



UNIVERSITA' POLITECNICA DELLE MARCHE

FACOLTA' DI INGEGNERIA

Corso di Laurea triennale in Ingegneria Meccanica

Recupero energetico da centrale di decompressione gas metano

Energy recovery from methane gas decompression station

Relatore:

Prof. Giancarlo Giacchetta

Tesi di Laurea di:

Simone Pacetti

A.A. 2020 / 2021

Indice

1. Introduzione.....	1
2. Gas Metano.....	1
2.1 Panoramica sul gas metano	1
2.2 Caratteristiche.....	2
2.3 Impieghi del gas naturale	2
2.4 Distribuzione e trasporto del gas metano	3
2.5 Impianto di Decompressione Gas metano.....	4
2.6 Introduzione di un gruppo espansore.....	5
3. Impianto di espansione del gas e produzione di energia elettrica	5
3.1 Panoramica	5
3.2 Funzionamento.....	6
3.3 Tipologie Costruttive.....	7
3.3.1 Espansore a turbina	7
3.3.2 Espansore a Vite	14
3.3.3 Espansore con motore alternativo a pistoni.....	18
3.4 Inserimento dell'espansore nell'impianto	24
4. Dimensionamento termodinamico di massima del turboespansore da installare in un impianto di decompressione	25
5. Analisi della produzione di energia elettrica	27
6. Analisi Economica.....	37
7. Conclusioni.....	38
8. Bibliografia.....	39

1 Introduzione

La finalità di questa tesi è lo studio di un gruppo espansore, sistema meccanico impiegato in impianti per la decompressione del gas metano. Le crescenti difficoltà di approvvigionamento delle tradizionali fonti derivate dai prodotti petroliferi, unite all'aumento del fabbisogno, conferiscono alle problematiche energetiche un ruolo di primaria importanza. La gestione e l'uso razionale dell'energia sono basilari nell'economia moderna, ed è interesse comune trovare ed adottare modalità che consentano di realizzare i medesimi prodotti o servizi, utilizzando minori quantità di energia primaria, o ideando soluzioni tecnologiche volte a risparmiare energia. Questa tecnologia innovativa recupera quell'energia che normalmente viene dissipata nei sistemi tradizionali, a causa della laminazione necessaria per la fornitura alle utenze. Si consideri che il gas trasportato nei metanodotti si trova a pressioni elevate, tra i 40 ed i 70 bar, ma nei centri di distribuzione deve essere decompresso e portato tra i 2 ed i 20 bar. I sistemi di riduzione e di regolazione compiono una laminazione del gas fino alla pressione desiderata, mantenendola costante al variare della portata. Inoltre è usuale prevedere un preriscaldamento del gas a monte per evitare un eccessivo abbassamento della temperatura a valle. L'energia meccanica di pressione verrebbe interamente dissipata in calore. Invece tale energia può essere ampiamente recuperata facendo espandere il gas in una turbina capace di generare potenza meccanica oppure mediante motore a pistoni.

2 Gas Metano

2.1 PANORAMICA SUL GAS METANO

Il gas naturale è costituito da idrocarburi gassosi che si trovano nel sottosuolo da dove fuoriescono in modo spontaneo o sono estratti mediante perforazioni. I gas naturali hanno origine da formazioni geologiche e sono legati ai giacimenti di petrolio o di carbon coke. Esso viene utilizzato, come tutti i combustibili, per la produzione di energia e calore. È l'ultima fonte di energia fossile ad essere sfruttata a livello mondiale.

La composizione del gas naturale è una miscela di idrocarburi e di altre sostanze gassose. In gran parte la componente degli idrocarburi è rappresentata dal gas metano. Le principali altre sostanze gassose del gas naturale sono, invece, l'anidride carbonica, l'azoto, l'idrogeno solforato, l'elio, il radon e il cripton. La presenza dell'anidride carbonica e dell'azoto rendono il gas naturale meno infiammabile e, quindi, un cattivo combustibile. Per questa ragione il gas naturale dopo essere estratto deve essere

appositamente trattato in un processo di lavorazione al fine di aumentare la componente degli idrocarburi e di ridurre quella delle altre sostanze gassose.

2.2 CARATTERISTICHE

In particolare il metano è una miscela di gas naturale (nel corso della trattazione si utilizzeranno indistintamente i termini gas naturale e gas metano). Il gas metano è un idrocarburo gassoso semplice composto da un atomo di carbonio e da quattro atomi di idrogeno (CH_4). In genere viene chiamato metano qualsiasi tipo di gas naturale, in realtà esistono diverse miscele di gas naturale, il quale è composto sia dal metano e sia da altri gas. Il gas metano (gas naturale) è una delle principali fonti energetiche delle attività umane. Il metano è un gas incolore e inodore. È un gas più leggero dell'aria, ha un peso specifico di 0,67 kg / mc a temperatura e pressione ambiente. È il primo della serie degli alcani. Il metano è infiammabile quando è miscelato con l'ossigeno e con l'aria, purché la sua concentrazione sia compresa tra il 5% e il 15%. Al di sotto del 5% il gas non è sufficiente ad alimentare la combustione. Viceversa, quando la concentrazione di metano è superiore al 15% è la scarsità di ossigeno a impedire la combustione. Nella combustione il gas metano si presenta con una fiamma poco luminosa con un potere calorifico compreso tra 8000 e 12000 kcal/mc. Il gas metano si trasforma allo stato liquido quando è sottoposto a un abbassamento di temperatura o in presenza di un aumento di pressione. Diventa liquido a -161 gradi centigradi a pressione ambiente oppure a -83 gradi centigradi a una pressione di 45 atmosfere.

2.3 IMPIEGHI DEL GAS NATURALE

Gli impieghi del gas naturale come risorsa energetica spaziano dall'ambito residenziale a quello industriale. Il gas naturale è utilizzato come materia prima energetica per generare calore, forza lavoro o energia elettrica. In particolar modo, esso è utilizzato nei moderni sistemi economici e produttivi nei seguenti settori:

- **Produzione di energia elettrica.** L'energia elettrica viene prodotta tramite le centrali turbogas normali o a ciclo combinato, in quest'ultimo caso si ha cogenerazione di energia termica ed elettrica.
- **Carburante per autotrazione.** Il gas metano è utilizzato come combustibile nel settore dei trasporti e dell'autotrazione. Ad esempio le auto a metano e i veicoli con alimentazione a gas naturale.
- **Impieghi industriali.** In questo caso il gas è impiegato in diversi processi industriali di lavorazione dei materiali e dei prodotti. Ad esempio, è utilizzato nella metallurgia, nell'oreficeria, nel settore cartario e nella produzione di generi alimentari.

- **Riscaldamento e refrigerazione.** In questo settore il metano viene utilizzato nei sistemi di riscaldamento e di refrigerazione degli ambienti interni, sia in ambito residenziale che commerciale. È anche utilizzato per la produzione di acqua calda sanitaria tramite impianti autonomi o centralizzati.
- **Cucina.** Viene utilizzato come combustibile per generare calore nelle attività di ristorazione e nelle cucine residenziali (cucine a gas).

2.4 DISTRIBUZIONE E TRASPORTO DEL GAS METANO

Il trasporto del gas naturale può avvenire allo stato gassoso mediante gasdotti oppure allo stato liquido mediante navi cisterna. I progressi nel trasporto e nello stoccaggio del gas naturale sono avvenuti nel corso del novecento, infatti in precedenza esso era consumato soltanto nelle immediate vicinanze dei luoghi di produzione.

I gasdotti, chiamati anche metanodotti, sono condutture in grado di collegare i luoghi di estrazione del metano con i luoghi di consumo anche a grandi distanze. Attualmente l'approvvigionamento proviene in gran parte da fonti estere, in particolare da paesi come la Russia, l'Olanda e l'Algeria. A fronte di elevati investimenti economici iniziali di realizzazione, un metanodotto consente di trasportare grandi quantità di gas naturale dal luogo di produzione a quello di consumo a bassi costi variabili. Lungo un gasdotto sono presenti delle stazioni intermedie di compressioni, poste a distanza di 100-200 chilometri, per mantenere costante la pressione e la velocità di movimento del gas naturale. Nei nodi terminali dei gasdotti sono situate le stazioni di stoccaggio del gas, le quali sono una sorta di depositi in cui il gas naturale viene stoccato in attesa di essere consumato dagli utenti.

In alternativa il gas naturale può essere trasportato anche tramite navi metaniere. Nel luogo di produzione il gas naturale viene liquefatto, ossia trasformato allo stato liquido, in GNL (gas naturale liquefatto) e caricato nelle cisterne delle navi metaniere. La liquefazione del gas si ha quando è posto sotto pressione a bassa temperatura. Quando viene liquefatto il gas naturale occupa un volume inferiore rispetto alla forma gassosa originaria. Nel luogo di arrivo il gas allo stato liquido viene trasformato nuovamente allo stato gassoso nei rigassificatori ed immesso nella rete di distribuzione. Ogni nave metaniera può trasportare circa 130 mila metri cubi di gas metano liquefatto. Il trasporto del metano effettuato tramite le navi metaniere è più costoso rispetto ai metanodotti. Tuttavia esse hanno il vantaggio di consentire l'approvvigionamento del gas naturale da più luoghi di produzione.

2.5 IMPIANTO DI DECOMPRESSIONE GAS METANO

Il gas naturale è trasportato a pressioni elevate tramite metanodotti e generalmente per poterlo utilizzare occorre ridurre la pressione in funzione dell'utilizzo finale. Gli impianti di decompressione e misura o cabine gas metano svolgono le seguenti funzioni: filtrazione, preriscaldamento, riduzione, misura e odorizzazione del gas in cabine remi.

