituita.**

## **1.7 Modalità di svolgimento del dialogo competitivo**

### **1.7.1 Prima fase: avviso di indizione di gara e ammissione al dialogo dei candidati in possesso dei requisiti. Prequalifica.**

Manifestazione di interesse e ammissione al dialogo di tutti i candidati in possesso dei requisiti di qualificazione indicati nel presente avviso.

A seguito della pubblicazione del presente avviso, gli operatori economici interessati e in possesso dei requisiti generali e dei requisiti di capacità tecnica professionale, manifestano il loro interesse a partecipare alla procedura mediante la presentazione, nei termini indicati, della documentazione amministrativa, secondo le modalità di seguito stabilite.

La Stazione Appaltante, tramite apposito Seggio di gara, procederà all'apertura delle buste telematiche amministrative operando nel seguente modo:

- a) controlla la completezza della documentazione amministrativa presentata;
- b) verifica la conformità della documentazione amministrativa a quanto richiesto nel presente avviso;
- c) attiva (se del caso) la procedura di soccorso istruttorio.

- d) individua i concorrenti ammessi e gli eventuali esclusi dalla fase di dialogo e comunica a tutti gli operatori economici, che hanno manifestato il loro interesse a partecipare al dialogo competitivo, l'esito di tale manifestazione; i soli operatori economici ammessi saranno invitati a partecipare alla successiva fase di dialogo.

La Stazione Appaltante si riserva la facoltà di procedere alla successiva fase del dialogo anche in presenza di una sola domanda di partecipazione pervenuta e/o ammessa.

### **1.7.2 Seconda fase: invito a partecipare al dialogo e presentazione della soluzione progettuale**

Al termine della prima fase, gli operatori economici ammessi sono invitati, a presentare la propria proposta progettuale entro i termini e con le modalità indicate nell'invito.

La soluzione progettuale conterà dei seguenti documenti:

1. relazione tecnica illustrativa della fornitura richiesta con specifico riferimento a quanto contenuto nell'art. 2 "Aspetti tecnici" di cui al presente avviso;
2. proposta con l'indicazione dei costi associati alla fornitura;
3. ogni altra documentazione che il proponente ritenga opportuna per illustrare la propria proposta. Il mancato o tardivo invio della soluzione progettuale comporta l'esclusione del partecipante dalla procedura.

Ai fini del dialogo ciascun Operatore Economico dovrà produrre la seguente documentazione:

- A. Descrizione degli aspetti tecnici della soluzione progettuale proposta, contenente dettagli adeguati sia con riferimento all'impianto nel suo complesso sia alle singole sezioni di esso (Pompa di Calore, Accumulo di Energia Termica e Impianto Motore ORC, sistemi di misura e controllo).
- B. Descrizione dell'approccio metodologico seguito per garantire condizioni di esercizio agevoli e sicure dell'impianto proposto;
- C. Descrizione dei criteri che si seguiranno per il montaggio e la messa in esercizio ("commissioning") dell'impianto presso il laboratorio di accumulo termico del progetto RECOVER.

### **1.7.3 Terza fase: avvio del dialogo**

Il dialogo per la Stazione Appaltante verrà effettuato dal RUP **e/o da suoi collaboratori** che verranno successivamente individuati.

**Durante la fase di dialogo**, la Stazione Appaltante:

- potrà discutere con i candidati ammessi ogni singolo aspetto della soluzione proposta, al fine di individuare i mezzi e gli strumenti più idonei per soddisfare le proprie necessità e conseguire i propri obiettivi; il dialogo con i concorrenti ammessi si svolgerà su ogni aspetto della soluzione ritenuto necessario, ivi inclusa l'impostazione generale degli aspetti da sviluppare nella soluzione progettuale della fornitura da affidare, nonché ogni aspetto ritenuto meritevole di analisi e valutazione ai fini della realizzazione del progetto (comprese eventuali ipotesi migliorative e integrative).
- garantirà la parità di trattamento di tutti i partecipanti e non fornirà informazioni in maniera discriminatoria al fine di favorire taluni partecipanti rispetto ad altri;
- non rivelerà agli altri partecipanti le soluzioni proposte dai singoli candidati, né altre informazioni riservate, senza il consenso di questi ultimi;

- proseguirà il dialogo fino a individuare la soluzione più adatta al soddisfacimento delle proprie esigenze;
- potrà motivatamente dare atto che nessuna delle soluzioni proposte è rispondente alle esigenze e agli obiettivi sottesi alla procedura, senza che i concorrenti possano in tal caso pretendere alcun indennizzo o risarcimento.
- potrà avvenire sia in forma scritta sia in forma orale, sia individualmente che collegialmente.

Il dialogo competitivo si svolgerà con consultazioni separate tra i candidati ammessi; di ciascun incontro sarà redatto un verbale sintetico.

Questa fase si concluderà con l'individuazione della soluzione progettuale (eventualmente formata anche integrando aspetti inerenti a proposte differenti, ai sensi dell'art 74 c. 5 del D.Lgs. 36/2023) maggiormente rispondente alle esigenze della Stazione Appaltante e che sarà successivamente posta a base di gara. In tal senso, la partecipazione alla gara comporta il formale assenso all'utilizzo, a tale limitato fine, dei dati e delle informazioni contenute nelle proposte stesse, ad eccezione di quelle coperte da diritti di proprietà intellettuale (diritto d'autore, privativa industriale, brevetto, ecc.).

Nel caso in cui sia stata presentata una sola soluzione progettuale, qualora ritenuta idonea a seguito di definizione del suo contenuto, non si procederà alla successiva fase di gara per l'impossibilità di effettuare un confronto tra più operatori economici.

La Stazione Appaltante potrà decidere di non procedere con la gara se nessuna soluzione sia ritenuta soddisfacente alle proprie finalità in relazione all'oggetto dell'affidamento senza che i partecipanti possano reclamare alcun indennizzo o risarcimento.

Nel contesto del dialogo sarà discussa con ogni singolo concorrente la soluzione proposta dallo stesso, con particolare riferimento ai seguenti aspetti, qui menzionati a titolo indicativo ma non esaustivo:

- impostazione generale sugli aspetti da sviluppare nel progetto;
- tipologia del sistema di controllo che intendono adottare;
- tipologia delle strumentazioni e dei principali sottosistemi;
- materiali costruttivi utilizzati;
- descrizione delle procedure delle fasi di montaggio e del commissioning.

La conclusione della fase del dialogo è prevista indicativamente entro 2 (mesi) mesi dall'inizio delle consultazioni, salvo necessità di proroga dovuta all'andamento delle consultazioni.

Nessun premio o incentivo è previsto in favore dei partecipanti al dialogo.

La conclusione sarà comunicata a ciascuno dei candidati ammessi e pubblicata sul profilo del committente e sulla piattaforma.

#### **1.7.4 Quarta Fase: invito a presentare le offerte finali.**

##### **Presentazione offerta, valutazione delle offerte ammesse e aggiudicazione**

Si tratta della fase di competizione vera e propria, finalizzata alla richiesta e valutazione delle offerte finali dei concorrenti e all'individuazione dell'operatore economico.

##### **1.7.4.1 Invito**

La Stazione Appaltante invierà agli operatori economici ammessi al dialogo apposita lettera di invito nella quale saranno specificate le modalità di partecipazione e di formulazione dell'offerta, la documentazione



richiesta, i termini per la presentazione delle offerte. Ciascun operatore economico dovrà produrre, entro il termine perentorio indicato nella lettera di invito, tutta la documentazione (amministrativa, tecnica, economica) espressamente richiesta all'interno della lettera di invito.

#### 1.7.4.2 Ammissione

Non saranno ammesse offerte presentate da soggetti diversi da quelli che hanno partecipato alla Fase 1, alla Fase 2 e alla Fase 3 della procedura di dialogo competitivo.

#### 1.7.4.3 Presentazione delle offerte

L'offerta finale dei concorrenti da presentare nell'ambito di questa fase del dialogo competitivo dovrà essere corredata da una garanzia provvisoria ai sensi dell'art. 106 del Codice, come meglio indicato nella Lettera di invito. Nell'ambito di questa fase, inoltre, i concorrenti, a pena di esclusione, dovranno effettuare il pagamento del contributo in favore dell'ANAC e presentare la ricevuta comprovante la dimostrazione dell'avvenuto pagamento.

#### 1.7.4.4 Commissione

Le operazioni di gara saranno espletate da una Commissione giudicatrice nominata dalla Stazione Appaltante, ai sensi dell'art. 93 del Codice, dopo la scadenza del termine di presentazione delle offerte.

#### 1.7.4.5 Criterio di aggiudicazione

L'aggiudicazione avverrà secondo il criterio dell'offerta economicamente più vantaggiosa individuata sulla base del miglior rapporto qualità/prezzo, ai sensi dell'art. 108, comma 2, lett. c) del Codice, sulla base dei criteri di valutazione dell'offerta riportati nell'allegato "Criteri di valutazione".

**Si specifica che la Stazione Appaltante si riserva di integrare e definire nel dettaglio i suddetti criteri di valutazione dell'offerta tecnica finale, che saranno definitivamente indicati nella lettera di invito, nel rispetto dei principi di concorrenza e non discriminazione.**



### 1.8 Planimetria del laboratorio Accumulo Termico.

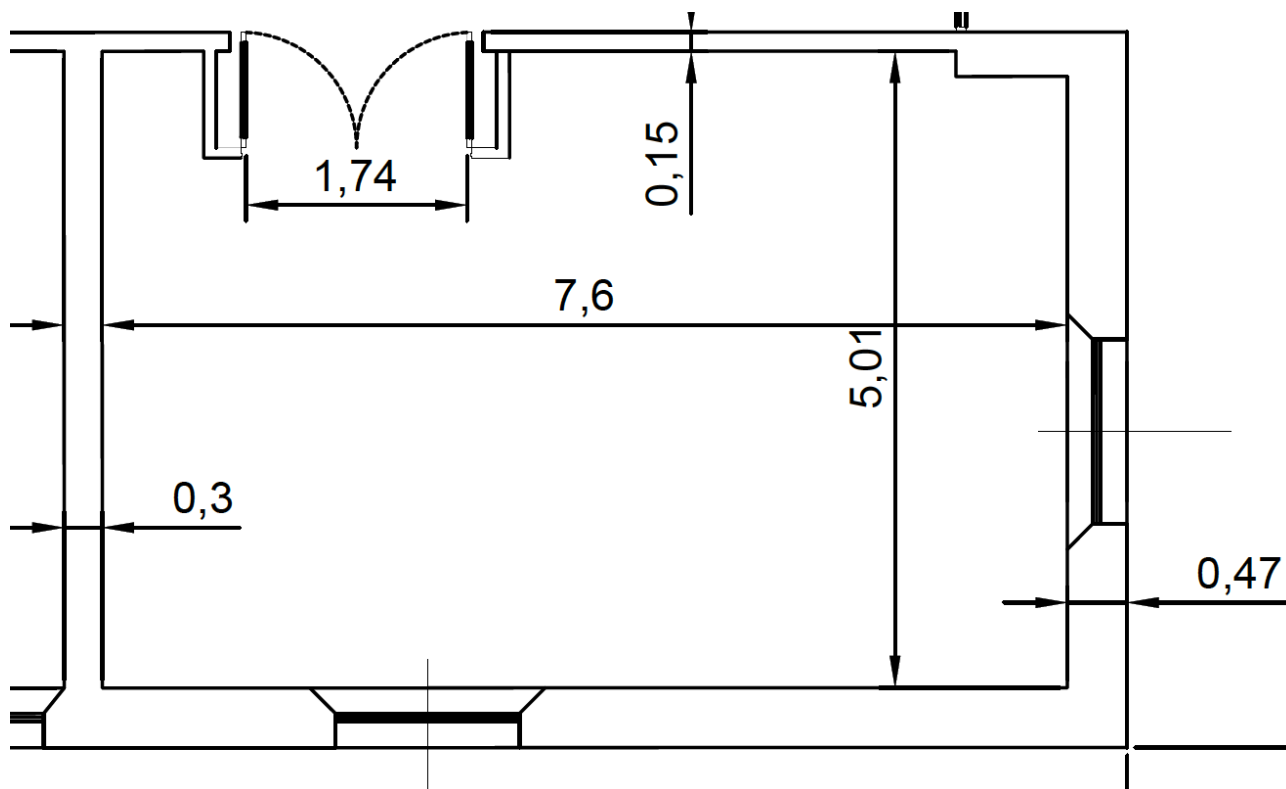


Figura 1 - Stralcio progetto recupero ex ufficio tecnico Grande Miniera di Serbariu – Laboratorio Accumulo Termico

Il laboratorio Accumulo Termico ha una superficie di 5,01 m x 7,6 m per un'altezza di 3,7 m.

### 1.9 Requisiti speciali di qualificazione dell'Operatore Economico.

Aver eseguito, nel quinquennio precedente la data di pubblicazione del bando, una o più forniture analoghe. Per fornitura analoga si intende l'aver fornito impianti di conversione termochimica o accumulo dell'energia, anche in scala di laboratorio, con indicazione, per ciascun incarico, del periodo di esecuzione e dei relativi corrispettivi percepiti.

La comprova del requisito è fornita mediante uno o più dei seguenti documenti:

- certificati rilasciati dall'amministrazione/ente contraente, con l'indicazione dell'oggetto, dell'importo e del periodo di esecuzione;
- contratti stipulati con le amministrazioni pubbliche, completi di copia delle fatture quietanzate ovvero dei documenti bancari attestanti il pagamento delle stesse;
- attestazioni rilasciate dal committente privato, con l'indicazione dell'oggetto, dell'importo e del periodo di esecuzione;
- contratti stipulati con privati, completi di copia delle fatture quietanzate ovvero dei documenti bancari attestanti il pagamento delle stesse.

### 1.10 Sopralluogo

È facoltativo il sopralluogo nei laboratori del Centro Ricerche Recover, siti presso la Grande Miniera di Serbariu a Carbonia (SU) - Italia. Il sopralluogo può essere utile per determinare gli spazi a disposizione per l'installazione delle apparecchiature oggetto dell'appalto.

Il sopralluogo può essere effettuato accedendo di persona nelle aree oggetto dell'intervento o a distanza, previa autorizzazione della Stazione Appaltante.

## 2. ASPETTI TECNICI

### 2.1 Descrizione generale dell'impianto

La Figura 2 illustra lo schema di processo dell'impianto P-TES, nel quale sono evidenziate le tre sezioni principali (Pompa di Calore, Accumulo di Energia Termica e Impianto Motore ORC), con i rispettivi componenti e circuiti principali.

Nel complesso, l'impianto di accumulo P-TES risulta pertanto composto da:

**SEZIONE 1 – POMPA DI CALORE.** La pompa di calore a compressione frigorifera, basata su un ciclo Rankine inverso, viene utilizzata per innalzare la temperatura di un fluido termovettore accumulato in seguito nel serbatoio caldo.

**SEZIONE 2 – ACCUMULO DI ENERGIA TERMICA.** La sezione di accumulo termico è essenzialmente costituita da quattro serbatoi e ha la funzione di accumulare l'energia termica prodotta dalla pompa di calore durante la fase di carica e alimentare la sezione di generazione elettrica durante la fase di scarica. Il fluido utilizzato sarà acqua pressurizzata a 3 bar.