- **Filtrazione**

ha la funzione di proteggere gli scambiatori (se presenti), i riduttori, i contatori e tutte le apparecchiature a valle di essi, intrappolando le impurità solide e liquide contenute nel gas naturale.

- **Preriscaldamento**

tramite l'utilizzo di scambiatori a fascio tubiero il gas viene riscaldato prima di passare attraverso ai riduttori per evitare il congelamento degli stessi dovuto al salto di pressione, che ne porterebbe alla rottura.

- **Riduzione**

la parte più importante e delicata, composta da apparecchi più o meno complessi i quali riducono la pressione del flusso del gas, sono doppi in grado così di garantire alla rottura di uno la continua erogazione del gas.

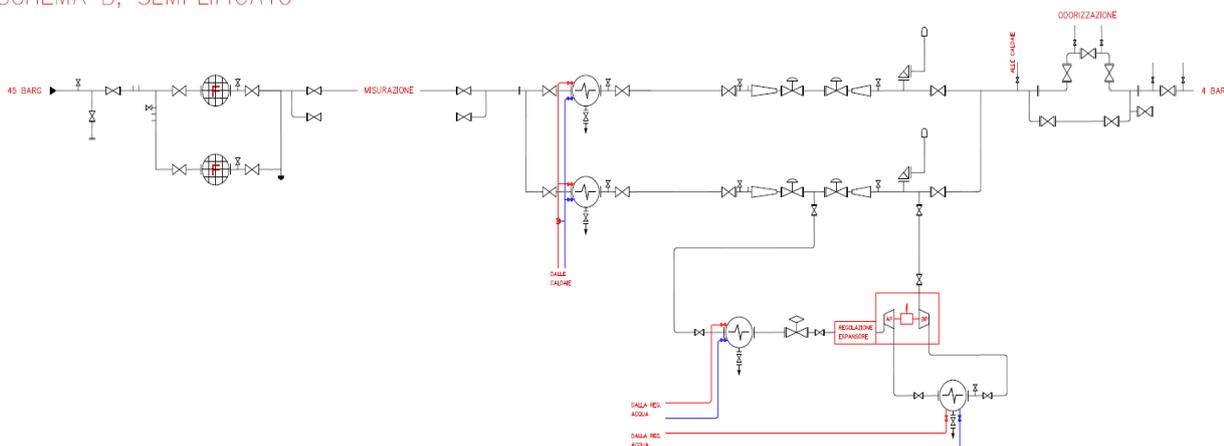
- **Misura**

i sistemi di misura sono formati da 2 importanti figure: misuratore di portata e sistema di conversione.

- **Odorizzazione**

negli impianti gas a servizio di reti di distribuzione per utilizzi generalmente privati viene installato un sistema di odorizzazione che ha lo scopo di diluire un liquido dando odore al gas metano. Questo passaggio riveste un ruolo di particolare importanza e viene effettuato perché tale odore consente di avvertire nell'aria la presenza del gas prima che si creino condizioni di pericolo per esplosività e tossicità.

SCHEMA B, SEMPLIFICATO



2.6 INTRODUZIONE DI UN GRUPPO ESPANSORE

L'adozione di un gruppo espansore presenta molteplici vantaggi, comporta una significativa riduzione dell'impatto ambientale e consente di recuperare l'energia meccanica posseduta dal gas e convertirla in energia elettrica. Le tradizionali cabine di decompressione di gas metano sono dotate di caldaie a gas per la produzione di energia termica destinata al pre-riscaldamento del metano. Grazie all'introduzione della tecnologia innovativa in esame, si utilizza il gas espanso per riscaldare il fluido vettore (acqua) impiegato nella fase di pre-riscaldamento. In questo modo nonostante aumenti il consumo di risorse per eseguire quest'ultima fase, dovuto alla presenza dell'espansore, si ottiene una significativa riduzione del consumo di gas necessario al processo di distribuzione. Inoltre l'adozione di questo macchinario consente di produrre energia elettrica recuperando energia meccanica dal salto di pressione del gas, quota energetica che viene persa nei tradizionali impianti di distribuzione.

3 Impianto di espansione del gas e produzione di energia elettrica

3.1 PANORAMICA

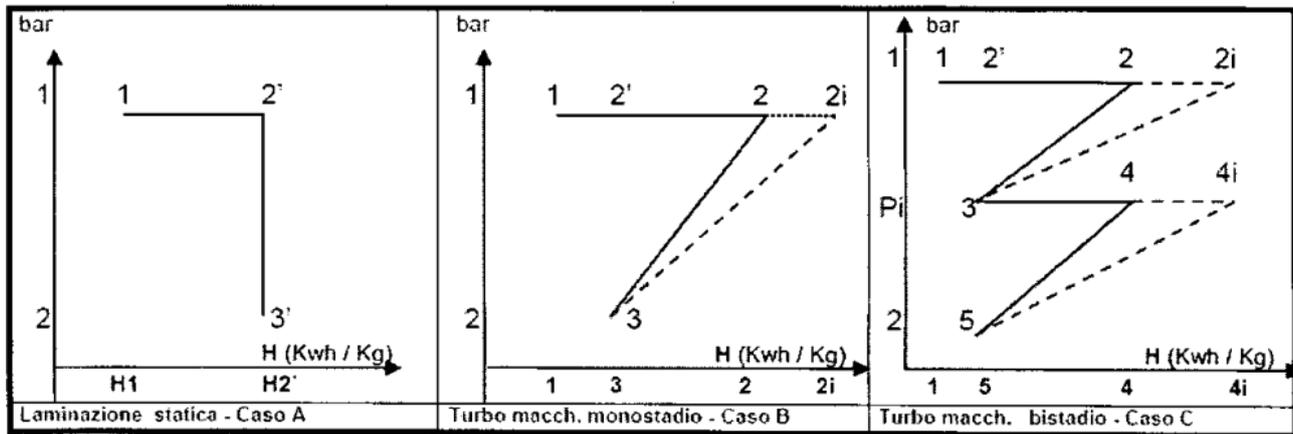
Il sistema di espansione rappresenta un elemento importante e la sua presenza può permettere agli impianti di distribuzione di gas metano di ridurre notevolmente l'impatto ambientale. Rispetto ad impianti termoelettrici, si utilizza una fonte di combustibile meno pregiata per la produzione di elevate temperature, pertanto si minimizza il consumo di gas ad alte prestazioni energetiche del sistema di distribuzione. Di fatti per la fase di pre-riscaldamento viene utilizzato gas a valle dell'espansione quindi dal basso contenuto energetico. Questo consente di annullare quasi completamente i costi di gestione dell'impianto, unitamente al guadagno derivante dal recupero dell'energia dissipata nella riduzione del gas. Oltre ai benefici di carattere ambientale, mediante l'espansione si è in grado di recuperare, per ogni chilo di gas fluente, un'energia meccanica pari a un'identica quantità di energia termica, al netto del rendimento degli scambiatori di calore. Il rendimento della trasformazione è almeno raddoppiato rispetto alle tradizionali macchine termiche o centrali termoelettriche, grazie al recupero dell'energia spesa a monte, e altrimenti perduta. Esistono diverse tipologie costruttive di espansori ed in base alla tecnologia si adotta un differente metodo di conversione dell'energia, da meccanica ad elettrica. Dal punto di vista economico, questa tecnologia di recente sviluppo presenta diversi vantaggi. Nonostante sia richiesto un investimento iniziale comprendente vari voci di costo, tra cui il costo di acquisto del macchinario e la messa in opera ed installazione,

la produzione di energia elettrica comporta un ottimo ritorno economico soprattutto sul lungo periodo.

3.2 FUNZIONAMENTO

Il gruppo espansore opera espandendo il metano con metodologie che variano in base alla tecnologia costruttiva, inoltre esistono diverse possibilità per effettuare la conversione di energia meccanica in elettrica. In tutti i casi si deve prevedere un preriscaldamento del gas, soprattutto per salti di pressione elevati, a monte del regolatore di pressione. In questo modo si evita che, a causa dell'effetto Joule – Thomson, la temperatura a valle dell'espansione si abbassi eccessivamente con possibile formazione di idrati di metano; in Termodinamica l'effetto Joule – Thomson è un fenomeno per cui la temperatura di un gas reale aumenta o diminuisce in seguito ad una compressione/espansione condotta ad entalpia costante, ovvero una trasformazione adiabatica dalla quale non si estrae alcun lavoro.

Dal punto di vista Termodinamico le trasformazioni che intervengono del processo di espansione del gas metano all'interno del gruppo espansore, in generale, possono essere rappresentate in un diagramma semplificato pressione-entalpia del gas. Se il gas arriva all'impianto in condizioni 1 (vedere grafico), la laminazione isoentalpica 2'-3' deve essere preceduta dal riscaldamento 1-2'. Volendo realizzare un'espansione 2-3 (teoricamente, la trasformazione isoentalpica 2i-3), al fine di ottenere energia meccanica, il riscaldamento richiede una somministrazione di energia termica alquanto maggiore (Caso B), pari mediamente a $0.1 \div 0.14$ mc gas/kWh prodotto. Indicando con H l'entalpia del gas, l'espansione è in grado di recuperare, per ogni kg di massa di gas fluente nella macchina, una quantità di energia meccanica pari a $H_2 - H_3$, consumando un'identica quantità di energia termica (a meno del rendimento delle apparecchiature di riscaldamento): infatti, l'energia precedentemente spesa per il pompaggio del gas e la frazione 1-2' del riscaldamento sono da considerare gratuite, in quanto esse sarebbero comunque necessarie. Il sistema perciò consente di convertire energia termica in energia meccanica od elettrica aggirando le limitazioni imposte dal secondo principio della termodinamica. Il rendimento della conversione, grazie al recupero dell'energia spesa a monte, è pari a circa il doppio di quello delle macchine termiche o delle centrali termoelettriche convenzionali.



Per quanto riguarda la produzione di energia elettrica, è fortemente condizionata dal periodo stagionale, oltre che dall'ora del giorno, e dunque dalla portata del gas che varia nel tempo (anno, mese, giorno e ora). È chiaro, dunque, che l'espansore dovrà essere particolarmente flessibile e mantenere valori adeguati del rendimento anche a fronte di considerevoli scostamenti del valore delle portate da quelle previste in sede di progetto (nominali). Questo è oltremodo vantaggioso affinché la macchina possa produrre anche nelle mezze stagioni, quando la portata del gas risulta particolarmente ridotta. Una buona macchina dovrebbe garantire il proprio funzionamento produttivo da un minimo del 20% ad un massimo del 170% del valore della portata nominale di progetto, ovviamente con i migliori valori possibili per quanto attiene il rendimento complessivo.

3.3 TIPOLOGIE COSTRUTTIVE

I gruppi espansori principali si dividono in tre categorie:

- Espansori a turbina
- Espansori a vite
- Espansori con motore alternativo a pistoni

3.3.1 Espansore a turbina

L'espansione viene realizzata mediante una o più turbine poste in serie, costruite secondo un sistema altamente testato che permette una eventuale rapida sostituzione. Ciascuno stadio espande il gas naturale fino ad una pressione intermedia, in modo da arrivare con l'ultimo stadio ad espandere il gas fino alla pressione stabilita di valle. Ogni stadio è costituito da una serie di componenti assemblati tra loro: corpo, flangia di accoppiamento, distributore, giranti e corona.



Esistono diverse soluzioni costruttive per avere l'accoppiamento tra la turbina e l'alternatore, per una maggiore scorrevolezza della tesi si indicheranno con le rispettive sigle "MTE" e "TE":

- **Turboespansore MTE**

Turboespansore con turbina a cuscinetti magnetici senza contatto accoppiato direttamente all'alternatore.

- **Turboespansore TE**

Turboespansore con turbina accoppiata tramite riduttore di giri meccanici.

1. **Corpo**, in fusione di acciaio al carbonio, portante le flange d'ingresso (radiale o tangenziale) e scarico (assiale). Il corpo è collegato mediante la flangia di accoppiamento al riduttore di giri (TE) oppure all'alternatore (MTE).
2. **Flangia di accoppiamento**, in acciaio legato di qualità, posizionata fra il riduttore di giri (TE) o l'alternatore (MTE) e turbina per la chiusura della parte posteriore del corpo turbina e l'alloggiamento della girante, del distributore e delle tenute a labirinto per il gas sull'albero.
3. **Distributore ad ugelli a geometria variabile flottante**, posizionato all'ingresso delle giranti, per il controllo del flusso del gas, con le seguenti funzioni:
 - Ottimizzare la distribuzione del gas alla girante conferendovi una velocità e direzione il più possibile prossima alla radiale;
 - Consentire la trasformazione ottimale dell'energia meccanica all'interno della girante anche al variare della portata, regolando la sezione d'ingresso alla girante, al variare della portata stessa;
 - Ridurre, con l'anello flottante, al minimo le perdite sugli ugelli e migliorare le prestazioni termodinamiche;

È costituito da una serie di palette radiali (ugelli) mobili in modo da variare la geometria convergente/divergente del condotto di distribuzione, incernierate sulla flangia di accoppiamento e azionate contemporaneamente da un meccanismo. Il

comando del meccanismo è effettuato con attuatore pneumatico lineare, provvisto di posizionatore, comandato dal sistema di controllo durante la marcia normale, in funzione della pressione di scarico del turboespansore.

4. **Girante**, aperta a corpo unico ad ingresso radiale e uscita assiale, con grado di reazione (rapporto tra il salto entalpico del rotore ed il salto entalpico totale) pari a 0.5; accoppiata a sbalzo direttamente sull'albero veloce del riduttore di giri oppure dell'alternatore. Viene costruita solitamente impiegando una lega di alluminio ad alta resistenza, prevedendo che la velocità di rotazione sia tale da non eccedere la velocità periferica massima. Si utilizza un abbondante coefficiente di sicurezza nella progettazione. Albero e girante sono collaudati ed equilibrati dinamicamente prima dell'assemblaggio.
5. **Corona**, alloggiata nel corpo della turbina allo scopo di guidare il flusso del gas allo scarico assiale, è costituita in acciaio legato di qualità;
6. **Riduttore di giri (solo per la tipologia TE)**

Il riduttore è posizionato tra la turbina e l'alternatore (in caso di più stadi, è posizionato tra le turbine e l'alternatore). È composto da una cassa, divisa orizzontalmente, in cui è sistemato l'albero di comando con un ingranaggio girante accoppiato a uno/due alberi veloci, posti ai lati della ruota principale e sullo stesso piano, su cui viene montata a sbalzo la girante (le giranti). Il riduttore è anche sostegno della turbina (turbine), infatti la flangia d'accoppiamento viene collegata al riduttore.

Il flusso di forza viene trasmesso dai due alberi pignone all'alternatore attraverso l'ingranaggio girante.

Sull'albero lento sono posti un cuscinetto portante ed un cuscinetto assiale, le spinte assiali di ciascuna turbina vengono trasmesse su questi cuscinetti attraverso dei collari di spinta sistemati sugli alberi pignone. I cuscinetti per gli alberi veloci sono radiali, piani, solidali all'albero. Gli ingranaggi sono a denti elicoidali.

7. Sistema di tenuta

Il sistema di tenuta è totalmente autosufficiente senza necessità di alcun intervento esterno in entrambe le tipologie di turboespansore.

Turboespansore tipo TE

Il sistema funziona in base a differenti livelli di pressione nei fluidi a contatto (olio e gas naturale) generati da un sistema di tenute meccaniche a labirinto e un sistema di canali che guidano i fluidi nelle direzioni volute.

Il principio consiste nel creare una camera in cui sono a contatto olio e gas ad una pressione pari a quella di scarico della turbina. Da un lato della camera arriva l'olio che riduce la propria pressione trafile attraverso i labirinti, mentre dall'altro lato della camera arriva il gas che nel processo trafile dietro la girante e passando tra i labirinti si riduce di pressione. La camera è connessa con l'uscita alla bassa pressione del turboespansore che la mantiene in pressione e con un separatore d'olio. Il separatore scarica olio verso il serbatoio quando la pressione nella camera tende a salire. La miscela olio e gas presente nella camera funge da cuscinetto e barriera alle fughe dell'olio nella turbina e del gas nel riduttore di giri. Anche la tenuta sull'albero lento, per impedire la fuoriuscita dell'olio verso l'esterno, è eseguita con i labirinti. Questo sistema di tenuta funziona senza usura di parti meccaniche rotanti a contatto, utilizzando il gas di processo senza necessità di filtrarlo accuratamente, senza interventi esterni di potenza, senza perdite o trafile verso l'esterno o nel gas di processo. Le perdite che si verificano sono conseguenza della saturazione del gas nell'olio nella camera in cui sono a contatto. Il gas si libera quando l'olio ritorna al serbatoio, a pressione di poco superiore a quella atmosferica, ed a quel punto deve essere prelevato. Questo gas può essere inviato ad un compressore inserito in un opportuno circuito ed essere immesso nella rete di bassa pressione a valle dell'ultimo stadio oppure ad un utilizzatore a bassa pressione dopo essere stato adeguatamente filtrato. Nel caso in cui non si abbia a disposizione una linea di bassa pressione, lo stesso deve essere immesso in atmosfera mediante uno sfiato.

Turboespansore tipo MTE

Il sistema di tenuta è costituito da tenute meccaniche a labirinto che riducono la pressione del gas che trafile dietro la girante durante l'espansione, oltre ad un sistema di canali che guidano il gas fino a farlo confluire nel circuito di raffreddamento dell'alternatore, che utilizza il gas naturale di processo. Anche questo sistema di tenuta funziona senza usura di parti meccaniche rotanti a contatto, utilizzando il gas di processo senza necessità di filtrarlo accuratamente, senza interventi esterni di potenza, senza perdite o trafile verso l'esterno. Il gas che trafile dalle tenute dopo essere prelevato dal circuito di raffreddamento dell'alternatore può essere inviato ad un compressore inserito nel circuito ed essere immesso nella rete di Bassa pressione a valle dell'ultimo stadio oppure ad

un utilizzatore a bassa pressione o essere immesso direttamente nel flusso nel turboespansore in linea.

8. Sistema di lubrificazione ad olio minerale (TE)

Il sistema di lubrificazione ad olio minerale è del tipo chiuso con uno sfiato all'atmosfera. Il sistema comprende due pompe (una azionata dal riduttore di giri ad ingranaggi utilizzata come pompa principale, l'altra elettrica di servizio), sono compresi il riscaldatore elettrico e l'interruttore di livello nel serbatoio.

Una pompa, azionata da un motore elettrico, funzionerà durante l'avvio o nei casi di emergenza in parallelo alla pompa azionata dal riduttore di giri. Il raffreddamento dell'olio lubrificante è assicurato da uno scambiatore ad acqua con una valvola automatica di by pass per il controllo della temperatura dell'olio. Il sistema a doppio filtraggio assicura il massimo livello di purezza dell'olio lubrificante.