**SEZIONE 3 – IMPIANTO MOTORE ORC.** La sezione di generazione elettrica utilizza l'energia termica prodotta dalla pompa di calore durante la fase di carica ed è basata su un impianto a ciclo Rankine eseguito da un fluido organico (Organic Rankine Cycle, ORC) integrato con una sezione di raffreddamento dell'acqua del condensatore che utilizza refrigeratori a secco.

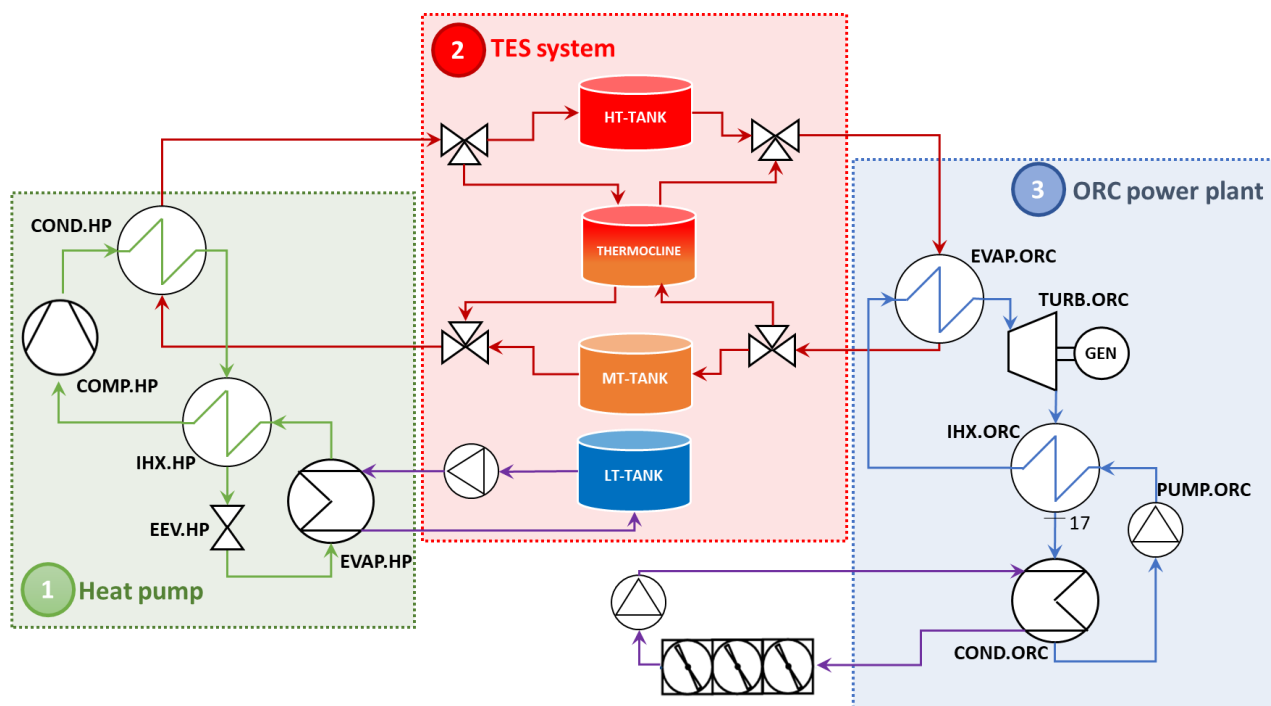


Figura 2 – Schema di processo dell'impianto P-TES.

La Tabella 1 riporta i principali dati caratteristici dell'impianto in condizioni nominali. La pompa di calore opererà durante la fase di carica utilizzando energia elettrica per l'azionamento del compressore (COMP.HP) ed energia termica a bassa temperatura all'evaporatore (EVAP.HP). La pompa di calore assorbirà una potenza

elettrica di 29 kW in condizioni nominali. La potenza termica per l'evaporazione del fluido organico circolante nel circuito della pompa di calore verrà fornita mediante la circolazione di acqua, accumulata in un serbatoio a bassa temperatura (LT-TANK) dotato di riscaldatore elettrico di potenza sufficiente per effettuare il preriscaldamento dell'acqua alla temperatura di almeno 80°C entro 4 ore.

Tabella 1 - Principali dati caratteristici e prestazioni del sistema di accumulo PTES in condizioni di progetto.

<b>SEZIONE 1 – Pompa di Calore</b>	
Potenza termica prodotta al COND.HP	117 kW <sub>t</sub>
Temperatura acqua ingresso/uscita COND.HP	100/120°C
Portata acqua circolante nel COND.HP	1.35 kg/s
Potenza elettrica assorbita	29 kW
Potenza termica fornita al EVAP.HP	90 kW <sub>t</sub>
COP - coefficiente di prestazione minimo	4.0
<b>SEZIONE 2 - Accumulo termico</b>	
Numero serbatoi	4
Volume serbatoi MT-TANK/HT-TANK	11 m <sup>3</sup>
Capacità di accumulo termico in modalità doppio serbatoio	230 kWh
Volume serbatoio Termoclino	11 m <sup>3</sup>
Capacità di accumulo termico in modalità termoclino	455 kWh
Volume serbatoio LT-TANK	6 m <sup>3</sup>
<b>SEZIONE 3 – Impianto motore ORC</b>	
Potenza elettrica netta	10 kW
Potenza termica ingresso modulo ORC	115 kW <sub>t</sub>
Temperatura acqua ingresso/uscita EVAP.ORB	120/100 °C
Portata acqua EVAP.ORB	1.35 kg/s
Rendimento netto modulo ORC	> 8%
Potenza termica al circuito di raffreddamento	104 kW <sub>t</sub>

La potenza termica utile rilasciata al condensatore COND.HP sarà di circa 117 kW<sub>t</sub>, che verranno utilizzati per riscaldare il fluido termovettore (acqua) accumulato nel serbatoio a media temperatura (MT-TANK) dalla temperatura di circa 100°C fino alla temperatura di 120°C. Il fluido termovettore verrà poi accumulato nel serbatoio ad alta temperatura (HT-TANK). Complessivamente, la pompa di calore dovrà garantire, in condizioni nominali, un coefficiente di prestazione (COP) minimo pari a 4. Durante la fase di scarica, il fluido termovettore accumulato nel serbatoio caldo verrà utilizzato come sorgente calda da fornire all'evaporatore dell'impianto motore ORC per la generazione di energia elettrica e successivamente accumulato nuovamente nel serbatoio MT-TANK. La potenza termica in ingresso all'impianto ORC in condizioni nominali sarà pari a 115 kW<sub>t</sub> (in modo da garantire una durata dei tempi di carica e scarica simile) per una potenza elettrica netta di circa 10 kW, ovvero un rendimento del modulo almeno pari all'8% in condizioni nominali. La potenza rilasciata al condensatore (COND.ORB) verrà smaltita mediante un circuito di raffreddamento ad acqua collegato con degli aerotermi.

In alternativa alla modalità a “doppio serbatoio”, ovvero l’accumulo del fluido termovettore in due serbatoi a diversa temperatura (HT-TANK e MT-TANK), verrà studiata la modalità a singolo serbatoio a termoclino con accumulo a materiale a cambiamento di fase (phase change material, PCM).

In Figura 3 viene mostrato uno stralcio della planimetria dell’edificio con la disposizione delle varie sezioni di impianto. La pompa di calore e l’impianto motore ORC dovranno essere installati all’interno del laboratorio “Accumulo Termico”, mentre all’esterno saranno installati i diversi serbatoi di accumulo termico. All’esterno andranno anche installati il torrino di raffreddamento aria-acqua (dry-cooler) per il raffreddamento del condensatore del motore ORC e le pompe di circolazione del fluido termovettore.

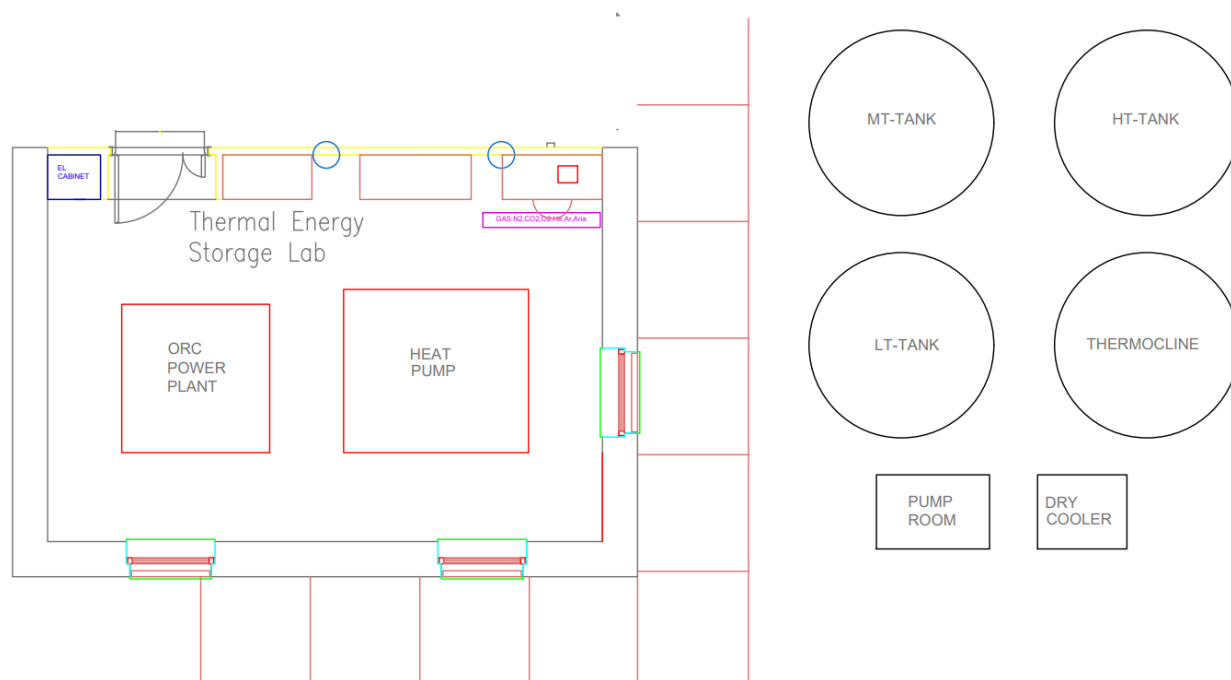


Figura 3 – Layout dell’impianto di accumulo di energia P-TES.

## 2.2 Specifiche tecniche della fornitura

Il presente paragrafo contiene le principali specifiche tecniche applicabili alla fornitura e alla posa in opera presso il laboratorio “Accumulo Termico” del Centro Ricerche Recover delle diverse sezioni dell’impianto di accumulo di energia P-TES. Nella fattispecie, le prescrizioni tecniche relative all’intero impianto di accumulo PTES sono state disaggregate nelle cinque specifiche tecniche principali, relative alla pompa di calore, all’impianto motore ORC, alla sezione di raffreddamento dell’acqua, ai serbatoi di accumulo e al sistema di distribuzione del fluido termovettore (piping).

### 2.2.1 Specifiche tecniche della pompa di calore

Nel seguito sono riportate le specifiche tecniche applicabili alla fornitura e alla posa in opera presso il laboratorio di “Accumulo Termico” del Centro Ricerche Recover della pompa di calore ad alta temperatura

integrata nell'impianto di accumulo P-TES. La pompa di calore riceve energia elettrica ed energia termica prodotta sotto forma di acqua a 80°C dal serbatoio a bassa temperatura (LT-TANK), e la converte in energia termica a più elevata entalpia.

La pompa di calore produce, in condizioni nominali, una potenza termica pari a circa 117 kW<sub>t</sub> sotto forma di acqua pressurizzata a 3 bar che si riscalda da 100°C a 120°C ricevendo in ingresso una potenza elettrica di 29 kW e una potenza termica di circa 90 kW<sub>t</sub> sotto forma di acqua calda che si raffredda da 80°C a circa 62°C.

Col termine "Pompa di calore ad alta temperatura" si intende un sistema di produzione di energia termica a temperature maggiori di 100°C mediante un sistema che opera secondo un ciclo Rankine inverso. A titolo di esempio si riporta in Figura 4 una configurazione impiantistica semplificata e il ciclo termodinamico seguito dal fluido operativo in tali sistemi. Il fluido operativo, solitamente un fluido a elevata massa molare e complessità molecolare, entra nel compressore nelle condizioni di vapore surriscaldato alla pressione minima del ciclo (punto 1 in Figura 4) e viene compresso fino a raggiungere la pressione massima (punto 2). Il fluido entra quindi nel condensatore dove viene desurriscaldato e fatto condensare, cedendo calore al fluido termovettore incrementandone la temperatura. Il fluido operativo entra quindi in uno scambiatore di calore interno (punto 3) dove viene ulteriormente raffreddato (punto 4) e di seguito in una valvola di laminazione dove avviene una caduta di pressione isoentalpica fino alla pressione minima del ciclo (punto 5). Il fluido entra nel vaporizzatore in condizione di vapore umido, dove completa la sua vaporizzazione mediante cessione di calore da parte di una sorgente esterna ed esce in condizioni di vapore saturo (punto 6). Il fluido operativo viene quindi preriscaldato mediante un recupero interno di calore fino riportarsi nuovamente alle condizioni iniziali.

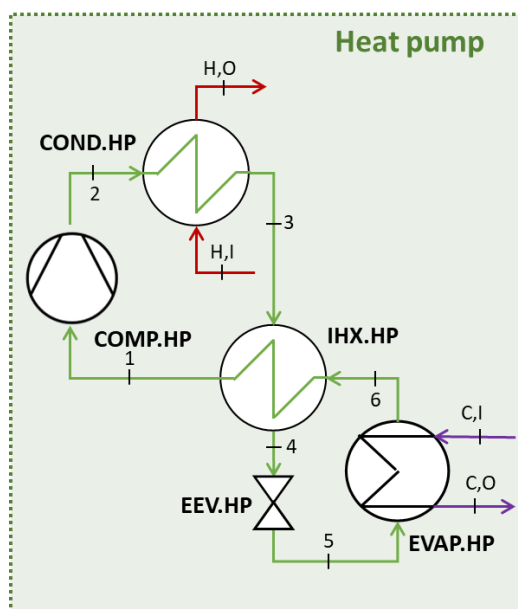
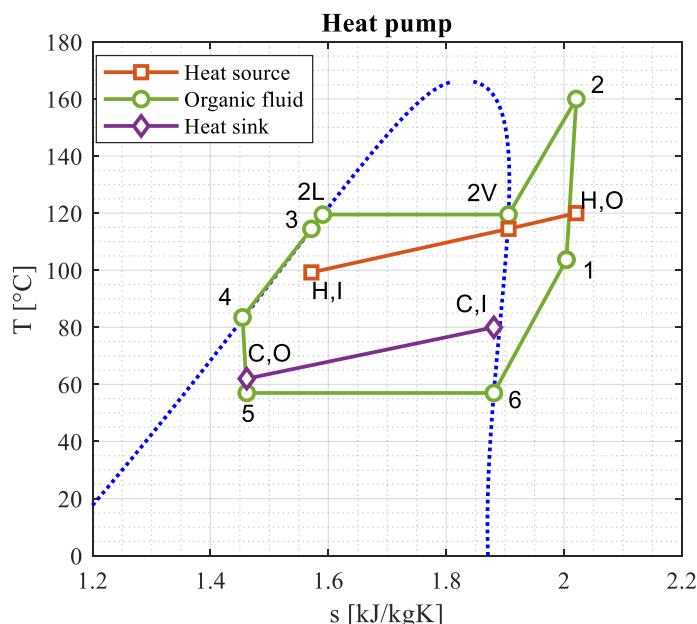


Figura 4 – Configurazione impiantistica ed esempio di ciclo termodinamico seguito da una pompa di calore.