9. Cuscinetti magnetici (MTE)

All'estremità dell'albero del generatore sono montate due cartucce contenenti i cuscinetti magnetici che controllano la posizione dell'albero in senso radiale e assiale. Ad ogni estremità dell'albero del generatore viene imbutito un pacco lamellare formante la parte rotorica, mentre la parte statorica è composta da un analogo pacco lamellare nel quale sono previsti degli alloggiamenti entri cui inserire le bobine che, quando percorse da correnti, creano il campo magnetico in senso radiale che provoca la sospensione dell'albero in aria (fenomeno della levitazione). La parte rotorica dei cuscinetti assiali è composta da dischi ferromagnetici posti nella parte centrale dell'albero, in corrispondenza delle sue estremità. Mentre la parte statorica è composta da una toroide in acciaio integrato nei cuscinetti radiali. La posizione dell'albero è rilevata da un numero di sensori fissati su un anello di supporto. I segnali rilevati sono inviati ad un sistema elettronico di controllo che, in funzione delle informazioni ricevute sulla posizione dell'albero, aumenta o diminuisce la corrente inviata agli elettromagneti (parte statorica dei cuscinetti) fino a riportare l'albero in posizione di equilibrio. Questo sistema oltre una certa velocità di rotazione, permette all'albero di girare in perfette condizioni di equilibrio, senza vibrazioni.

10. Alternatore asincrono/sincrono

L'alternatore asincrono/sincrono trasforma l'energia meccanica assorbita dall'espansore in energia elettrica. Esso è posizionato sul telaio del turboespansore e accoppiato all'albero di uscita del riduttore di giri (TE) oppure direttamente alla turbina (MTE).

11. Convertitore di frequenza – Tensione (MTE)

L'alternatore elettrico produce una corrente di tensione e frequenza proporzionali alla velocità di rotazione. Tale corrente deve essere convertita a valori di tensione e frequenza fissati (400 V 50 Hz o 230 V 50 Hz) mediante:

-Raddrizzatore: la corrente prodotta dal generatore viene raddrizzata in un vano addossato al generatore stesso.

-Inverter: a commutazione naturale, posto in un armadio separato e costruito con la moderna tecnologia che utilizza gli IGBT. L'energia prodotta è a 400 V e 50 Hz, con fattore di potenza 1 e distorsione armonica 1%. Queste caratteristiche rientrano abbondantemente nelle ristrette specifiche imposte dalle società produttrici di energia. Un apposito sistema di continuità elettrica garantisce che ai supporti magnetici ed al regolatore non manchi mai l'alimentazione. L'elettronica di potenza viene raffreddata ad acqua con un circuito che serve contemporaneamente a preriscaldare il metano, contribuendo così ad aumentare il rendimento dell'impianto o direttamente del gas.

12. Valvola di regolazione e chiusura rapida

La valvola di regolazione e chiusura rapida posta all'ingresso della turbina di primo stadio deve garantire il seguente servizio:

-Chiusura rapida con interruzione del flusso di gas alla turbina; per emergenza con blocco del turboespansore in caso di funzionamento difettoso oppure di operazioni errate, proteggendo così l'unità da danni più gravi.

-Regolazione di pressione e di portata del gas naturale in funzione delle condizioni termodinamiche del gas all'ingresso a all'uscita della turbina.

Circuito acqua calda di preriscaldamento gas naturale

Il circuito acqua di preriscaldamento comprende gli scambiatori di calore, le tubazioni, pompe e valvole per il collegamento alla rete vapore del turbogas necessario per il preriscaldamento.

Circuito acqua di raffreddamento/recupero calore

Il circuito comprende tutti i componenti necessari a garantire il corretto raffreddamento:

- Dell'olio di lubrificazione (TE), circuito composto da scambiatore olio/acqua, tubazioni acqua, scambiatore acqua/gas e sistema di reintegro acqua dall'acquedotto;
- Dell'alternatore (MTE), circuito composto da scambiatore gas/gas, tubazioni gas;

- Dell'inverter (MTE), circuito composto da scambiatore acqua/gas, tubazioni gas e acqua;

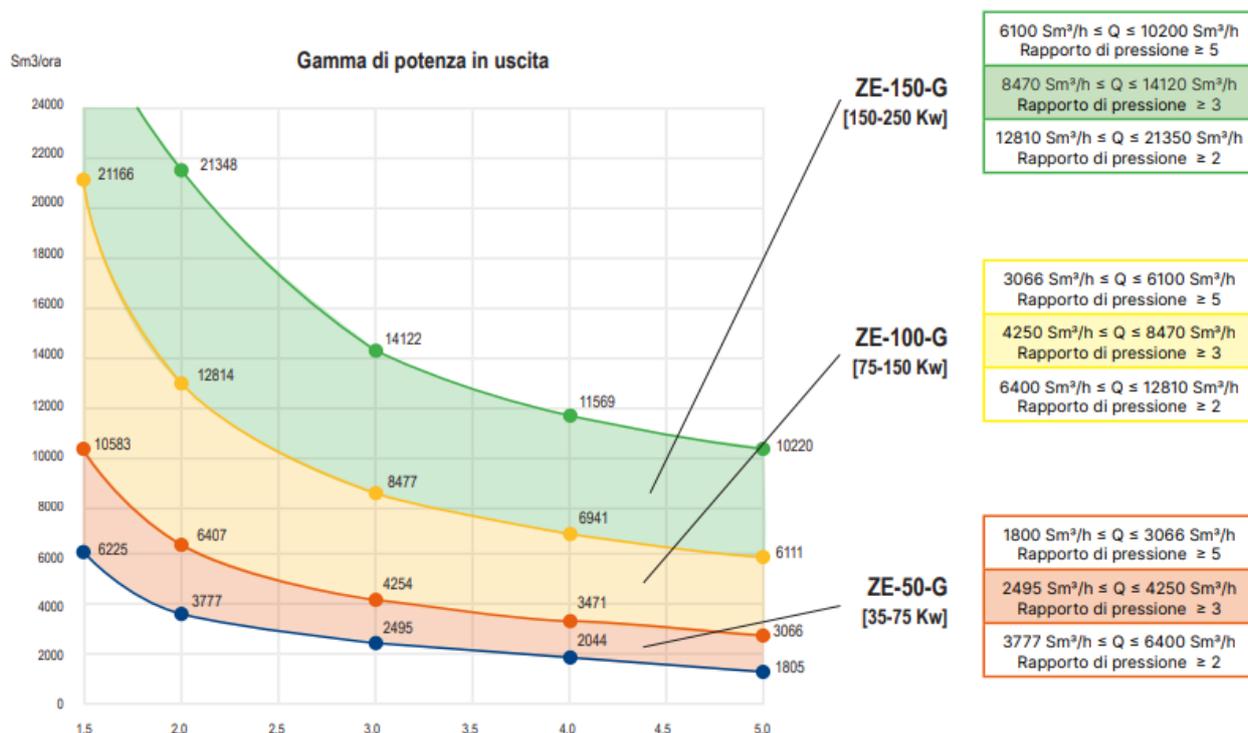
Circuito gas naturale

Il circuito gas naturale comprende le linee per la connessione alla cabina di riduzione tradizionale, inclusa la misura della portata del gas e del filtro separatore all'ingresso. Comprende anche la realizzazione delle tubazioni per l'alimentazione della centrale termica.

Range di applicazione

Il Turboespansore a turbina è adatto per industrie con portate volumetriche di gas naturale da 1800 a 21000 Sm³ / h e pressioni in ingresso fino a 50 bar. L'intervallo di potenza elettrica è generalmente compreso tra 35 e 250 kW. Nella tabella 2 e nel diagramma viene riportata la gamma di potenza del Turboespansore in relazione alla portata volumetrica e al rapporto di pressione tra ingresso e uscita:

Tabella 2. RANGE TURBOESPANSORE		
ZE-50-G [35-75 kW]	ZE-100-G [75-150 kW]	ZE-150-G [150-250 kW]
1800 Sm ³ /h ≤ Q ≤ 3066 Sm ³ /h Rapporto di pressione ≥ 5	3066 Sm ³ /h ≤ Q ≤ 6100 Sm ³ /h Rapporto di pressione ≥ 5	6100 Sm ³ /h ≤ Q ≤ 10200 Sm ³ /h Rapporto di pressione ≥ 5
2045 Sm ³ /h ≤ Q ≤ 3470 Sm ³ /h Rapporto di pressione ≥ 4	3470 Sm ³ /h ≤ Q ≤ 6940 Sm ³ /h Rapporto di pressione ≥ 4	6940 Sm ³ /h ≤ Q ≤ 11570 Sm ³ /h Rapporto di pressione ≥ 4
2495 Sm ³ /h ≤ Q ≤ 4250 Sm ³ /h Rapporto di pressione ≥ 3	4250 Sm ³ /h ≤ Q ≤ 8470 Sm ³ /h Rapporto di pressione ≥ 3	8470 Sm ³ /h ≤ Q ≤ 14120 Sm ³ /h Rapporto di pressione ≥ 3
3777 Sm ³ /h ≤ Q ≤ 6400 Sm ³ /h Rapporto di pressione ≥ 2	6400 Sm ³ /h ≤ Q ≤ 12810 Sm ³ /h Rapporto di pressione ≥ 2	12810 Sm ³ /h ≤ Q ≤ 21350 Sm ³ /h Rapporto di pressione ≥ 2



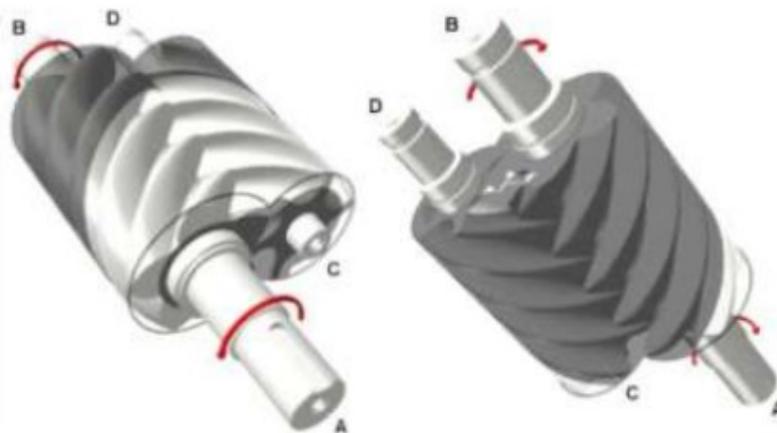
La portata del gas metano nella tabella e nel grafico è espressa in Smc ovvero “Standard Metro Cubo”. Allo scopo di rendere le misure tra loro omogenee e utilizzabili ai fini commerciali, è necessario che le quantità indicate dai misuratori nelle differenti condizioni di esercizio siano ricondotte a corrispondenti quantità misurate in condizioni di pressione e temperatura standard. Nella misura di un gas si deve infatti tenere conto che la quantità di gas che occupa il volume di 1 m³ è variabile, perché dipende dalla temperatura e dalla pressione presenti all’atto della misura.