La Tabella 2 riporta le specifiche tecniche minime della pompa di calore riferite alle condizioni nominali così come valutate in sede di progetto definitivo.

Tabella 2 – Specifiche tecniche minime della pompa di calore in condizioni nominali.

Pozzo Caldo (COND.HP)	
Potenza termica in uscita	117 kW <sub>t</sub>

Temperatura dell'acqua in ingresso ( $T_{H,I}$ )	100°C
Temperatura dell'acqua in uscita ( $T_{H,O}$ )	120°C
Portata volumetrica di acqua	5 m <sup>3</sup> /h
<b>Pozzo Freddo (EVAP.HP)</b>	
Potenza termica in ingresso	90 kW <sub>t</sub>
Portata volumetrica di acqua	4.4 m <sup>3</sup> /h
Temperatura dell'acqua in ingresso ( $T_{C,I}$ )	80°C
Temperatura dell'acqua in uscita ( $T_{C,O}$ )	62°C
<b>Altre specifiche</b>	
Potenza elettrica assorbita	29 kW
Innalzamento termico	40°C
Coefficiente di prestazione - COP	4.0
Differenza di temperatura minima negli scambiatori di calore	5°C

Con riferimento ai dati riportati nella Tabella 2, la potenza elettrica assorbita è rappresentata dalla potenza elettrica misurata ai morsetti della sezione di alimentazione, la potenza termica in ingresso è rappresentata dal prodotto della portata massica dell'acqua di alimento per la differenza di entalpia fra l'ingresso e l'uscita dell'evaporatore della pompa di calore, mentre la potenza termica rilasciata al condensatore è rappresentata dal prodotto della portata massica di acqua per la differenza di entalpia fra l'ingresso e l'uscita del condensatore della pompa di calore. L'innalzamento termico è definito come la differenza di temperatura tra l'acqua in uscita dal condensatore e l'acqua in ingresso all'evaporatore mentre il coefficiente di prestazione, o COP, è definito dal rapporto tra la potenza termica in uscita e la potenza elettrica assorbita. La potenza elettrica assorbita dalla pompa di calore di 29 kW è stata determinata in corrispondenza di un COP della pompa di calore pari a 4.0, conseguibile con impianti della taglia in esame e caratterizzati da un innalzamento della temperatura di 40°C. Il consumo elettrico include, oltre alla potenza assorbita dal compressore, anche altri assorbimenti elettrici interni (strumentazione, elettrovalvole, etc.). La potenza termica all'evaporatore, pari a circa 90 kW<sub>t</sub> viene introdotta attraverso una portata d'acqua di alimento di 4.4 m<sup>3</sup>/h con una riduzione di temperatura di 18°C (da 80 a 62°C). Corrispondentemente a una portata di acqua circolante nel condensatore in condizioni di progetto di 5 m<sup>3</sup>/h, la potenza termica rilasciata al condensatore sarà pari a circa 117 kW<sub>t</sub>, con conseguente incremento della temperatura dell'acqua di 20°C (da 100°C a 120°C). Si fa presente che tali prestazioni sono state calcolate considerando una differenza di temperatura minima negli scambiatori pari a 5°C. Nei sistemi di accumulo P-TES è infatti fondamentale ridurre al minimo le irreversibilità prodotte durante le fasi di scambio termico al fine di massimizzare i rendimenti di round-trip.

La pompa di calore dovrà essere progettata per operare all'interno di un locale chiuso, ventilato e non polveroso, con una temperatura interna compresa fra 5°C e 40°C. Il sistema dovrà essere preassemblato in fabbrica e montato su di una apposita piattaforma adatta a essere installata all'interno di un locale avente dimensioni pari a 7.5 metri di larghezza per 5.3 metri di lunghezza e 3.75 metri di altezza. Complessivamente la pompa di calore dovrà avere una superficie di ingombro massima di circa 6 m<sup>2</sup> (2.5 m di lunghezza e 2.5 m di larghezza). Tutte le connessioni idrauliche della pompa di calore dovranno essere dotate di valvola di intercettazione e flangiate. Le connessioni dell'acqua sia lato condensatore che lato evaporatore della pompa di calore dovranno avere diametro DN50 e pressione nominale PN16. Le carpenterie della pompa di calore dovranno essere verniciate a polvere e provviste di un isolamento termico in materiale isolante idoneo a mantenere la temperatura superficiale entro i valori imposti dalla normativa di riferimento (EN-ISO 13732-1, DPR 412). Ogni tubazione interna alla pompa di calore dovrà essere individuata da apposita targhetta

metallica con indicato il verso del flusso del fluido di lavoro. Il sistema di alimentazione dovrà essere trifase, con frequenza in uscita di 50 Hz e tensione nominale di 400 V.

La potenza termica prodotta e, quindi, la potenza elettrica assorbita dalla pompa di calore dovrà essere modulabile mediante la variazione della portata d'acqua di alimento al condensatore fissata una temperatura in uscita desiderata. Il motore elettrico del compressore dovrà essere dotato di regolatore della velocità di rotazione mediante inverter per assicurare un rendimento di macchina pressoché costante. La potenza termica in uscita dalla pompa di calore dovrà essere regolabile almeno fra il 40% e il 100% del valore nominale. Al 40% del carico termico nominale e con temperatura di ingresso dell'acqua all'evaporatore di 80°C, il COP della pompa di calore in condizioni stazionarie dovrà risultare almeno pari a 2.5. La pompa di calore dovrà essere in grado di operare con temperature dell'acqua di alimento all'evaporatore diverse da quelle di progetto (80°C all'ingresso). La temperatura dell'acqua in ingresso all'evaporatore potrà variare fra 60°C e 90°C.

L'impianto dovrà essere dotato di un sistema di acquisizione dati e visualizzazione dei principali parametri operativi e prestazionali interfacciato con il sistema di acquisizione dati delle altre sezioni dell'impianto P-TES. In particolare, dovranno essere misurate, visualizzate e registrate con una risoluzione temporale di massimo 1 secondo, le pressioni e le temperature dell'acqua all'ingresso e all'uscita sia del condensatore che dell'evaporatore, del fluido organico all'ingresso e all'uscita degli scambiatori di calore, del compressore e della valvola di laminazione. Inoltre, dovranno essere misurate, visualizzate e registrate con la stessa risoluzione temporale la frequenza, la tensione e la potenza elettrica assorbita dal sistema. In condizioni di emergenza, la pompa di calore dovrà funzionare in modalità completamente automatica senza la necessità di alcuna supervisione da parte del personale. In caso di malfunzionamento o di condizioni di pericolo, la pompa di calore dovrà portarsi in condizioni di sicurezza e disconnettersi in automatico dalla rete elettrica. Dovrà essere inoltre previsto un sistema di visualizzazione degli allarmi da parte dell'operatore nonché di archiviazione degli stessi. L'impianto deve essere telecommandabile e telegestibile da remoto tramite piattaforma appositamente sviluppata (inclusa).

L'impianto, nei suoi componenti e nel suo insieme, dovrà essere progettato e realizzato in accordo alle vigenti norme, direttive e regolamenti, nazionali e sovranazionali. Si richiamano, a titolo indicativo e non esaustivo, la Direttiva Macchine 2006/42/CE, la Direttiva PED 2014/68/CE, il codice di prevenzione incendi e il D.Lgs.81/08 ss.mm.ii. L'impianto dovrà essere corredato dalle relative certificazioni e dichiarazioni di conformità a tutte le normative applicabili, nonché dei manuali d'uso e di manutenzione. Si dovrà fornire certificazione di un livello di pressione sonora massimo della pompa di calore misurato a una distanza di 10 metri e con l'impianto funzionante in condizioni nominali inferiore ai 65 dB(A).

Le dimensioni, la tipologia, i materiali e le modalità di collegamento e montaggio dei diversi componenti della pompa di calore che scaturiranno dalla progettazione esecutiva potranno differire rispetto a quanto sopra riportato ferma restando la necessità di assicurare un funzionamento efficiente e in condizioni di sicurezza dell'impianto di accumulo P-TES in accordo alle finalità operative previste (analisi delle prestazioni del sistema P-TES in diverse condizioni operative, sviluppo di logiche di controllo intelligenti ecc.).

### **2.2.2 Soluzione tecnica migliorativa**

Si propone di considerare, quale soluzione tecnica migliorativa di configurazione della pompa di calore per l'applicazione in esame, quella che deriva dall'introduzione di uno scambiatore di calore dedicato al sotto-raffreddamento del fluido organico in uscita dal condensatore (denominato sub-cooler) come mostrato in



Figura 5. Nelle pompe di calore, spesso caratterizzate da salti di temperatura dell'ordine di 15-20°C, il sotto-raffreddamento è molto limitato (dell'ordine di qualche °C) e avviene all'interno del condensatore stesso. Nel caso in esame, date le condizioni di portata d'acqua circolante nel condensatore in condizioni nominali, temperatura dell'acqua in ingresso e temperatura desiderata in uscita, il fluido organico potrebbe subire un sotto-raffreddamento dalle condizioni di saturazione dell'ordine dei 15°C. A titolo di esempio, sempre la Figura 5 mostra la variazione del ciclo termodinamico seguito dal fluido operativo della pompa di calore con l'introduzione di un sub-cooler rispetto al ciclo mostrato in Figura 4. Tale ciclo potrebbe garantire un COP di circa 5.

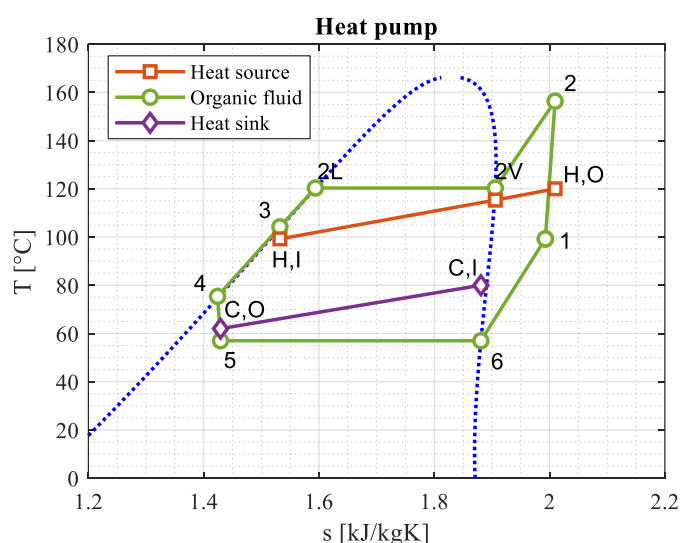
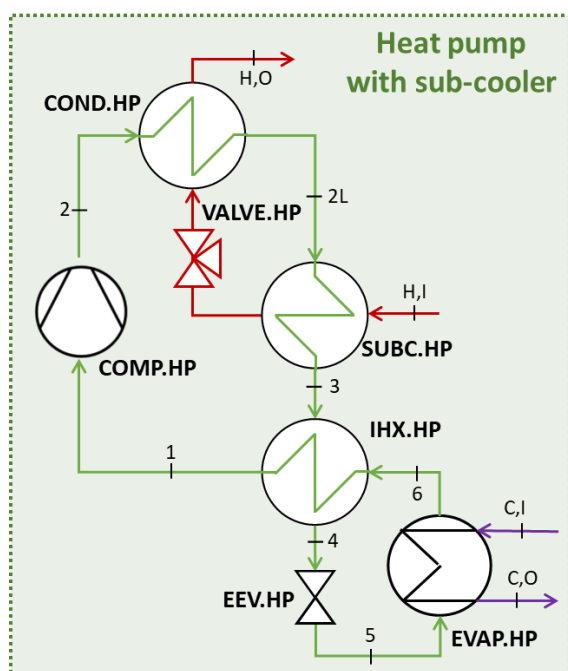


Figura 5 – Configurazione d'impianto ed esempio di ciclo termodinamico seguito da una pompa di calore con la presenza di un sub-cooler

Se opportunamente dimensionato, il sotto-raffreddamento potrebbe avvenire all'interno dello stesso condensatore. Tuttavia, la presenza di uno scambiatore dedicato al sotto-raffreddamento porterebbe a una gestione dello scambio termico più accurata, con scambiatori ottimizzati per un trasferimento di calore liquido-liquido e conseguenti vantaggi da un punto di vista energetico. Inoltre, come viene mostrato in Figura 5, la presenza di due scambiatori di calore distinti potrebbe portare a un ulteriore miglioramento del processo di scambio termico con l'introduzione di una valvola a tre vie nel circuito dell'acqua pressurizzata. In questo modo si potrebbe gestire il sistema P-TES in modo da far circolare nel sub-cooler una portata d'acqua inferiore rispetto a quella che circola nel condensatore, così da ridurre ulteriormente le perdite exergetiche del sistema e incrementare le prestazioni dell'intero sistema di accumulo P-TES.

La presente soluzione tecnica non deve essere intesa come obbligatoria per il soddisfacimento delle specifiche minime di progetto ma verrà valutata positivamente durante la fase di valutazione delle offerte e di aggiudicazione del bando.

### 2.2.3 Consistenza della fornitura

I limiti di batteria della pompa di calore con il resto del sistema di accumulo energetico P-TES sono rappresentati dalle flange di ingresso e di uscita dell'acqua al condensatore, dalle flange di ingresso e di uscita

dell'acqua all'evaporatore, dalla morsettiera elettrica e dalla morsettiera del sistema di regolazione e controllo.

Lo scopo della fornitura di cui alla presente specifica tecnica è pertanto costituito dalla progettazione esecutiva (fino all'ottenimento delle autorizzazioni all'uso), la fornitura, la posa in opera e primo avviamento della pompa di calore integrata in un sistema di accumulo P-TES e pertanto include: gli scambiatori per la condensazione e la vaporizzazione del fluido operativo, eventualmente uno scambiatore di calore interno rigenerativo (in relazione alla scelta del fluido operativo) e uno scambiatore per il sotto-raffreddamento (vedi paragrafo precedente), il compressore ed il motore elettrico, la valvola di espansione, il fluido operativo, il piping, i cablaggi, i quadri interni e di bordo macchina, la strumentazione di misura, il software per il controllo e la regolazione e quant'altro necessario a garantire che il sistema sia realizzato secondo la regola dell'arte. La fornitura include altresì la progettazione esecutiva e tutta la documentazione eventualmente necessaria per l'espletamento delle pratiche nei confronti degli Enti competenti relative alla realizzazione e alla messa in esercizio dell'impianto.

La fornitura include il trasporto delle apparecchiature e dei materiali in sito, l'assemblaggio della pompa di calore per dare l'opera finita e a regola d'arte ai limiti di batteria, la verniciatura e la finitura di tutte le parti che compongono la fornitura, i collaudi e le prove idrauliche in officina e in sito. Più nel dettaglio, la fornitura include la documentazione completa della pompa di calore fra cui in particolare quella relativa a: dimensionamento termomeccanico, disegni di dettaglio e di insieme, schemi di montaggio, schemi elettrici, libretto d'uso e manutenzione con esplicito elenco delle parti di ricambio e degli interventi di manutenzione raccomandati, elenco delle parti soggette a usura, lista della strumentazione, dichiarazioni di conformità CE per le apparecchiature e gli strumenti installati, certificazioni su prove e controlli. Inoltre, nella fornitura è incluso anche l'addestramento del personale preposto alla gestione operativa dell'impianto. Il corso di addestramento avrà una durata minima di 1 giorno e comprenderà l'illustrazione delle procedure di esercizio, manutenzione, ricerca e riparazione di guasti e malfunzionamenti.