3.3.2 Espansore a Vite

Gli espansori a vite nascono al fine di elaborare correnti di vapore umido per generare energia elettrica, tuttavia sono stati adattati per elaborare gas metano. Essi, infatti, permettono di espandere generando un ciclo termodinamico approssimabile al ciclo denominato Trilateral Flash Cycle (TFC) che, grazie alle sue caratteristiche, è in grado di innalzare il rendimento del ciclo in maniera rilevante.

Struttura espansore

La struttura degli espansori a vite è composta da due rotori (viti maschio e femmina) controrotanti connessi ai corrispondenti alberi che trasmettono il moto ad un generatore elettrico. Il fluido viene espanso procedendo in direzione assiale nel volume che si viene a generare tra i lobi delle viti. Il gas riempie il volume tra le viti, isolato e poi scaricato nella zona a bassa pressione. I rotori ruotano in versi opposti attorno ai propri assi paralleli.

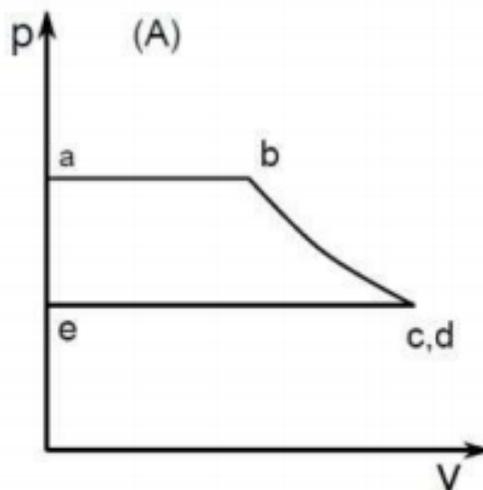


Gli espansori a vite sono in grado di elaborare sia gas che correnti di vapore. Queste macchine permettono al fluido di lavoro prescelto di espandersi da una pressione di ingresso superiore ad una pressione di uscita inferiore; questa differenza di pressione, insieme alla regolazione della temperatura del gas nelle tubazioni, rappresenta l'unico requisito necessario al fine di avere un funzionamento corretto della macchina.

Ciclo Termodinamico

Gli espansori a vite permettono al fluido di lavoro di espandersi nel volume delimitato dai lobi delle viti. Il ciclo termodinamico in un espansore ideale è caratterizzato da:

- una pressione di ammissione del fluido di lavoro costante;
- un'espansione isoentropica del fluido con un iniziale volume specifico;
- una pressione di scarico del fluido di lavoro esausto costante.



Tale ciclo è da considerarsi lontano da una configurazione reale. Infatti, si possono enunciare le principali perdite in un ciclo reale:

- cadute di pressione durante l'ammissione e lo scarico del fluido di lavoro;
- espansione non isoentropica dovuta alle resistenze passive.

Perdite della macchina

Nell'espansore a vite si possono valutare due tipi di perdite che vanno ad incidere sulle performance della macchina, ovvero le perdite di trafilamento del fluido di lavoro e le perdite fluidodinamiche. Le perdite per trafilamento esistono a causa dei giochi tra le varie parti in movimento del rotore e della cassa che li contiene. Queste non possono venire meno poiché i giochi presenti nella macchina hanno la funzione di garantire un opportuno spazio di dilatazione degli organi in movimento sottoposti a stress termico ed a stress meccanico (inflexione dovuta alle forze in gioco).

È possibile identificare le zone della macchina ove avvengono queste perdite:

- la linea di contatto che si viene a formare tra i due rotori;
- lo sfiatatoio che si viene a formare tra le cuspidi dei rotori ed il loro punto di contatto;
- le perdite sull'apice dei rotori;
- le perdite sulla faccia d'ingresso dei rotori;
- le perdite sulla faccia d'uscita dei rotori.

Applicazione

Gli espansori a vite grazie alla loro piccola taglia (fino al MW elettrico) e la loro capacità di espandere in campana sono particolarmente indicati per il recupero di energia da fonti a bassa entalpia. Tra le fonti si annoverano sorgenti geotermiche, biomassa da valorizzare in assetto cogenerativo, correnti di vapori umido e di gas caldi. Inoltre alle fonti appena citate, si possono inserire impianti per la climatizzazione civile ed industriale.

Esempio di espansore disponibile in commercio

Una prima ipotesi di espansore a vite utilizzabile per lo scopo prefissato è il modello LANGSON G250, di cui si riporta un'immagine rappresentativa.



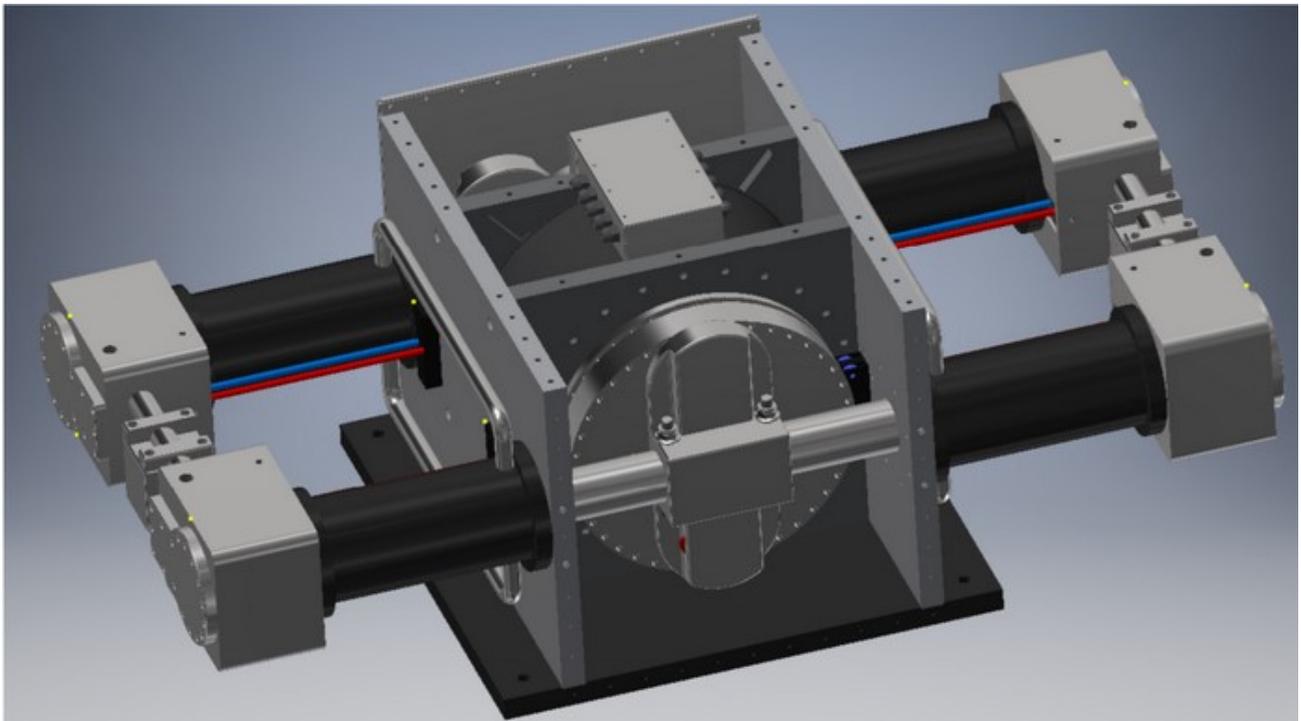
Tale macchina è dotata di una potenza elettrica incrementabile fino ad un massimo di 250kW, in funzione dell'effettiva portata di gas metano in ingresso. La massima portata

in ingresso risulta pari a 30 bar ed in uscita pari a 1 bar, con un massimo rapporto di decompressione pari 30:1. Di seguito si riportano le specifiche di produzione:

System Characteristics	
Electric Power at Generator Terminals	up to 250kW ⁽¹⁾
Acceptable Gases	All except O2 & H2
Emissions	Zero
CO2 Mitigated	Saves approx. 1,500 Metric Tons CO2 per year ⁽²⁾
Maximum Pressure In	450 PSIA (31 BARA)
Minimum Pressure Out	1 PSIA (.07 BARA; 7 kPa)
Maximum Pressure Ratio	30:1
Maximum Temperature	482°F (250°C)
Minimum Temperature	-4 °F (-20°C)
Maximum Gas Flow	650,000 SCFM (18,410 Nm3/hr)
Flow Examples of Gas In & Out at various Pressure Reduction Ratios (PR) to generate 250 kW with Inlet & Outlet Temps at 50°F/10°C	6:1 PR needs 229,400 SCFH (6,500 Nm3/hr) 5:1 PR needs 257,700 SCFH (7,300 Nm3/hr) 4:1 PR needs 303,600 SCFH (8,600 Nm3/hr) 3:1 PR needs 370,600 SCFH (10,500 Nm3/hr) 2:1 PR needs 645,400 SCFH (18,000 Nm3/hr)
Sound Level	85 dB @ 3.28 feet (1 meter)
Dimensions	7.5 x 16.5 x 8.2 feet (2.286 x 5.029 x 2.5 meters)
Weight	17,650 lbs (8,000 kilograms)
Design Life	20 years
Packaging	Factory assembled, skid mounted
Warranty	18 months from date received or 12 months from date installed whichever occurs first
Conversion System	
Expander Drive	Oil-free helical twin screw expander
Expander Characteristics	Positive Displacement
Rotor Material	Steel
Case Material	Steel
Connection to Generator	Direct Drive
3 Phase Generator	
Manufacturer	Marathon
Type	Induction or Synchronous
Voltage	240/480 volts, 200/400 to 480 volts, others avail.
Frequency	60 Hz or 50 Hz
Rotational Speed	1000 - 6000 rpm (generally 1500-1800 rpm)
Interconnection	
Transient voltage/surge suppression at utility interface	Safety relay
Controls	
Controls	Siemens
Remote monitoring	Will support IP protocol, 3G cellular, satellite communications, wireless internet. Customer to supply computer hardware & connection fees

3.3.3 Espansore con motore alternativo a pistoni

Il recupero dell'energia avviene sfruttando un motore a quattro pistoni a vapore, adattato per uso con gas metano, generalmente impiegato per la realizzazione di un impianto di cogenerazione al fine della produzione simultanea di calore ed energia elettrica (sfruttando il movimento del motore in abbinamento ad alternatore). Il motore viene generalmente utilizzato in abbinamento a specifica caldaia per biomassa in grado di produrre energia termica, tramite combustione efficiente ad alta temperatura, trasmessa ad un circuito di acqua demineralizzata per la produzione di vapore. A fine ciclo il medesimo vapore viene condensato e ritorna alla caldaia; nella fase di condensazione l'energia termica ancora contenuta viene recuperata attraverso scambiatore per mezzo di un circuito di acqua a temperatura inferiore alla fase di condensazione. Il macchinario in questione è a tutti gli effetti un prodotto innovativo, in quanto la tecnologia costruttiva prediletta impiegata come espansore è la turbina. L'innovazione proposta con il sistema in esame è stata definita confrontando le tecnologie simili che generalmente prevedono l'impiego di turbo espansori di taglia medio-piccola abbinata a specifiche pompe di calore, per la generazione dell'energia termica necessaria ad evitare l'abbassamento della temperatura del gas sotto la soglia critica. L'abbinamento consente un uso efficiente dell'energia elettrica prodotta, in questo caso impiegata per il preriscaldamento del gas di processo e, per la parte eccedente, immessa nella rete di distribuzione.



Caratteristiche

Il posizionamento lineare dei cilindri permette l'utilizzo di materiali che non necessitano di lubrificazione ad olio per le parti in contatto con il circuito a gas. Si evita così il formarsi di emulsioni e elementi di separazione. Il motore stesso è concepito per la corsa lenta, il che favorisce la durata di tutte le parti meccaniche in gioco.

Come generatore si usa un magnete permanente collegato al primo elemento. Questa tecnologia fa sì che risulti possibile il controllo diretto dei giri motore evitando così che il sistema possa andare fuori controllo (aspetto di notevole importanza al fine di garantire la sicurezza degli operatori di sistema). Al fine di garantire il momento del motore a pistoni viene impiegata l'espansione del gas in circuiti secondari a più fasi di espansioni, con scambiatori in collegamento ad un circuito dell'acqua secondario connesso ad apposite caldaie a gas necessario per regolare la temperatura in uscita del gas metano in maniera che non risulti inferiore allo zero.

L'aspetto innovativo consiste proprio nel realizzare un prodotto migliorato per uso con il gas metano partendo da un'applicazione con vapore acqua e caldaia a biomassa. La macchina rispetto a configurazione standard a due pistoni risulta composta da una configurazione a quattro pistoni, proprio necessaria per la realizzazione della doppia espansione del gas.

La scelta della soluzione tecnica proposta permette di effettuare sullo stesso macchinario 2 espansioni del gas metano, con un riscaldamento intermedio (ottenuto mediante scambio termico con fluido vettore acqua pre-riscaldato da caldaia a gas presenti in opera, alimentate da gas a bassa pressione in uscita) atto a regolare la temperatura del gas che non possa scendere sotto la soglia prefissata.

Altro aspetto di notevole importanza è la portabilità e modularità del sistema, gli elementi dell'impianto sono montabili all'interno di un apposito container costruito a questo scopo con cablaggi e tubazioni finiti tra i vari macchinari. Questa soluzione facilita l'installazione e la messa in funzione sul sito di destinazione.

Nonostante gli scambiatori stabilizzanti, la quantità di gas metano trattato potrebbe variare stagionalmente ed il gruppo elettrogeno flessibile, grazie alla possibilità di variazione del numero di giri, potrà ricavare energia elettrica comunque con giri limitati. Per quanto riguarda la stabilizzazione della frequenza della corrente elettrica prodotta, questo avviene tramite apposito inverter a valle del sistema.

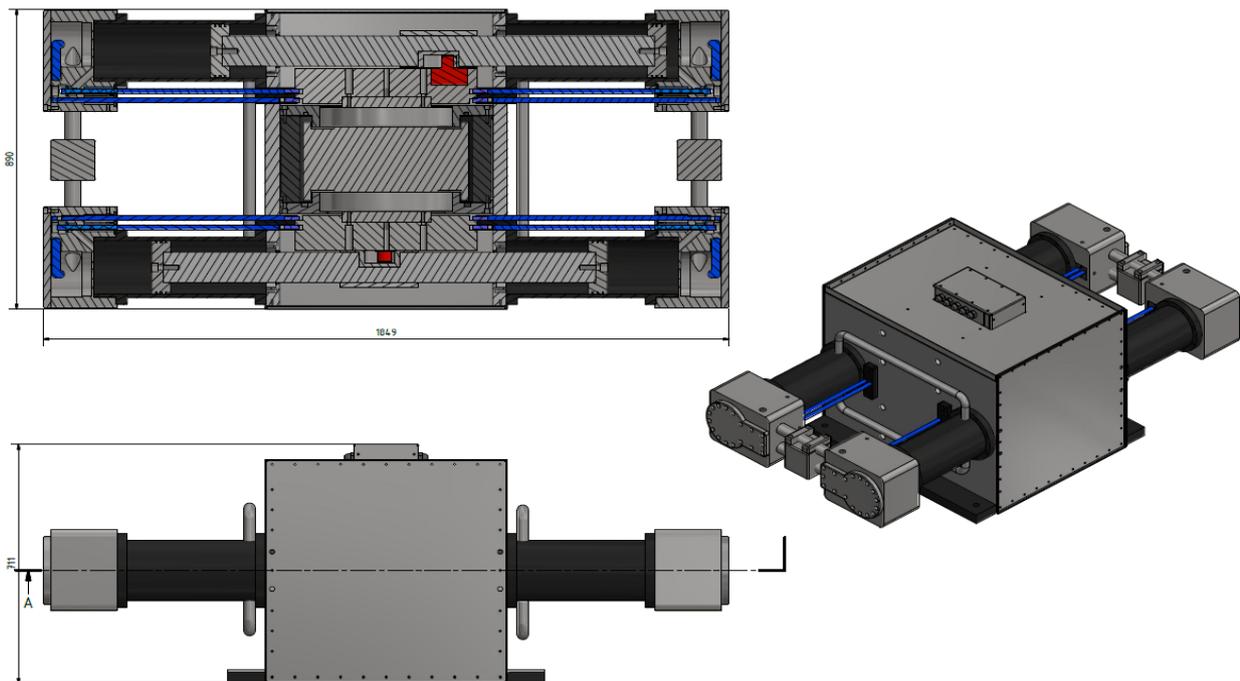
Il generatore a stantuffi risulta una macchina semplice con una tecnologia robusta, in grado di avere una capacità di modulazione ottimale ed in grado di operare a basse

velocità. La velocità nominale risulta essere tipicamente circa 300 rpm, con possibilità di variazione sino a zero.

Il prodotto rappresenta un elemento migliorato derivante da tecnologia generalmente utilizzata in espansori a vapore ad alta pressione e temperatura, perciò variando i materiali di tenuta sugli stantuffi è possibile ottenere un macchinario in grado di operare in condizioni di lavoro a secco (ovvero prive di lubrificazione nella zona a contatto con il gas). Essendo il macchinario progettato per un funzionamento ad alte temperature, nel caso specifico della decompressione del gas metano, le sollecitazioni risultano inferiori alle nominali e pertanto in sicurezza.

L'ingresso e l'uscita del fluido dalla camera di lavoro sono governati da valvole di aspirazione e scarico in grado di aprirsi e chiudersi in base alla posizione in cui si trova il pistone.