### 2.3 Specifiche tecniche impianto motore ORC

Nel seguito sono riportate le specifiche tecniche applicabili alla fornitura e alla posa in opera presso il laboratorio "Accumulo Termico" del Centro Ricerche Recover dell'impianto motore ORC integrato nell'impianto di accumulo P-TES. Il modulo ORC riceve l'energia termica, prodotta sotto forma di acqua pressurizzata a 120°C dal serbatoio ad alta temperatura (HT-TANK), e la converte parzialmente in energia elettrica. Il modulo ORC produce, in condizioni nominali, una potenza elettrica lorda di circa 11 kW, cui corrisponde una potenza elettrica netta di circa 10 kW, ricevendo in ingresso una potenza termica di circa 115 kW<sub>t</sub> sotto forma di acqua pressurizzata a 3 bar che si raffredda da circa 120°C a circa 100°C.

Un impianto ORC (Organic Rankine Cycle) opera secondo un ciclo termodinamico Rankine e utilizza un fluido operativo a elevata massa molare e a basso salto entalpico specifico che consente di convertire l'energia termica in ingresso in energia meccanica. A titolo di esempio si riporta in Figura 6 una configurazione impiantistica semplificata e il ciclo termodinamico seguito dal fluido organico all'interno di un impianto motore ORC dotato di rigeneratore. Il fluido operativo in pressione e allo stato liquido (punto 1) viene, se presente, dapprima preriscaldato in uno scambiatore rigenerativo (punto 2) mediante il parziale raffreddamento dello stesso fluido operativo uscente dalla turbina, portato in condizioni di liquido saturo e poi vaporizzato mediante il raffreddamento dell'acqua di alimento. Il vapore così prodotto (punto 3) espande quindi in un espansore collegato meccanicamente al generatore elettrico. All'uscita dell'espansore il fluido

operativo (punto 4), che si trova ancora allo stato di vapore, viene raffreddato nel rigeneratore (punto 5), riportato allo stato liquido nel condensatore (punto 0) e poi compresso mediante una pompa.

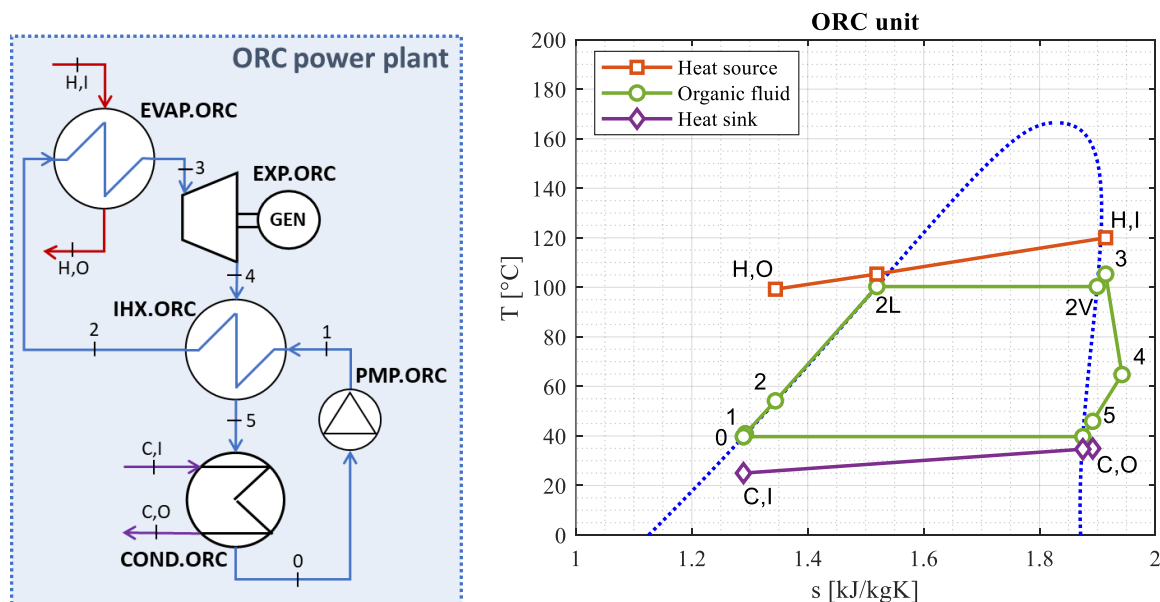


Figura 6 – Configurazione impiantistica ed esempio di ciclo termodinamico da un impianto motore ORC.

La Tabella 3 riporta le specifiche tecniche minime dell'impianto motore ORC riferite alle condizioni nominali così come valutate in sede di progetto definitivo.

Tabella 3 – Specifiche tecniche minime dell'impianto motore ORC.

<b>Pozzo Caldo (EVAP.ORB)</b>	
Potenza termica ingresso	115 kW <sub>t</sub>
Temperatura dell'acqua in ingresso	120 °C
Temperatura dell'acqua in uscita	100°C
Portata volumetrica di acqua	5 m <sup>3</sup> /h
<b>Pozzo Freddo (COND.ORB)</b>	
Potenza termica al condensatore	104 kW <sub>t</sub>
Temperatura dell'acqua in ingresso	25°C
Temperatura dell'acqua in uscita	35°C
Portata volumetrica di acqua	9 m <sup>3</sup> /h
<b>Altre specifiche</b>	
Potenza elettrica lorda	11 kW
Consumi elettrici interni	1 kW
Potenza elettrica netta	10 kW
Rendimento lordo modulo ORC	9.7%
Rendimento netto modulo ORC	8.7%

Con riferimento ai dati riportati nella Tabella 3, la potenza elettrica lorda, o nominale, è rappresentata dalla potenza elettrica misurata ai morsetti del generatore elettrico. La potenza elettrica netta è la potenza lorda decurtata dei consumi elettrici interni del modulo ORC. La potenza termica in ingresso è rappresentata dal prodotto della portata massica dell'acqua di alimento per la differenza di entalpia fra l'ingresso e l'uscita dell'evaporatore dell'impianto motore ORC, mentre la potenza termica asportata dal condensatore è rappresentata dal prodotto della portata massica di acqua di raffreddamento per la differenza di entalpia fra l'uscita e l'ingresso del condensatore dell'impianto motore ORC. Il rendimento lordo del modulo ORC è definito dal rapporto fra la potenza elettrica lorda e la potenza termica in ingresso, mentre il rendimento netto del modulo ORC è definito dal rapporto fra la potenza elettrica netta e la potenza termica in ingresso; i rendimenti lordo e netto del modulo ORC sono quindi determinati al netto delle perdite del generatore elettrico.

La potenza termica in ingresso al modulo ORC di 115 kW<sub>t</sub> è stata determinata in corrispondenza di un rendimento lordo del modulo del 9.7%, conseguibile con impianti della taglia in esame e caratterizzati da temperature dell'acqua in ingresso di circa 120°C. Corrispondentemente a una temperatura di uscita di 100°C, la portata di acqua richiesta in condizioni di progetto è di 1.35 kg/s (il calore specifico medio considerato in sede di progettazione definitiva è di 4.23 kJ/kgK). La potenza termica al condensatore, pari a circa 104 kW<sub>t</sub>, viene asportata attraverso una portata d'acqua di raffreddamento di circa 9 m<sup>3</sup>/h con un incremento di temperatura di 10°C (da 25 a 35°C). Al netto degli assorbimenti elettrici interni (pompa fluido operativo, strumentazione, elettrovalvole, etc.), valutati pari a 1 kW, la potenza elettrica netta è pari a 10 kW, cui corrisponde un rendimento netto del modulo ORC del 8.7%. Si fa presente che tali prestazioni sono raggiunte impostando una differenza di temperatura minima negli scambiatori pari a 5°C. Nei sistemi di accumulo P-TES è infatti fondamentale ridurre al minimo le irreversibilità prodotte durante le fasi di scambio termico al fine di massimizzare i rendimenti di round-trip.

L'impianto motore ORC dovrà essere progettato per operare all'interno di un locale chiuso, ventilato e non polveroso, con una temperatura interna compresa fra 5°C e 40°C. Il modulo dovrà essere preassemblato in fabbrica e montato su di una apposita piattaforma adatta a essere installata all'interno di un locale avente dimensioni pari a 7.5 metri di larghezza per 5.3 metri di lunghezza e 3.75 metri di altezza. Complessivamente l'impianto motore ORC dovrà avere una superficie di ingombro massima di 4 m<sup>2</sup> (2 metri di lunghezza e 2 metri di larghezza). Le flange delle tubazioni di ingresso e di uscita dell'acqua di alimento avranno dimensioni DN50 con pressione nominale PN16. Le flange di ingresso e di uscita dell'acqua di raffreddamento del condensatore avranno dimensioni DN50 e pressione nominale PN16. Le carpenterie dell'impianto motore ORC dovranno essere verniciate a polvere e provviste di un isolamento termico in materiale isolante idoneo a mantenere la temperatura superficiale entro i valori imposti dalla normativa di riferimento (EN-ISO 13732-1, DPR 412). Il generatore elettrico dovrà essere di tipo asincrono trifase, con frequenza in uscita di 50 Hz e tensione nominale di 400 V. La potenza elettrica prodotta dall'impianto motore ORC può essere modulata mediante la variazione della portata d'acqua di alimento (con conseguente variazione della potenza termica in ingresso). La potenza termica in ingresso al modulo ORC dovrà essere regolabile almeno fra il 40% e il 100% del valore nominale. Al 40% del carico termico nominale e temperatura dell'acqua in ingresso al condensatore di 25°C, l'impianto motore ORC dovrà assicurare un rendimento elettrico netto almeno pari al 4% (potenza elettrica netta almeno pari a 1.85 kW). L'impianto motore ORC dovrà essere in grado di operare con temperature dell'acqua di raffreddamento diverse da quelle di progetto (25°C all'ingresso e 35°C

all'uscita) in relazione alla variazione della temperatura dell'aria ambiente. La temperatura dell'acqua di raffreddamento inviata all'impianto motore ORC potrà variare fra 10°C e 40°C.

L'impianto dovrà essere dotato di un sistema di acquisizione dati e visualizzazione dei principali parametri operativi e prestazionali interfacciabile con il sistema di acquisizione dati delle altre sezioni dell'impianto PTES. In particolare, dovranno essere misurate, visualizzate e registrate con una risoluzione temporale di massimo 1 secondo le pressioni e le temperature dell'acqua all'ingresso e all'uscita dell'evaporatore, dell'acqua di raffreddamento all'ingresso e all'uscita del condensatore, del fluido organico all'ingresso e all'uscita degli scambiatori di calore, dell'espansore, del condensatore e della pompa. Inoltre, dovranno essere misurate, visualizzate e registrate con la stessa risoluzione temporale la frequenza, la tensione e la potenza prodotta e la potenza assorbita dagli ausiliari. In condizioni di emergenza, l'impianto motore ORC dovrà funzionare in modalità completamente automatica senza la necessità di alcuna supervisione da parte del personale. In caso di malfunzionamento o di condizioni di pericolo, il modulo ORC dovrà portarsi in condizioni di sicurezza e disconnettersi in automatico dalla rete elettrica. Dovrà essere inoltre previsto un sistema di visualizzazione degli allarmi da parte dell'operatore nonché di archiviazione degli stessi. L'impianto deve essere telecontrollabile e telegestibile da remoto tramite piattaforma appositamente sviluppata (inclusa).

L'impianto, nei suoi componenti e nel suo insieme, deve essere progettato e realizzato in accordo alle vigenti norme, direttive e regolamenti, nazionali e sovranazionali. Si richiamano, a titolo indicativo e non esaustivo, la Direttiva Macchine 2006/42/CE, la Direttiva PED 2014/68/CE, il codice di prevenzione incendi ed il D.Lgs.81/08 ss.mm.ii. L'impianto dovrà essere corredato dalle relative certificazioni e dichiarazioni di conformità a tutte le normative applicabili, nonché dei manuali d'uso e di manutenzione. Si dovrà inoltre fornire certificazione di un livello di pressione sonora massimo dell'impianto motore ORC misurato a una distanza di 10 metri e con l'impianto funzionante in condizioni nominali inferiore ai 65 dB(A).

Le dimensioni, la tipologia, i materiali e le modalità di collegamento e montaggio dei diversi componenti dell'impianto motore ORC che scaturiranno dalla progettazione esecutiva potranno differire rispetto a quanto sopra riportato ferma restando la necessità di assicurare un funzionamento efficiente e in condizioni di sicurezza dell'impianto di accumulo P-TES in accordo alle finalità operative previste (analisi delle prestazioni del sistema P-TES in diverse condizioni operative, sviluppo di logiche di controllo intelligenti ecc.).

### **2.3.1 Soluzione tecnica migliorativa**

In analogia a quanto proposto come possibile soluzione migliorativa per la pompa di calore, si propone anche per l'impianto motore ORC l'introduzione di uno scambiatore di calore dedicato per il preriscaldamento del fluido organico. Come illustrato in *Figura 7*, tale soluzione permetterebbe, oltre ad un design ottimizzato per un trasferimento di calore liquido-liquido, anche la possibilità di integrare nel circuito dell'acqua una valvola a tre vie che permetterebbe di ridurre la portata d'acqua circolante nel preriscaldatore. In questo modo si otterrebbe una maggior aderenza tra la curva di preriscaldamento ed evaporazione del fluido organico con quella di raffreddamento del fluido termovettore, con conseguente riduzione delle perdite exergetiche e miglioramento delle prestazioni dell'intero sistema di accumulo PTES. La presente soluzione tecnica non deve essere intesa come obbligatoria per il soddisfacimento delle specifiche minime di progetto ma verrà valutata positivamente durante la fase di valutazione delle offerte e di aggiudicazione del bando.

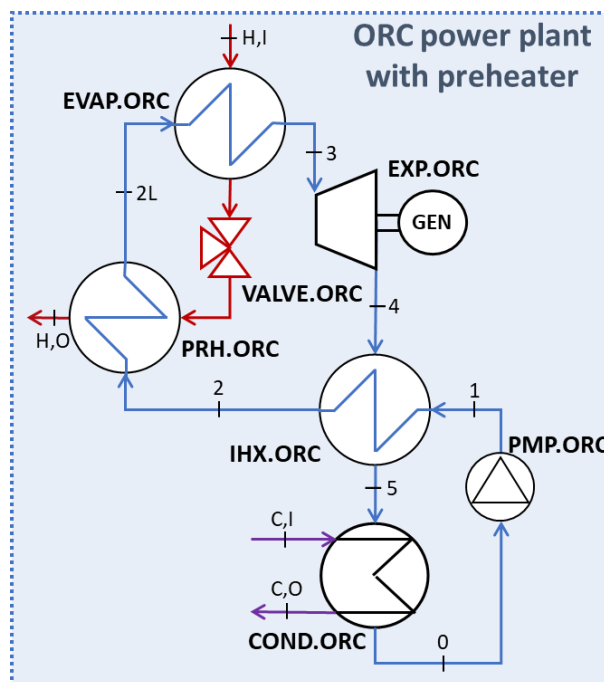


Figura 7 - Configurazione d'impianto di un impianto motore ORC con la presenza di un preriscaldatore e di una valvola a tre vie ausiliaria.

### 2.3.2 Consistenza della fornitura

I limiti di batteria dell'impianto motore ORC con il resto del sistema di accumulo energetico P-TES sono rappresentati dalle flange di ingresso e di uscita dell'acqua di alimento dell'evaporatore, dalle flange di ingresso e di uscita dell'acqua di raffreddamento del condensatore, dalla morsettiera elettrica e dalla morsettiera del sistema di regolazione e controllo.

Lo scopo della fornitura di cui alla presente specifica tecnica è pertanto costituito dalla progettazione esecutiva (fino all'ottenimento delle autorizzazioni all'uso), dalla fornitura la posa in opera e primo avviamento dell'impianto motore ORC integrato in un sistema di accumulo P-TES e pertanto include: gli scambiatori per il riscaldamento e la vaporizzazione del fluido operativo, eventualmente uno scambiatore rigenerativo in relazione alla scelta del fluido operativo, l'espansore, il generatore elettrico, il condensatore, la pompa, nonché il fluido operativo stesso, il piping, i cablaggi, i quadri interni e di bordo macchina, la strumentazione di misura, il software per il controllo e la regolazione e quant'altro necessario a garantire che il sistema sia realizzato secondo la regola dell'arte. La fornitura include altresì la progettazione esecutiva e tutta la documentazione eventualmente necessaria per l'espletamento delle pratiche nei confronti degli Enti competenti relative alla realizzazione ed alla messa in esercizio dell'impianto.

La fornitura include il trasporto delle apparecchiature e dei materiali in sito, l'assemblaggio del modulo ORC per dare l'opera finita e a regola d'arte ai limiti di batteria, la verniciatura e la finitura di tutte le parti che compongono la fornitura, i collaudi e le prove idrauliche in officina e in sito. Più nel dettaglio, la fornitura include la documentazione completa dell'impianto ORC fra cui in particolare quella relativa a: dimensionamento termomeccanico, disegni di dettaglio e di insieme, schemi di montaggio, schemi elettrici, libretto d'uso e manutenzione con esplicito elenco delle parti di ricambio e degli interventi di manutenzione raccomandati, elenco delle parti soggette ad usura, lista della strumentazione, dichiarazioni di conformità CE

per le apparecchiature e gli strumenti installati, certificazioni su prove e controlli. Inoltre, nella fornitura è incluso anche l'addestramento del personale preposto alla gestione operativa dell'impianto. Il corso di addestramento avrà una durata minima di 1 giorno e comprenderà l'illustrazione delle procedure di esercizio, manutenzione, ricerca e riparazione di guasti e malfunzionamenti.

## 2.4 Specifiche tecniche sezione di refrigerazione dell'acqua

Nel seguito sono riportate le specifiche tecniche applicabili alla fornitura e posa in opera presso il laboratorio "Accumulo Termico" della sezione di refrigerazione dell'acqua integrata nell'impianto di accumulo P-TES. La sezione di refrigerazione dell'acqua dovrà dissipare una potenza termica nominale di circa 104 kW<sub>t</sub> attraverso il raffreddamento da 35°C a 25°C di una portata d'acqua di 9 m<sup>3</sup>/h.

La sezione di raffreddamento dell'acqua dell'impianto di accumulo P-TES oggetto della presente specifica tecnica ha la funzione di dissipare l'energia termica di scarico del modulo ORC, disponibile sotto forma di acqua di raffreddamento del condensatore. L'acqua all'uscita del condensatore viene raffreddata in circuito chiuso mediante una batteria di refrigeratori e ricircolata al condensatore. I refrigeratori dell'acqua operano a secco (Dry Air Coolers) impiegando scambiatori di calore con tubi alettati, nei quali l'acqua viene raffreddata mediante circolazione forzata di aria. La circolazione dell'aria avviene attraverso l'utilizzo di ventilatori, mentre quella dell'acqua è operata mediante una pompa di circolazione. Il refrigeratore dell'acqua dovrà essere installato all'aperto, su appositi supporti antivibranti, sopra un basamento in adiacenza all'edificio che ospita l'impianto motore ORC. Il sistema di refrigerazione potrà avere sviluppo orizzontale o verticale a seconda del layout di impianto ritenuto più compatto in sede di progettazione esecutiva, nel rispetto degli spazi tecnici minimi prescritti dal costruttore per le operazioni di ispezione e manutenzione. La pompa di circolazione dell'acqua dovrà essere installata all'interno di un apposito locale pompe adiacente all'edificio. La sezione di refrigerazione dell'acqua è dotata di un sistema di controllo e monitoraggio che ne garantisce il funzionamento in condizioni di efficienza e di sicurezza.

La Tabella 4 riporta le specifiche tecniche essenziali della sezione di refrigerazione dell'acqua così come valutate in sede di progetto definitivo.

Tabella 4 – Specifiche tecniche dei refrigeratori d'acqua a secco in condizioni di progetto e nominali di prova della norma UNI EN 1048.

Potenza termica al circuito di raffreddamento	104 kW <sub>t</sub>
<b>Condizioni di progetto</b>	
Temperatura ingresso/uscita acqua	35/25 °C
Portata d'acqua al refrigeratore	9 m <sup>3</sup> /h
Temperatura ingresso aria	20 °C
Portata d'aria refrigeratore (DT 10 °C)	32000 m <sup>3</sup> /h
Perdite di carico lato acqua (V=9 m <sup>3</sup> /h)	90 kPa
Potenza elettrica assorbita dai ventilatori (η <sub>VENT</sub> =75%; ΔP=250 Pa)	3 kW
Potenza el. Ass. dal circ. (η <sub>PUMP+MOTOR+CONV.</sub> =60%; ΔP=90kPa; V=9 m <sup>3</sup> /h)	370 W
<b>Condizioni UNI EN 1048</b>	
Temperatura ingresso/uscita acqua	40/35 °C
Portata d'acqua al refrigeratore	18 m <sup>3</sup> /h
Temperatura ingresso aria	25 °C
Portata d'aria refrigeratore (DT 10 °C)	32000 m <sup>3</sup> /h
Perdite di carico lato acqua (V=18 m <sup>3</sup> /h)	200 kPa
Potenza elettrica assorbita dai ventilatori (η <sub>VENT</sub> =75%; ΔP=250 Pa)	3 kW



Potenza el. Ass. dal circ. ( $\eta_{\text{PUMP}+\text{MOTOR}+\text{CONV.}}=60\%$ ;  $\Delta P=200\text{ kPa}$ ;  $V=18\text{ m}^3/\text{h}$ )

1700 W

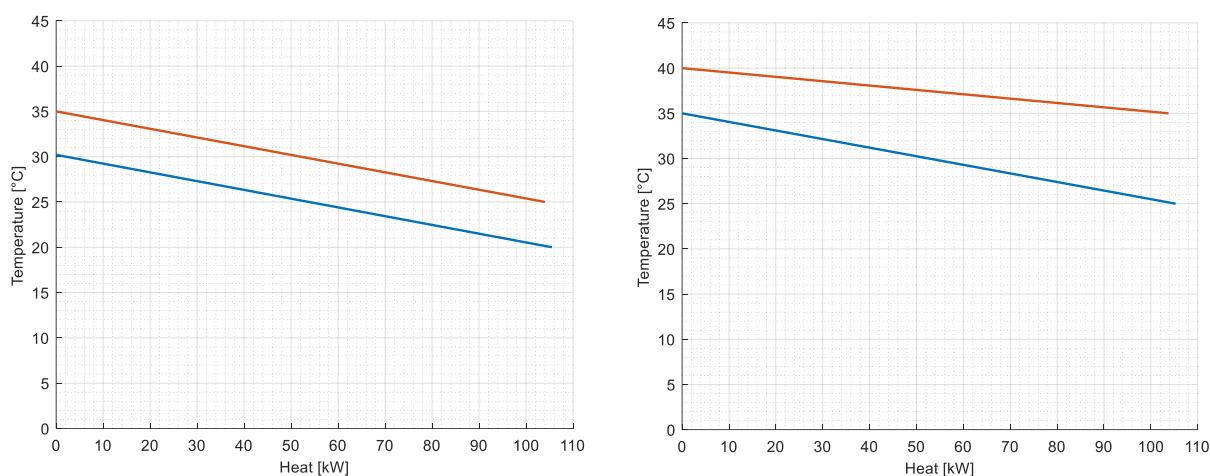


Figura 8 – Diagrammi di scambio termico in condizioni di progetto e secondo UNI EN 1048.

Tali specifiche sono riferite sia alle condizioni di progetto che alle condizioni nominali di prova della norma UNI EN 1048, la quale stabilisce che le potenze termiche delle apparecchiature di refrigerazione dell'acqua a secco siano riferite ad una differenza di temperatura dell'acqua fra ingresso e uscita ( $DT_w$ ) di 5 °C (acqua entrante a 40 °C e uscente a 35 °C) e a una temperatura dell'aria ambiente di 25 °C, cosicché la differenza di temperatura fra acqua in ingresso e aria in ingresso ( $DT$ ) è di 15 °C. Le condizioni di progetto della sezione di refrigerazione dell'acqua del modulo ORC prevedono invece una diminuzione di temperatura dell'acqua di 10 °C, una temperatura media dell'aria di 20 °C e una differenza di temperatura fra acqua in ingresso e aria in ingresso di 15 °C. A titolo di esempio, si riportano in *Figura 8* le curve di scambio termico nelle due condizioni analizzate. La potenza termica nominale di Tabella 4 è stata valutata attraverso l'utilizzo dei fattori di correzione forniti dai costruttori ed è quindi conforme alla UNI EN 1048 (ovvero riportata a  $DT_w=5^\circ\text{C}$  e  $DT=15^\circ\text{C}$ ).

I refrigeratori sono realizzati con tubazioni in rame provviste di alette in alluminio. La pressione massima di progetto dei tubi è di 12 bar. La struttura dei refrigeratori è realizzata in acciaio zincato con verniciatura a polvere. I ventilatori sono di tipo assiale, provvisti di griglie di protezione e azionati da un motore elettrico. Il refrigeratore dell'acqua verrà installato all'aperto e ancorato su un basamento in calcestruzzo. Nel circuito sarà installata una pompa di circolazione. Le perdite di carico nel circuito di refrigerazione sono state valutate, considerando un coefficiente di sicurezza di 1.25, pari a circa 90 kPa in condizioni di progetto ( $\Delta P_{\text{tubazioni}}=12\text{ kPa}$ ;  $\Delta P_{\text{DRY COOLER}}=30\text{ kPa}$ ;  $\Delta P_{\text{ORC}}=30\text{ kPa}$ , in relazione alle quali la prevalenza della pompa di circolazione dell'acqua di refrigerazione sarà pari a circa 10 m.c.a. La pompa di circolazione dell'acqua è una elettropompa centrifuga, con rendimento nominale dell'80% e una potenza elettrica assorbita di 370 W controllabile mediante inverter. La pressione massima di esercizio è 16 bar mentre il campo di temperatura è compreso fra -30 °C e +140 °C.

Le tubazioni di collegamento fra i refrigeratori e l'impianto motore ORC dovranno essere in acciaio senza saldature, con rivestimento esterno in polietilene, con giunzioni saldate, classe di pressione PN16, diametro esterno DN50 e lunghezza complessiva di circa 15 m. Tutti i collegamenti idraulici con l'impianto motore ORC dovranno essere isolati utilizzando materiale a celle chiuse di adeguato spessore. Gli attacchi idraulici alla

sezione di refrigerazione dovranno essere flangiati e dotati di valvole di intercettazione. Dovranno essere interposti manicotti flessibili sulle tubazioni idrauliche in modo da ridurre al minimo la trasmissione delle vibrazioni. Il circuito idraulico dovrà includere inoltre i necessari giunti, raccordi, collettori e supporti. Sono inoltre incluse le valvole di intercettazione a monte e a valle delle pompe, del modulo ORC e del refrigeratore.

La sezione di refrigerazione dell'acqua dovrà operare in modalità completamente automatica senza la necessità di alcuna supervisione da parte del personale, sia in condizioni di normale esercizio sia in condizioni di emergenza. In tal senso, la pompa di circolazione e i ventilatori dei refrigeratori dell'acqua devono regolare automaticamente le condizioni di funzionamento al variare della potenza termica da dissipare e delle condizioni ambientali. La sezione di refrigerazione deve essere in grado di regolare la potenza termica dissipata almeno fra il 40% e il 100% della potenza nominale.

L'impianto dovrà essere strumentato con un livello minimo pari a quello riportato nel layout di impianto, dotato di un sistema di acquisizione dati e visualizzazione dei principali parametri operativi e prestazionali interfacciabile con il sistema di acquisizione dati delle altre dell'impianto di accumulo P-TES. In particolare, dovranno essere misurate, visualizzate e registrate con risoluzione temporale di almeno 1 secondo la portata e le temperature dell'acqua all'ingresso e all'uscita del condensatore, nonché la potenza assorbita dai ventilatori e dalla pompa di circolazione.

Tutti i componenti del sistema di refrigerazione dell'acqua devono essere progettati e realizzati in accordo alle vigenti normative tecniche (UNI, EN, ISO, etc.). I refrigeratori e le pompe dovranno essere progettati e realizzati in accordo alle vigenti Direttive Europee in materia, fra cui in particolare la Direttiva Macchine 2006/42/CE, la Direttiva 2004/108/CE sulla compatibilità elettromagnetica e la Direttiva 2006/95/CE sulle apparecchiature in bassa tensione. Le tubazioni dovranno rispondere alle UNI EN 10204, EN 10220 e UNI EN 10224. Della rispondenza alle sopracitate normative dovranno essere fornite le relative dichiarazioni di conformità.

Le dimensioni, la tipologia, i materiali e le modalità di collegamento e montaggio dei diversi componenti della sezione di refrigerazione dell'acqua che scaturiranno dalla progettazione esecutiva potranno differire rispetto a quanto sopra riportato ferma restando la necessità di assicurare un funzionamento efficiente, compatibile con le normative ambientali vigenti e in condizioni di sicurezza dell'impianto di accumulo P-TES in accordo alle finalità operative previste (analisi delle prestazioni del sistema P-TES in diverse condizioni operative, sviluppo di logiche di controllo intelligenti ecc.).

#### **2.4.1 Consistenza della fornitura**

I limiti di batteria della sezione di refrigerazione dell'acqua con il resto dell'impianto di accumulo P-TES sono rappresentati dalle flange di ingresso e di uscita dell'acqua dal condensatore dell'impianto motore ORC, dalla morsettiera elettrica e dalla morsettiera del sistema di regolazione e controllo.