Il moto alternativo del pistone viene convertito in rotativo per essere più utilizzabile per la conversione in energia elettrica. I pistoni disposti in parallelo intorno all'albero motore, sono in grado di produrre il moto alternativo in rotazione con l'ausilio di un piano inclinato solidale all'albero e connesso ai perni dei pistoni.



A differenza dei compressori, nell'espansore progettato il gradiente di pressione si muove in direzione opposta a quella del fluido, di conseguenza le valvole lamellari, comandate dalla differenza di pressione tra cilindro e condotti di aspirazione e/o scarico, non possono essere utilizzate e l'apertura o chiusura delle valvole risulta comandata. Il sistema di attuazione rende l'espansore più complesso ed oltre a dover

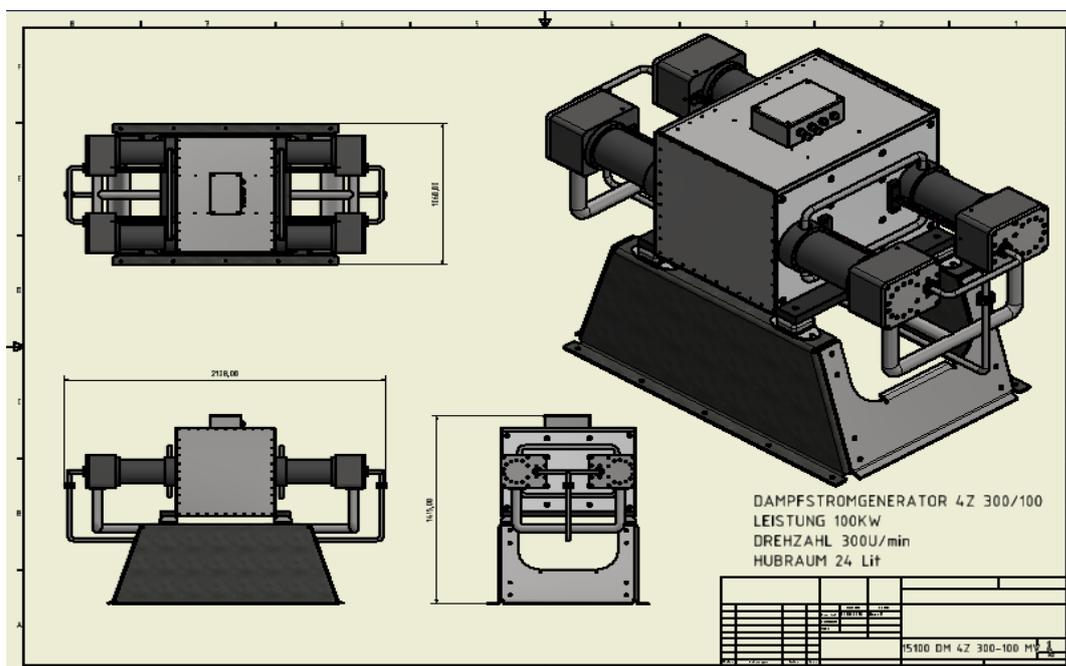
gestire l'aumento delle perdite, risulta necessario procedere al controllo da remoto dell'intero sistema.

Inoltre, dato che il fluido si trova a temperature diverse rispetto alla carcassa del cilindro ed alla testa del pistone, ne deriva pertanto uno scambio di calore. La temperatura delle pareti inferiore a quello del fluido in aspirazione (eccetto che nel caso del progetto di generi un pre-riscaldamento del fluido vettore per il tramite del cilindro) causa un raffreddamento del fluido e quindi un possibile aumento della portata.

Differenze con le tecnologie tradizionali

La novità introdotta consiste nel dare una nuova funzionalità ad una tecnologia generalmente impiegata in altri settori garantendo notevoli vantaggi rispetto alle tecnologie del settore per gli attuali sistemi di decompressione del gas metano (generalmente turbine), nello specifico:

- Il motore non si basa sulla trasformazione di un motore pre-esistente. Il suo funzionamento a corsa lenta favorisce la durata delle parti meccaniche e diminuisce la frequenza di interventi di manutenzione. Le componenti a contatto con il circuito gas sono prive di lubrificazione ad olio e pertanto non si formano emulsioni;
- Il generatore a magnete permanente permette la variazione dei giri motore. Nel caso in cui il contenuto di gas nel circuito risulti minore si produrrà comunque energia elettrica.
- Alti rapporti di volume interni;
- Resistenza ad elevate pressioni e temperatura di esercizio;
- Capacità di lavorare con fluidi differenti;
- Basse velocità di rotazione.



Motore a vapore a due pistoni:



Grandezze fisiche tipiche e stima qualitativa della potenza ottenibile

Considerando una portata di riferimento di 2100 mc/h e considerando un rendimento equivalente teorico raggiungibile sull'espansore del 70%, sulle coppie di pistoni si raggiunge:

- Con la prima coppia di pistoni un'espansione da 41 bar a 14 bar;
- Con la seconda coppia di pistoni da 14 bar a 5 bar.

In questo modo, si ottiene un recupero energetico di circa 45 kWe ad ogni espansione, prevedendo la necessità di riscaldamento dalle caldaie atte a garantire una temperatura consona del gas in circolo. L'impianto così composto, si prevede possa lavorare a regime nominale per un buon numero di ore anno, quando la portata della cabina raggiunge almeno 2100 mc/h, durante il resto del tempo, si prevede possa modulare in riduzione, in base alla portata che da quanto rilevato non dovrebbe mai scende sotto i 900 mc/h, la macchina modulerà al minimo al 40-50%.

Verranno prodotti in condizioni nominali circa 95 kWe, a fronte di un maggior consumo di gas per riscaldamento di circa 85kW termici. Il gas in uscita verrà ceduto ad una temperatura di qualche grado superiore allo zero.

Fughe di gas

Altro aspetto fondamentale di cui è risultato importante effettuare una specifica valutazione e determinazione della relativa soluzione è la gestione delle fughe che avvengono quando risulta presente una differenza di pressione attraverso un cammino di fuga. Questi cammini si creano dai giochi fra le parti meccaniche dell'espansore e dipendono dalla progettazione meccanica e del grado di precisione nella realizzazione.

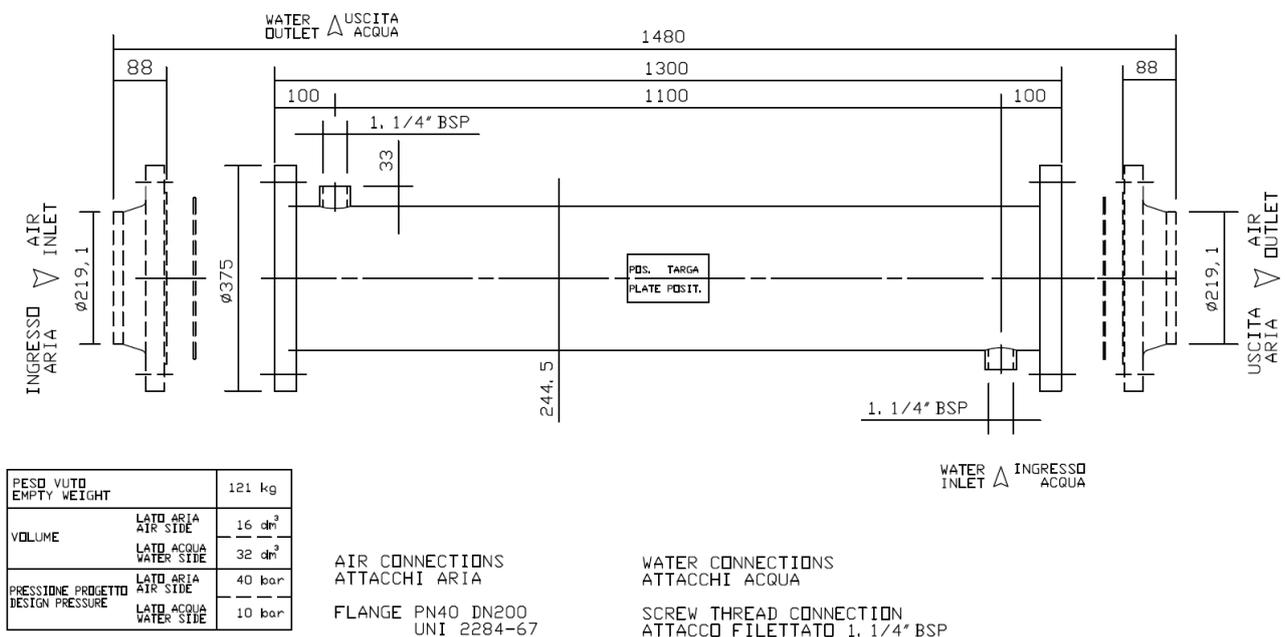
Gestione degli attriti

Ultimo aspetto di interesse che si vuole rappresentare è la gestione degli attriti; le perdite per attrito avvengono quando le parti a contatto si mettono in moto tra loro. In questo tipo di espansori, le principali forze di attrito sono localizzate nel gruppo pistone-cilindro e nei cuscinetti del meccanismo biella-manovella. Le perdite per attrito sono dovute anche al tipo di carico applicato alle parti in movimento (albero).

Scambiatore di calore

Lo scambiatore, con sufficiente superficie scambiante, rappresenta un elemento importante grazie alla sua massa di metallo è in grado di immagazzinare l'energia termica, stabilizzando la produzione istantanea di gas a bassa pressione in presenza di una ridotta quantità di acqua. Sostituisce un vaso di stoccaggio appositamente creato ad hoc evitando un monitoraggio in continuo da parte di un conduttore patentato. Con la strada di regolazione del sistema è possibile regolare con precisione la pressione da 0 a 50 bar.