Lo scopo della fornitura di cui alla presente specifica tecnica è pertanto costituito dalla progettazione esecutiva (fino all'ottenimento delle autorizzazioni all'uso), dalla fornitura, la posa in opera e primo avviamento del sistema di refrigerazione dell'acqua di raffreddamento del condensatore di un impianto ORC e include: i refrigeratori d'acqua a secco, le pompe di circolazione, il piping, i cablaggi, i quadri interni e di bordo macchina, la strumentazione di misura, il software per il controllo e la regolazione e quant'altro necessario a garantire che il sistema sia realizzato secondo la regola dell'arte. La fornitura include altresì la

progettazione esecutiva e tutta la documentazione eventualmente necessaria per l'espletamento delle pratiche nei confronti degli Enti competenti relative alla realizzazione ed alla messa in esercizio dell'impianto. La fornitura include inoltre la progettazione esecutiva e la documentazione completa della sezione di refrigerazione dell'acqua, con particolare riferimento a quella relativa a: dimensionamento termomeccanico, disegni di dettaglio e di insieme, schemi di montaggio, schemi elettrici, elenco delle parti di ricambio raccomandate con prezzi e tempi di consegna, elenco delle parti soggette a usura, lista della strumentazione, manuali di uso e manutenzione, dichiarazioni di conformità CE per le apparecchiature e gli strumenti installati, certificazioni su prove e controlli. La fornitura include altresì tutta la documentazione eventualmente necessaria per l'espletamento delle pratiche nei confronti degli Enti competenti relative alla realizzazione ed all'esercizio dell'impianto.

La fornitura include il trasporto delle apparecchiature e dei materiali in sito, l'assemblaggio dell'impianto per dare l'opera finita ai limiti di batteria, la verniciatura e la finitura di tutte le parti che compongono la fornitura, i collaudi e le prove idrauliche in officina e in sito. Inoltre, nella fornitura è incluso anche l'addestramento del personale preposto alla gestione operativa dell'impianto. Il corso di addestramento avrà una durata minima di 1 giorno e comprenderà l'illustrazione delle procedure di esercizio, manutenzione, ricerca e riparazione di guasti e malfunzionamenti.

## 2.5 Specifiche tecniche sezione di accumulo termico

Nel seguito sono riportate le specifiche tecniche applicabili alla fornitura e alla posa in opera presso il laboratorio "Accumulo Termico" del Centro Ricerche Recover della sezione di accumulo termico integrata nell'impianto di accumulo energetico P-TES. La sezione di accumulo termico è costituita da quattro serbatoi e ha la funzione di accumulare l'energia termica prodotta dalla pompa di calore durante la fase di carica e alimentare l'impianto motore ORC durante la fase di scarica. Tale sezione dovrà essere installata in un locale interrato posizionato e progettato secondo indicazioni da definirsi.

La sezione di accumulo termico dell'impianto di accumulo P-TES può essere suddivisa in tre sottosezioni.

1. Il sistema di accumulo termico di tipo diretto costituito da due serbatoi a media temperatura (MT-TANK) e alta temperatura (HT-TANK). Durante la fase di carica del sistema di accumulo P-TES, l'acqua pressurizzata viene prelevata dal serbatoio a media temperatura, inviata al condensatore della pompa di calore e successivamente accumulata nel serbatoio di alta temperatura. In fase di scarica, l'acqua accumulata in quest'ultimo serbatoio viene utilizzata per alimentare l'impianto motore ORC e poi accumulata nuovamente nel serbatoio a media temperatura
2. Il sistema di accumulo a termoclino, costituito da un singolo serbatoio riempito di materiale a cambiamento di fase (phase change material, PCM). A differenza del tipo di accumulo presentato in precedenza, il materiale di accumulo sarà differente dal fluido termovettore circolante. Durante la fase di carica, l'acqua attraverserà il serbatoio dall'alto verso il basso generando un gradiente termico dovuto alla cessione di energia termica al PCM prima di essere inviata alla pompa di calore. Viceversa, in fase di scarica l'acqua attraverserà il serbatoio a termoclino dal basso verso l'altro incrementando la propria temperatura grazie al calore accumulato nel PCM per essere poi inviata all'impianto motore ORC
3. Il sistema di alimentazione dell'evaporatore della pompa di calore (LT-TANK), costituito da un singolo serbatoio equipaggiato di riscaldatore elettrico. A differenza degli altri sottosistemi, tale serbatoio svolge il compito di accumulare l'acqua di alimentazione dell'evaporatore della pompa di calore.

Le specifiche tecniche di ciascuna sottosezione definite in fase di progetto definitivo verranno presentate in un apposito sottoparagrafo. I primi tre serbatoi operano a una pressione di 3 bar per evitare la formazione di vapore durante la fase di carica mentre il sistema di alimentazione dell'evaporatore della pompa di calore opererà a pressione atmosferica. Tutti i serbatoi sono coibentati per minimizzare le perdite termiche verso l'esterno. I serbatoi verranno posizionati all'aperto, all'interno di un bacino di contenimento in calcestruzzo e saranno dotati di tutti i sistemi di sicurezza necessari.

I serbatoi devono essere progettati e realizzati in accordo alle vigenti normative in materia (in particolare la Direttiva PED 2014/68/CE relativa ai serbatoi in pressione) e dovranno essere fornite le relative dichiarazioni di conformità.

Le dimensioni, la tipologia, i materiali e le modalità di collegamento e montaggio dei quattro serbatoi che scaturiranno dalla progettazione esecutiva potranno differire rispetto a quanto sopra riportato ferma restando la necessità di assicurare un funzionamento efficiente e in condizioni di sicurezza dell'impianto di accumulo P-TES in accordo alle finalità operative previste (analisi delle prestazioni del sistema P-TES in diverse condizioni operative, sviluppo di logiche di controllo intelligenti ecc.).

### 2.5.1 Sistema di accumulo termico a doppio serbatoio

Il sistema di accumulo termico a doppio serbatoio è costituito da due serbatoi di forma cilindrica verticale. Ciascun serbatoio sarà dimensionato per poter contenere una quantità di acqua pressurizzata pari a 9720 kg, cui corrisponde un volume di circa 10 m<sup>3</sup>, valutato in corrispondenza di una densità dell'acqua di 943 kg/m<sup>3</sup> alla temperatura massima di 120°C. A tale quantità di acqua pressurizzata corrisponde una capacità di accumulo termico pari a 230 kWh, in corrispondenza di un calore specifico medio di 4.23 kJ/(kgK) e di una diminuzione di temperatura dell'acqua di 20°C (da 120°C a 100°C). Tale accumulo termico equivale a una autonomia di quasi 2 ore del modulo ORC a potenza nominale (115 kW termici in ingresso).

I due serbatoi dovranno essere provisti di un sistema di pressurizzazione ad aria compressa che mantenga la pressione all'interno dei serbatoi costante durante la fase di carica e scarica. Tali processi dovranno avvenire in modalità completamente automatica senza la necessità di alcuna supervisione da parte del personale, sia in condizioni di normale esercizio sia in condizioni emergenza. I serbatoi devono inoltre prevedere dei bocchelli di entrata e di uscita dell'acqua (dimensione DN50 e classe di pressione PN16) e il pozzetto di scarico dal fondo.

I serbatoi sono stati dimensionati a partire da un rapporto altezza/diametro pari a 1.75 e prevedendo un adeguato margine di sicurezza sul volume di acqua accumulabile. In tal senso, è stato assunto un diametro interno di 2.0 metri e una altezza utile di 3.75 metri, cosicché l'effettiva capacità di accumulo, è pari a circa 11 m<sup>3</sup>. I serbatoi sono dotati di una coibentazione dimensionata per ridurre le perdite termiche verso l'esterno entro valori inferiori allo 0.2% orario dell'energia termica accumulata. In tal senso, i serbatoi sono coibentati per tutta l'area superficiale con pannelli di lana di roccia (spessore 25 cm). La Tabella 5 riporta le principali specifiche tecniche dei serbatoi di accumulo termico.

Tabella 5 - Principali dati caratteristici del sistema di accumulo a doppio serbatoio.

Energia termica accumulata	230 kWh
Temperatura operativa HT-TANK	120°C
Temperatura operativa MT-TANK	100°C
Massa totale acqua pressurizzata	9720 kg

Diametro interno/esterno	2.0/2.5 m
Altezza utile interna	3.2 m
Altezza totale	3.5 m
Volume utile unitario	10 m <sup>3</sup>
Spessore isolante (lana di roccia)	25 cm

I due serbatoi dovranno essere dotati di un sistema di acquisizione dati per la misurazione, visualizzazione e registrazione con una risoluzione temporale di almeno 30 secondi della temperatura all'interno dei serbatoi in almeno 3 punti omogeneamente distribuiti lungo l'asse verticale dei serbatoi. Inoltre, dovranno essere misurati, visualizzati e registrati i livelli dell'acqua all'interno dei serbatoi.

### 2.5.2 Sistema di accumulo termico a termoclino

Il sistema di accumulo termico a termoclino è costituito da un unico serbatoio di forma cilindrica verticale riempito di capsule di materiale a cambio di fase (PCM) scelto opportunamente in modo da avere una temperatura di cambio di fase compresa all'interno del range operativo previsto (100/120°C). La presenza del PCM consente di aumentare la quantità di energia accumulabile a parità di volume complessivo, dato che si ha la possibilità di sfruttare l'accumulo di energia per calore latente oltre a quello sensibile. Il fluido termovettore è acqua che entra dall'alto nel serbatoio a 120°C durante la fase di carica mentre durante la scarica il flusso viene invertito e l'acqua entra a 100°C. In entrambi i casi la portata massica è fissata pari a 1.35 kg/s. Durante il processo, all'interno del serbatoio si genera il cosiddetto termoclino, che separa le due zone ad alta temperatura che si trova nella parte alta del serbatoio da quella a bassa temperatura che si trova nella parte bassa.

A titolo esemplificativo, *Figura 9* mostra la progressione nel tempo dei termoclini all'interno del serbatoio durante la fase di carica e la successiva fase di scarica considerando una temperatura di fusione del PCM di circa 115°C. Per tale simulazione si è ipotizzato l'uso di capsule sferiche aventi un diametro pari a 30 mm, mentre la porosità del letto poroso è stata fissata pari a 0.4. Inoltre, si è considerato uno spazio vuoto all'interno della capsula pari al 15% del volume complessivo della stessa, al fine di consentire la dilatazione del materiale durante la fusione.

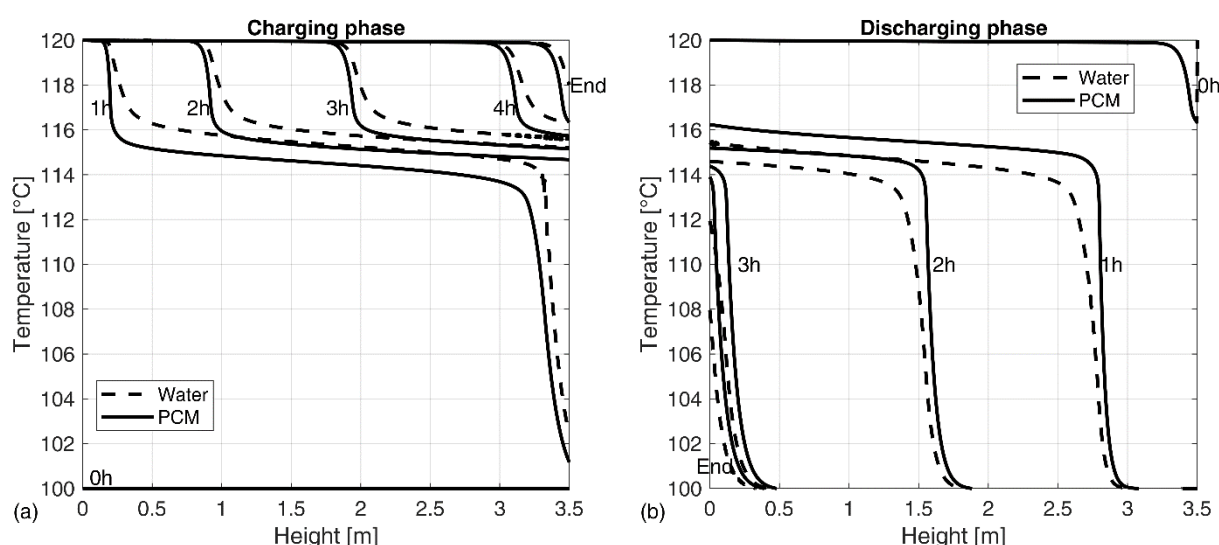


Figura 9 – Evoluzione del termoclino durante (a) la fase di carica e (b) scarica

La presenza del PCM è evidenziata dal tratto a temperatura quasi costante intorno al valore al quale si manifesta il cambio di fase. La fase di carica dura poco meno di 5 ore, con un serbatoio di fatto quasi completamente carico dato che si trova in quasi tutti gli strati alla massima temperatura prevista escluso il fondo. Durante la scarica il flusso viene invertito e la durata della scarica risulta essere di poco superiore alle 3 ore, fermando il processo quando la temperatura dell'acqua in uscita intorno a un valore di 108°C, non troppo bassa per l'evaporatore. La presenza del PCM fa sì che la temperatura dell'acqua in uscita rimanga per un lasso di tempo abbastanza lungo bloccata intorno al valore del cambio di fase del PCM come si osserva in *Figura 9(b)*.

Il sistema di accumulo a termoclino è stato dimensionato mantenendo le stesse dimensioni interne ed esterne scelte per il sistema a doppio serbatoio, ovvero un serbatoio avente un diametro interno e un'altezza pari rispettivamente a 2 m e 3.5 m, che corrispondono a un volume interno di circa 11 m<sup>3</sup>, coibentato con dei pannelli di lana di roccia di 25 cm di spessore. Poiché il livello del serbatoio a termoclino non varia durante le fasi di carica e scarica, non sarà necessario in questo caso equipaggiare il serbatoio con un sistema di pressurizzazione (il MT-TANK verrà utilizzato come vaso di espansione quando si utilizzerà tale modalità di accumulo). Il serbatoio dovrà prevedere due bocchelli di entrata/uscita (dimensione DN50 e classe di pressione PN16), uno posto nel tetto del serbatoio ed una nel fondo. Quest'ultima dovrà operare anche da pozzetto di scarico. Il serbatoio dovrà prevedere un coperchio rimovibile per la sostituzione delle capsule di PCM. Nella parte inferiore del serbatoio dovrà essere presente una piastra forata poggiata su una griglia portante che faccia da piano d'appoggio per le capsule di PCM ed eviti il formarsi di ostruzioni nel bocchello inferiore. Il PCM dovrà essere contenuto in capsule di materiale in grado di resistere alla pressione operativa di 3 bar e al peso stesso della massa contenuta nel serbatoio. Inoltre, dovranno avere un rapporto superficie-volume tale da garantire una efficace trasmissione del calore anche negli stati interni del PCM, dato che le capsule sono solitamente caratterizzate da bassa conducibilità termica.

Per quanto riguarda i fluidi adoperati, si ha ovviamente l'acqua che ha funzione sia di fluido termovettore (HTF) che di accumulo mentre il PCM dovrà avere una temperatura di fusione compresa tra i 110 e 116 °C assicurando così la presenza di una differenza di temperatura tra il fluido termovettore e il PCM durante il cambio di fase. Inoltre, il calore latente di fusione del PCM dovrà essere pari o superiore a 150 kJ/kg, in modo tale che una quota rilevante di energia termica sia accumulata dal PCM. Sempre a titolo esemplificativo, si riportano in Tabella 6 le proprietà termiche di un PCM commerciale (ATS-115 prodotto dalla Axiotherm) utilizzate per le simulazioni di Figura 9. insieme ai dati relativi all'acqua e al materiale di cui è costituito l'involucro della capsula.

Tabella 6 – Proprietà termiche dei materiali di accumulo presenti all'interno del serbatoio a termoclino

Proprietà termiche	Acqua	PCM	Involucro capsula
Densità	959 kg/m <sup>3</sup>	1500 kg/m <sup>3</sup>	935 kg/m <sup>3</sup>
Calore specifico	4215 J/kgK	2000 J/kgK	2200 J/kgK
Conducibilità termica	0.68 W/mK	0.6 W/mK	0.37 W/mK
Calore latente di fusione/solidificazione	-	158 kJ/kg	-
Temperatura di cambio di fase	-	115°C	-

Le proprietà termiche dell'acqua sono riferite alla temperatura di 110°C (temperatura media interna al termoclino) ed una pressione di 3 bar. In Tabella 7 vengono riportate la quantità di energia massima accumulabile dal dispositivo e le ripartizioni per tipologia di accumulo, nelle condizioni fissate per le



simulazioni di Figura 9, confrontandola con il caso del serbatoio riempito di sola acqua. Si nota come si abbia un indubbio vantaggio nell'adoperare materiali a cambio di fase, dato che si ha praticamente un raddoppio dell'energia massima accumulabile a parità di volume del serbatoio, con l'energia accumulata per calore latente che rappresenta circa il 60% del totale.

Tabella 7 – Confronto tra la capacità di accumulo del sistema a doppio serbatoio e del sistema a termoclino con PCM

	Sistema di accumulo a doppio serbatoio	Sistema di accumulo a termoclino con PCM
Energia sensibile acqua	230 kWh	95 kWh
Energia sensibile PCM	-	70 kWh
Energia latente PCM	-	277 kWh
Energia sensibile capsule	-	13 kWh
Energia totale	230 kWh	455 kWh

Il serbatoio a termoclino dovrà essere dotato di un sistema di acquisizione dati per la misurazione, visualizzazione e registrazione con una risoluzione temporale di almeno 30 secondi della temperatura all'interno dello stesso. L'evoluzione della stratificazione termica durante le varie fasi di carica e scarica verrà monitorata mediante l'inserimento di una sonda di temperatura multipunto lungo l'altezza con una distanza tra i punti di misurazione pari o inferiore a 25 cm.

### 2.5.3 Sistema di alimentazione dell'evaporatore della pompa di calore

Al fine di soddisfare la domanda di energia termica da fornire all'evaporatore della pompa di calore è necessario introdurre un quarto serbatoio all'interno del sistema di accumulo P-TES. Tale sistema di accumulo deve alimentare il pozzo freddo della pompa di calore con acqua avente portata volumetrica di 4.4 m<sup>3</sup>/h ad una temperatura di 80°C. La cessione di calore dell'acqua durante la fase di evaporazione comporterà una riduzione della sua temperatura fino a circa 62°C, pertanto l'energia termica richiesta dall'evaporatore della pompa di calore durante un ciclo completo di carica, della durata di 2 ore, sarà di 180 kWh. Per fornire tale richiesta, il sistema di accumulo dovrà quindi essere equipaggiato di un riscaldatore elettrico.

Il serbatoio è stato dimensionato per contenere una quantità di acqua pari a 5868 kg, cui corrisponde un volume di circa 6 m<sup>3</sup>, valutato in corrispondenza di una densità dell'acqua di 978 kg/m<sup>3</sup> alla temperatura massima di 80°C. A tale quantità di acqua corrisponde una capacità di accumulo termico pari a circa 120 kWh, in corrispondenza di un calore specifico medio di 4.19 kJ/(kgK) e di un aumento di temperatura dell'acqua di 18°C (da 62°C a 80°C). Il riscaldatore elettrico avrà una potenza di 30 kW, ovvero riuscirà a coprire istantaneamente circa un terzo della potenza termica richiesta dall'evaporatore. Per questo motivo, prima di procedere con l'avvio della pompa di calore sarà necessario effettuare un preriscaldamento dell'acqua contenuta nel serbatoio di alimentazione dell'evaporatore mediante resistenza elettrica che, in condizioni di progetto (ovvero considerando una temperatura iniziale dell'acqua di 62°C), avrà una durata di 4 ore.

Considerando anche in questo caso un rapporto altezza/diametro pari a 1.75, il serbatoio avrà un diametro interno di 1.63 metri e una altezza utile di 2.9 metri. Per ridurre le perdite termiche verso l'esterno entro valori inferiori allo 0.2% orario dell'energia termica accumulata, il serbatoio sarà dotato di una coibentazione in lana di roccia di 18 cm spessore.

Il serbatoio dovrà inoltre prevedere dei bocchelli di entrata e di uscita dell'acqua (dimensione DN50 e classe di pressione PN16). Poiché si prevede la formazione di un termoclino all'interno del serbatoio a causa della minore potenza del riscaldatore elettrico rispetto alla potenza richiesta, deve essere previsto che il bocchello



di uscita sia posto nella parte superiore del serbatoio mentre il bocchello di entrata dell'acqua nella parte inferiore. Il sistema dovrà essere dotato di un sistema automatico di regolazione della temperatura media dell'acqua all'interno del serbatoio con definizione da parte dell'operatore di una temperatura di set-point. Tale temperatura sarà, in condizioni nominali, pari a 80°C ma, al fine di valutare il comportamento del sistema di accumulo anche in condizioni differenti da quelle nominali, potrà essere variata in un range che va da 60°C a 90°C. Poiché non si prevede di operare con temperature maggiori di 100°C, non si ritiene necessario introdurre un sistema di pressurizzazione dell'acqua. Infine, il serbatoio dovrà essere dotato di un sistema di acquisizione dati per la misurazione, visualizzazione e registrazione con una risoluzione temporale di almeno 30 secondi della temperatura all'interno del serbatoio in almeno 3 punti omogeneamente distribuiti lungo l'asse verticale dello stesso.

#### **2.5.4 Consistenza della fornitura**

I limiti di batteria della sezione di accumulo termico con il resto del sistema di accumulo energetico P-TES sono rappresentati dalle flange di ingresso e di uscita dell'acqua nei collettori principali e dai cavi dei quadri del sistema di controllo.

Lo scopo della fornitura di cui alla presente specifica tecnica è pertanto costituito dalla fornitura, l'installazione e la messa in opera di quattro serbatoi di stoccaggio per acqua pressurizzati integrati in un impianto di accumulo P-TES e include i serbatoi, le flange, la carpenteria di servizio, la coibentazione, il sistema di pressurizzazione dei serbatoi, la strumentazione e il software per il controllo, la regolazione e il monitoraggio e comunque tutto quanto necessario a garantire il corretto funzionamento in condizioni di sicurezza del sistema di accumulo termico.

La fornitura include la documentazione completa relativa alla progettazione dei serbatoi, con particolare riferimento a quella relativa a: dimensionamento meccanico, disegni di dettaglio e di insieme, schemi di montaggio, elenco delle parti di ricambio raccomandate con prezzi e tempi di consegna, elenco delle parti soggette ad usura, lista della strumentazione, manuali di uso e manutenzione, dichiarazioni di conformità CE per le apparecchiature e gli strumenti installati, certificazioni su prove e controlli. La fornitura include altresì tutta la documentazione eventualmente necessaria per l'espletamento delle pratiche nei confronti degli Enti competenti relative alla realizzazione ed all'esercizio dell'impianto.

La fornitura include il trasporto delle apparecchiature e dei materiali in sito, l'assemblaggio dei serbatoi per dare l'opera finita ai limiti di batteria, la verniciatura e la finitura di tutte le parti che compongono la fornitura, i collaudi e le prove idrauliche in sito.

#### **2.6 Specifiche tecniche sistema di distribuzione del fluido termovettore**

Nel seguito sono riportate le specifiche tecniche, applicabili alla fornitura e al montaggio in opera presso il laboratorio di "Accumulo Termico", del sistema di distribuzione del fluido termovettore integrato nell'impianto di accumulo energetico P-TES. Il sistema di distribuzione è costituito dall'insieme delle tubazioni, delle pompe, delle valvole, della raccorderia, della carpenteria, dei supporti e di tutti gli altri componenti necessari a garantire la corretta circolazione del fluido termovettore, ovvero l'acqua, tra la pompa di calore i serbatoi di accumulo termico e l'impianto motore ORC.

Tutti i tubi sono in acciaio senza saldature, adatti all'impiego di fluidi a temperatura inferiore a 150°C con scheda standard e PN16. L'isolamento termico è costituito da cospesse in lana minerale (conduttività circa 0.35 W/mK) con spessore di 40 mm. Il circuito deve essere provvisto di opportuni giunti di dilatazione e dotato di pendenze idonee a consentire lo svuotamento completo delle tubazioni. Il circuito include inoltre i necessari giunti, raccordi, collettori, supporti, valvole di ritegno, valvole di regolazione di portata, valvole di

intercettazione a monte e a valle delle pompe di circolazione, della pompa di calore, dell'impianto motore ORC e dei serbatoi di accumulo dell'energia termica. Inoltre, il sistema di distribuzione sarà dotato di tutti i dispositivi necessari al completo svuotamento del circuito e al suo successivo riempimento con fluidi termovettori anche diversi da quello di progetto. In condizioni di emergenza, dovrà essere prevista una procedura di messa in sicurezza che preveda l'isolamento del serbatoio con la chiusura automatica di valvole di intercettazione delle tubazioni di ingresso e di uscita dell'acqua e il fermo della pompa di calore e dell'ORC. In Figura 10 viene illustrato il sistema di distribuzione con i principali componenti del circuito. Con riferimento al collegamento dei pozzi caldi dei due sistemi energetici con il sistema di accumulo, il sistema di distribuzione comprende una pompa di circolazione del fluido termovettore e una serie di valvole di intercettazione automatiche che, in base alla fase di accumulo, verranno aperte o chiuse. Il sistema di distribuzione comprende anche il circuito di collegamento tra l'evaporatore della pompa di calore e il serbatoio a bassa temperatura (LT-TANK) e include valvole di intercettazione e di ritegno e pompa di circolazione.

Saranno previste sei diverse fasi di funzionamento:

- A. **Preriscaldamento del sistema di accumulo a doppio serbatoio:** l'acqua contenuta nel serbatoio a media temperatura (MT-TANK) viene preriscaldata mediante la pompa di calore e portata alla temperatura di progetto (100°C) e l'acqua contenuta nel serbatoio a bassa temperatura (LT-TANK) viene preriscaldata mediante il riscaldatore elettrico
- B. **Fase di carica con accumulo a doppio serbatoio:** l'acqua accumulata nel serbatoio a media temperatura (MT-TANK) viene inviata alla pompa di calore ed accumulata nel serbatoio ad alta temperatura (HT-TANK). L'acqua del serbatoio a bassa temperatura (LT-TANK) viene utilizzata per alimentare l'evaporatore della pompa di calore.
- C. **Preriscaldamento del sistema di accumulo a termoclino:** l'acqua contenuta nel serbatoio a termoclino viene preriscaldata mediante la pompa di calore e portata alla temperatura di progetto (100°C)
- D. **Fase di carica con accumulo a termoclino:** viene prevista una circolazione dell'acqua nel serbatoio a termoclino dalla parte superiore verso quella inferiore. L'acqua proveniente dalla parte inferiore del serbatoio a termoclino viene riscaldata dalla pompa di calore ed inviata nella parte superiore dello stesso serbatoio.
- E. **Fase di scarica con accumulo a doppio serbatoio:** l'acqua accumulata nel serbatoio ad alta temperatura (HT-TANK) viene inviata all'evaporatore dell'unità ORC e successivamente accumulata nel serbatoio a media temperatura (MT-TANK). Il sistema di raffreddamento del condensatore dell'ORC viene attivato.
- F. **Fase di scarica con accumulo a termoclino:** viene prevista una circolazione dell'acqua nel serbatoio a termoclino dalla parte inferiore verso quella superiore. L'acqua in uscita dalla parte superiore del serbatoio a termoclino viene inviata all'evaporatore dell'unità ORC nuovamente introdotta nel serbatoio a termoclino mediante il bocchello posto nella parte inferiore. Il sistema di raffreddamento del condensatore dell'ORC viene attivato.

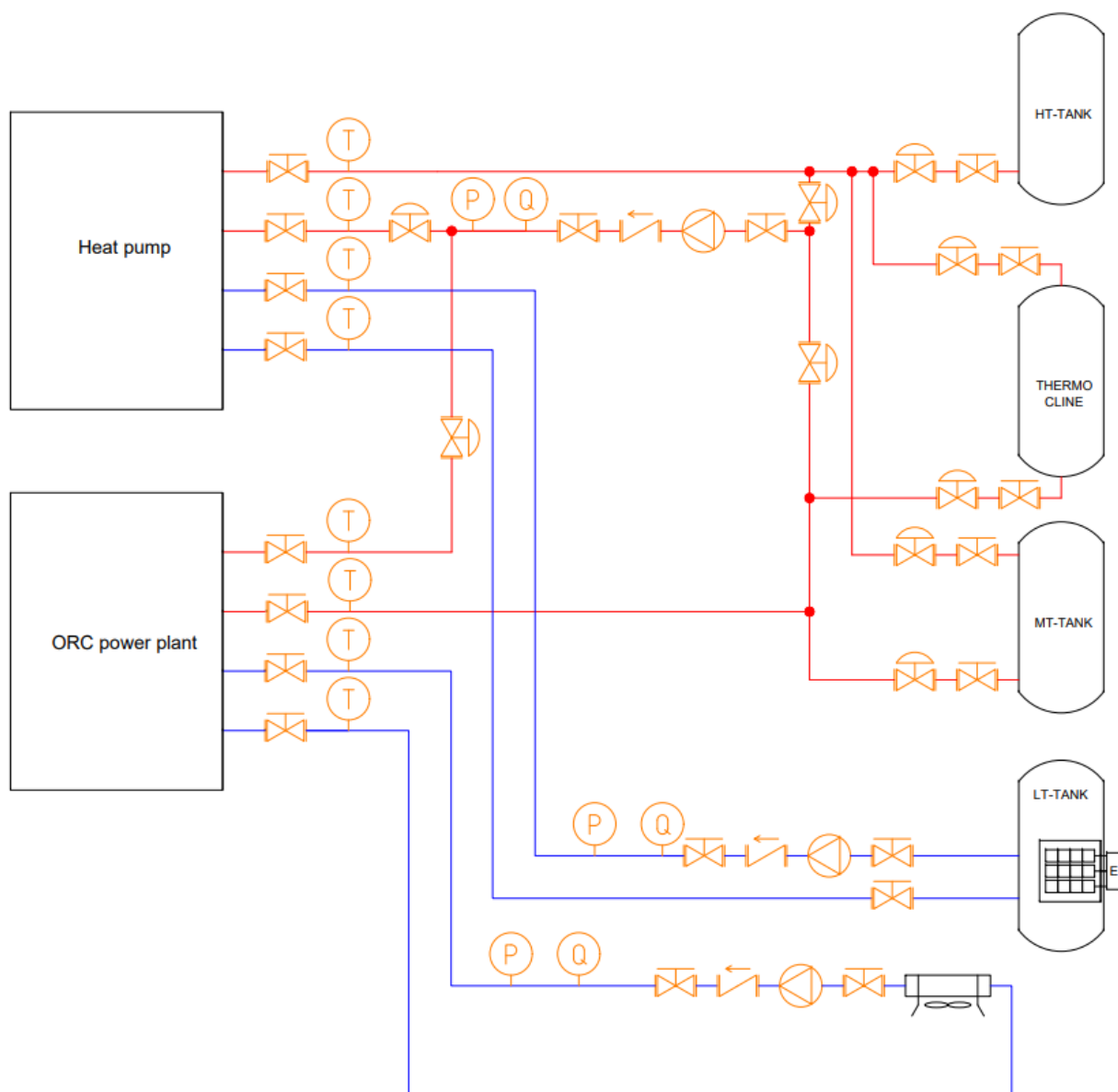


Figura 10 – Sistema di distribuzione del fluido termovettore.

Le valvole di intercettazione ad azionamento manuale sono a saracinesca, attacchi flangiati o a saldare di testa, diametro nominale in accordo alla tubazione. Le valvole di ritegno sono a clapet, con corpo e coperchio in acciaio fuso, attacchi flangiati o a saldare di testa, diametro nominale in accordo alla tubazione. Le valvole di regolazione sono del tipo a flusso avviato, attacchi flangiati, attuatore elettrico, diametro nominale in accordo alla tubazione.

In relazione alla portata di acqua di progetto, il diametro delle tubazioni di collegamento, fra la pompa di calore, i serbatoi e il modulo ORC, dimensionate per una velocità dell'acqua inferiore a 1 m/s, sarà un DN50, cui corrisponde un diametro esterno di circa 60.3 mm.

Nelle condizioni di progetto (portata di acqua pari a circa 1.35 kg/s), le perdite di carico complessive sono state valutate pari a circa 0.5 bar, per una corrispondente prevalenza richiesta alla pompa di circolazione di circa 5 metri e una potenza di circa 0.1 kW (assunto un rendimento del 65%).

Le pompe sono elettropompe centrifughe monoblocco, con rendimento nominale del 65%. Il motore elettrico è asincrono, con velocità di rotazione nominale di 1450 giri/min e controllabile mediante inverter. Ciascuna pompa deve essere dotata di valvola di intercettazione, valvola di ritegno, valvola di scarico e filtro. Il sistema di distribuzione del fluido termovettore dovrà essere equipaggiato di un sistema di acquisizione dati e di visualizzazione dei principali parametri operativi interfacciabile con il sistema di acquisizione dati delle altre sezioni dell'impianto di accumulo P-TES. In particolare, dovranno essere misurate, visualizzate e registrate con una risoluzione temporale di almeno 1 secondo le pressioni, le temperature e le portate di acqua nei rami principali del circuito. Inoltre, dovranno essere visualizzate e registrate con medesima risoluzione temporale le posizioni delle valvole automatiche presenti nel circuito. La strumentazione in dotazione al sistema di distribuzione del fluido termovettore dovrà essere collegata al sistema di acquisizione dati e, nel caso si renda necessario, al sistema di controllo e monitoraggio dell'intero impianto. Di seguito si descrivono le specifiche tecniche intese come requisiti minimi della strumentazione. Il misuratore di portata inserito nel piping dei serbatoi HT-TANK, MT-TANK e TERMOCLINE e il misuratore relativo al piping del serbatoio LT-TANK dovranno essere preferibilmente del tipo massico a effetto Coriolis con un'accuratezza in valore non superiore a  $\pm 0,6$  % sul valore letto. In alternativa, si può installare un misuratore di portata di tipo volumetrico elettromagnetico induttivo con un'accuratezza in valore non superiore a  $\pm 0,6$  % sul valore letto. Il misuratore di portata inserito nel circuito di refrigerazione dell'acqua dovrà essere di tipo volumetrico elettromagnetico induttivo con un'accuratezza di valore non superiore a  $\pm 0,8$  % sul valore letto. I sensori di pressione relativa, compresi di trasmettitore, dovranno avere un'accuratezza in valore non superiore a  $\pm 0,3$  % sul valore letto e un tempo di risposta non superiore a 0,3 secondi. Le sonde di temperatura dovranno essere inserite in pozzetti di misura e dovranno essere del tipo RTD PT100 a 3 o 4 fili, di classe di tolleranza A o 1/3 DIN secondo norma IEC 60751:2008, preferibilmente aventi diametro di 3 mm e comunque non superiore a 4.8 mm. Tutti gli strumenti dovranno essere di materiale idoneo per l'utilizzo nelle condizioni di esercizio o provvisti delle protezioni necessarie.

Le dimensioni, la tipologia, i materiali e le modalità di collegamento e montaggio del sistema di distribuzione che scaturiranno dalla progettazione esecutiva potranno differire rispetto a quanto sopra riportato ferma restando la necessità di assicurare un funzionamento efficiente e in condizioni di sicurezza dell'impianto di accumulo P-TES in accordo alle finalità operative previste (analisi delle prestazioni del sistema P-TES in diverse condizioni operative, sviluppo di logiche di controllo intelligenti ecc.).

### 2.6.1 Consistenza della fornitura

I limiti di batteria del sistema di distribuzione del fluido termovettore con il resto del sistema di accumulo energetico P-TES sono rappresentati dalle flange di ingresso e di uscita dell'acqua dalla pompa di calore, dall'impianto motore ORC e dai serbatoi di accumulo termico e dai cavi dei quadri del sistema di controllo delle pompe.

Lo scopo della fornitura di cui alla presente specifica tecnica è pertanto costituito dalla fornitura, l'installazione e la messa in opera delle tubazioni di collegamento fra la pompa di calore, il modulo ORC e i serbatoi di accumulo termico e include le tubazioni, i pezzi speciali (curve, T, riduzioni, flange, etc.), le pompe di circolazione, le valvole di intercettazione, le valvole di regolazione, gli elementi di supporto e di fissaggio (staffe, collari, selle di appoggio, etc.), la strumentazione per la misura della portata, della pressione e della temperatura, il software per il controllo, la regolazione e il monitoraggio e comunque tutto quanto necessario a garantire il corretto funzionamento in condizioni di sicurezza del sistema.

La fornitura include la documentazione completa relativa alla progettazione del sistema, con particolare riferimento a quella relativa a: dimensionamento meccanico, disegni di dettaglio e di insieme, schemi di

montaggio, elenco delle parti di ricambio raccomandate con prezzi e tempi di consegna, elenco delle parti soggette ad usura, lista della strumentazione, manuali di uso e manutenzione, dichiarazioni di conformità CE per le apparecchiature e gli strumenti installati, certificazioni su prove e controlli. La fornitura include altresì tutta la documentazione eventualmente necessaria per l'espletamento delle pratiche nei confronti degli Enti competenti relative alla realizzazione ed all'esercizio dell'impianto.

La fornitura include il trasporto delle apparecchiature e dei materiali in sito, l'assemblaggio per dare l'opera finita ai limiti di batteria, la verniciatura e la finitura di tutte le parti che compongono la fornitura, i collaudi e le prove idrauliche in sito.

## **2.7 Norme per le prove di accettazione e collaudo**

L'accettazione della fornitura è subordinata al buon esito delle prove di collaudo tese ad accertare la corrispondenza della fornitura stessa alle specifiche contenute nel presente disciplinare tecnico. Le prove di accettazione finale verranno effettuate al termine del primo avviamento dell'impianto, eseguito in accordo alle procedure previste dal fornitore. Al termine del periodo di avviamento l'impianto di accumulo dovrà essere in grado di operare secondo le finalità per le quali è stato progettato (analisi delle prestazioni del sistema P-TES in diverse condizioni operative, sviluppo di logiche di controllo intelligenti ecc.) e di fornire le prestazioni richieste in termini di potenza elettrica assorbita e prodotta durante le fasi di carica e scarica, rispettivamente, e di rendimento di "round-trip" del sistema di accumulo.

Le prove di accettazione e collaudo finale dell'impianto riguarderanno tutti i componenti e le sezioni, con particolare riferimento alla pompa di calore e all'impianto motore ORC. Fanno parte delle prove di accettazione anche le eventuali prove su specifici componenti eseguite in officina dal fornitore. Di tali prove il fornitore consegnerà la relativa documentazione di esecuzione e di rispondenza alle specifiche richieste dal disciplinare tecnico.

Il collaudo finale sul campo sarà volto ad accertare il corretto assemblaggio e funzionamento dei principali componenti e dell'intero impianto di accumulo. In particolare, il collaudo finale dell'impianto verrà effettuato dapprima attraverso le prove a freddo volte a valutare il corretto funzionamento degli strumenti di misura, del sistema di acquisizione dati, dei sistemi ausiliari (aria compressa, riscaldatore elettrico etc.) e di sicurezza, nonché la tenuta idraulica dei vari circuiti.

Dopo il primo avviamento effettuato con esito positivo dal fornitore, verranno verificate le funzionalità dell'impianto in relazione alle procedure di avviamento ed arresto in automatico, alle procedure di arresto in condizioni di emergenza e al funzionamento in automatico in relazione alla variazione delle condizioni di alimentazione elettrica per quanto concerne la pompa di calore e di alimentazione termica per quanto concerne il modulo ORC.

Successivamente alle verifiche preliminari di funzionalità precedentemente citate, verrà verificata la capacità dell'impianto di operare in condizioni di funzionamento continuo ed affidabile per un ciclo completo di carica/ scarica.

Al termine del ciclo di prove in continuo verranno verificate le prestazioni della pompa di calore in termini di potenza elettrica e termica assorbita e del modulo ORC in termini di potenza elettrica netta prodotta e di rendimento netto di conversione, in condizioni sia di carico nominale sia di carico parziale. In relazione alla variabilità delle condizioni ambientali nelle quali verranno svolte le prove di accettazione finale, i livelli di prestazione dell'impianto motore ORC verranno rapportati ai valori della effettiva temperatura dell'acqua di raffreddamento in ingresso al condensatore mediante le procedure di correzione riportate di seguito.

### 2.7.1 Verifica delle prestazioni della pompa di calore

La verifica delle prestazioni della pompa di calore verrà effettuata misurando la potenza elettrica assorbita dalla pompa di calore  $P_{HP}$  e la potenza termica  $\dot{Q}_{COND.HP}$  prodotta al condensatore sotto forma di incremento della temperatura dell'acqua pressurizzata. Tali misure verranno effettuate utilizzando la strumentazione disponibile nell'impianto e durante una fase stazionaria di funzionamento della pompa di calore. La potenza termica  $\dot{Q}_{COND.HP}$  prodotta dalla pompa di calore verrà valutata misurando la portata  $\dot{m}_{W,HP}$  e le temperature dell'acqua in ingresso  $T_{COND.HP,I}$  e in uscita  $T_{COND.HP,O}$  attraverso la seguente relazione:

$$\dot{Q}_{COND.HP} = \dot{m}_{W,HP} \cdot c_{P,W} \cdot (T_{COND.HP,O} - T_{COND.HP,I})$$

essendo  $c_{P,W}$  il calore specifico medio dell'acqua in tale campo di temperatura.

Il coefficiente di prestazione  $COP$  della pompa di calore è rappresentato dal rapporto fra la potenza termica in uscita dalla pompa di calore e la potenza elettrica assorbita:

$$COP = \frac{\dot{Q}_{COND.HP}}{P_{HP}}$$

Le prove di accettazione finale sono volte a verificare le prestazioni della pompa di calore in corrispondenza di condizioni di produzione pari al 100% e al 40% del carico termico nominale. In particolare, le prove di accettazione finale verificheranno che la potenza elettrica assorbita risulta pari o inferiore al valore di verifica e che il coefficiente di prestazione della pompa di calore risulti almeno pari o superiore ai valori di verifica riportato nel seguente prospetto.

Carico	100% (117 kW)	40% (46.8 kW)
Potenza elettrica assorbita verifica ( $P_{HP,V}$ )	29 kW	18.7 kW
Coefficiente di prestazione di verifica ( $COP_V$ )	4	2.5

I valori sopra riportati si riferiscono a condizioni di funzionamento con temperature di ingresso dell'acqua di alimentazione all'evaporatore della pompa di calore pari a 80 °C e temperatura dell'acqua in ingresso al condensatore pari a 100°C.

Il periodo di misura per la verifica delle prestazioni deve essere di almeno 30 minuti e all'interno di tale periodo di tempo le variazioni di potenza elettrica assorbita devono essere limitate entro un range massimo del  $\pm 5\%$ . I valori delle diverse grandezze misurate e calcolate sono rappresentati dai rispettivi valori medi determinati mediante integrazione delle grandezze misurate nell'intervallo di tempo considerato. Sulle misure di potenza termica misurata verrà applicata una tolleranza del 5%.

### 2.7.2 Verifica delle prestazioni dell'impianto motore ORC

La verifica delle prestazioni dell'impianto motore ORC verrà effettuata misurando la potenza elettrica netta  $P_{ORC}$  prodotta e la potenza termica  $\dot{Q}_{EVAP.ORC}$  fornita in ingresso sotto forma di acqua pressurizzata alla temperatura di 120°C. Tali misure verranno effettuate utilizzando la strumentazione disponibile nell'impianto e durante una fase stazionaria di funzionamento dell'impianto. La potenza termica  $\dot{Q}_{EVAP.ORC}$  fornita

all'impianto motore ORC verrà valutata misurando la portata  $\dot{m}_{W,ORC}$  e le temperature dell'acqua in ingresso  $T_{EVAP,ORC,I}$  e in uscita  $T_{EVAP,ORC,O}$  attraverso la seguente relazione:

$$\dot{Q}_{EVAP,ORC} = \dot{m}_{W,ORC} \cdot c_{P,W} \cdot (T_{EVAP,ORC,I} - T_{EVAP,ORC,O})$$

essendo  $c_{P,W}$  il calore specifico medio dell'acqua in tale campo di temperatura.

Il rendimento elettrico netto  $\eta_{ORC}$  dell'impianto motore ORC è rappresentato dal rapporto fra la potenza elettrica netta (rappresentata dalla potenza elettrica lorda prodotta dal generatore elettrico diminuita degli assorbimenti elettrici interni) e la potenza termica fornita in ingresso:

$$\eta_{ORC} = \frac{P_{ORC}}{\dot{Q}_{EVAP,ORC}}$$

Le prove di accettazione finale sono volte a verificare le prestazioni dell'impianto motore ORC in corrispondenza di condizioni di alimentazione pari al 100% e al 40% del carico termico nominale. In particolare, le prove di accettazione finale verificheranno che la potenza elettrica netta e il rendimento netto del modulo ORC risultino almeno pari ai valori riportati nel seguente prospetto.

Carico	100% (115 kW)	40% (46 kW)
Potenza elettrica netta di verifica ( $P_{ORC,V}$ )	10 kW	1.85 kW
Rendimento elettrico netto di verifica ( $\eta_{ORC,V}$ )	8,7%	4,0%

I valori sopra riportati si riferiscono a condizioni di funzionamento con temperatura dell'acqua in ingresso all'evaporatore pari a 120°C e temperature dell'acqua di raffreddamento del condensatore pari a 25 °C in ingresso.

Il periodo di misura per la verifica delle prestazioni deve essere di almeno 30 minuti e all'interno di tale periodo di tempo le variazioni di potenza elettrica netta prodotta devono essere limitate entro un range massimo del  $\pm 5\%$ . I valori delle diverse grandezze misurate e calcolate sono rappresentati dai rispettivi valori medi determinati mediante integrazione delle grandezze misurate nell'intervallo di tempo considerato. Sulle misure di potenza termica misurata verrà applicata una tolleranza del 5%.

Carbonia 02.05.2024