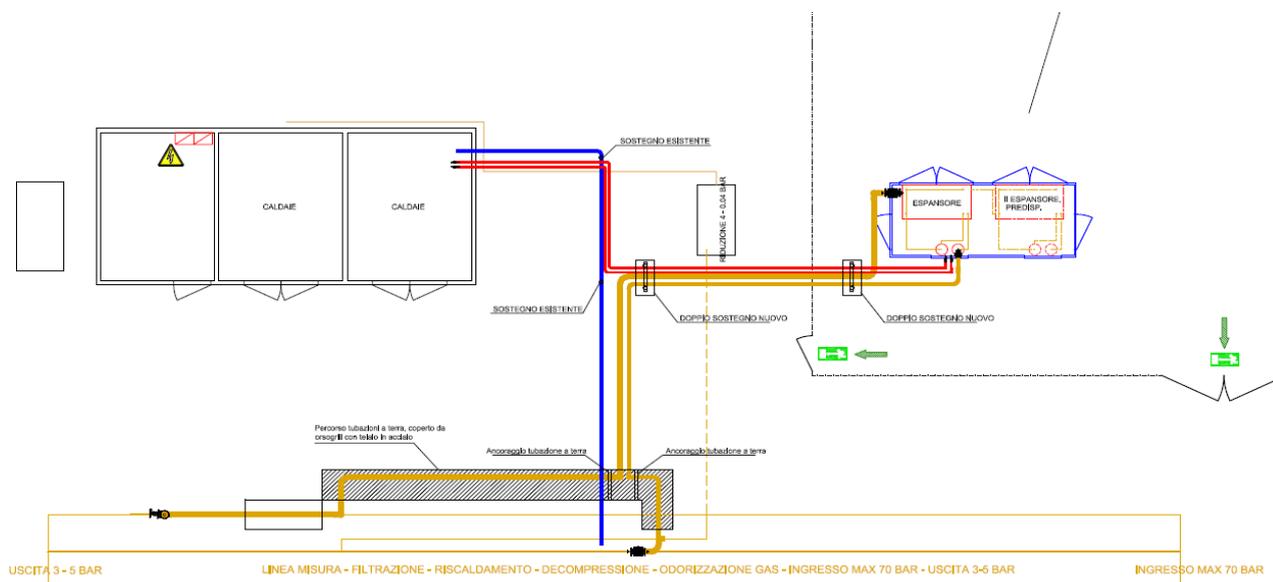
Scambiatore di calore compatibile con espansore alternativo a pistoni:



3.4 INSERIMENTO DELL'ESPANSORE NELL'IMPIANTO

Al fine di garantire l'inserimento del sistema in esame su una tipica linea di riduzione si prevede di inserire l'espansore con la redazione di un intero ramo di riduzione da installarsi in parallelo ai 2 esistenti, prelevando nel punto prima degli scambiatori di calore esistenti. La linea di riduzione è stata realizzata con opportune valvole di intercettazione come da schema ad hoc messo a punto con l'espansore considerato come un riduttore di pressione e pertanto munito a monte di apposita valvola di blocco (come sicurezza aggiuntiva lungo la linea) e monitor riduttore.

Appena a monte dopo la valvola di derivazione ed intercettazione, prima della valvola di blocco, si prevede di installare uno scambiatore di calore, del tipo in contro corrente ed a fascio tubiero, tubi e mantello, per il riscaldamento del gas derivato, il quale arriva all'espansore ad una temperatura di circa 70°C, dove verrà espanso al primo stadio. Successivamente uscirà dalla macchina per essere riscaldato una seconda volta, con un secondo scambiatore a tubi e mantello e poi espanso al secondo stadio della macchina espansore. Successivamente viene immesso nella rete a 4 bar; sull'ultimo tratto si prevede una valvola di sovrappressione tarata come le altre esistenti.



4 Dimensionamento termodinamico di massima del turboespansore da installare in un impianto di decompressione

Per effettuare il dimensionamento di un espansore con turbina è essenziale definire i parametri che maggiormente influenzano la configurazione dell'impianto:

- Il rapporto “ r_p ”, ovvero il rapporto tra la pressione d'ingresso e la pressione d'uscita del gas dall'espansore. Questo parametro consente di scegliere adeguatamente se adottare una soluzione con turbina monostadio o multistadio: Per $r_p < 5$ è giustificata dal punto di vista economico una configurazione monostadio, mentre per rapporti superiori sono richiesti schemi a due o tre stadi. Il salto entalpico, e quindi l'energia specifica producibile, aumenta con r_p .
- La portata in massa del gas “ M ”.

Per eseguire il dimensionamento termodinamico del turboespansore da inserire in un impianto di decompressione del gas metano, si ipotizzano i seguenti valori dei parametri di progetto:

- Portata del gas naturale (Max) 70.000 Smc/h;
- Portata del gas naturale (Minima) 40.000 Smc/h;
- Pressione di ingresso del gas naturale 60,00 ÷ 70,00 bar;
- Pressione di uscita del gas naturale 31,00 bar;
- Temperatura di ingresso / uscita del gas naturale 10/15 °C

Le condizioni di progetto, cioè il funzionamento continuo della macchina ed il rapporto di espansione basso ($r_p \approx 2$), a cui occorre riferirsi, determinano che il ciclo termodinamico è eseguibile dalla macchina a singolo stadio. Definito il ciclo termodinamico più conveniente da realizzare si può individuare la taglia ed il tipo di turboespansore inseribile nell'impianto. Con queste condizioni iniziali, la soluzione possibile è costituita da un unico turboespansore con riduttore di giri tradizionale a cuscinetti lubrificati ad olio (tipologia di espansore TE), che elabora tutta la portata a disposizione. Le caratteristiche tecniche ed i componenti del macchinario sono stati illustrati precedentemente. Il ciclo termodinamico che il gas subisce, visibile nel seguente diagramma Pressione – Entalpia, consiste in:

1. Un riscaldamento a pressione costante pari a 65 bar, “Punto 1”, con il quale partendo da una temperatura di 30.85 °C si raggiungono i 91.85 °C, corrispondente al “Punto 2”;
2. Una laminazione con cui il gas viene portato ad una pressione di 31 bar ed una temperatura di 14.85 °C, “Punto 3”.

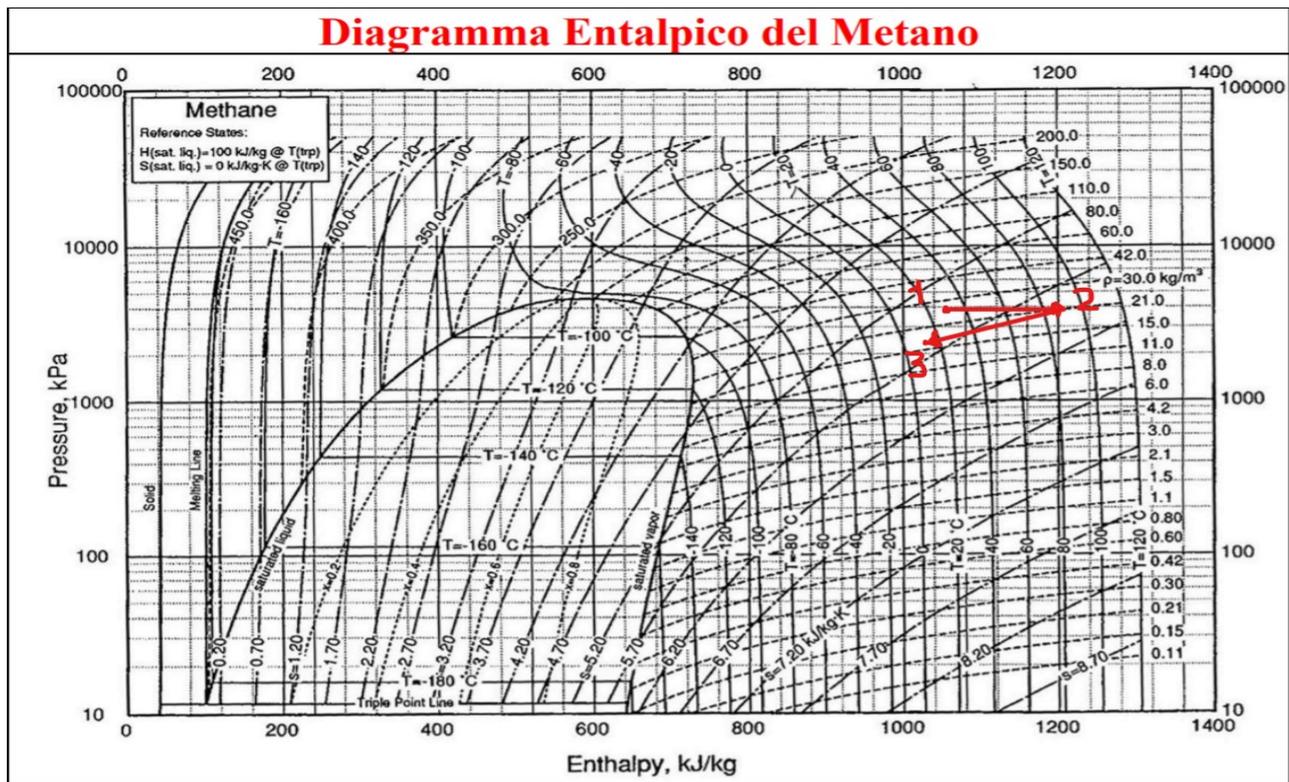
Le prestazioni ed i dati tecnici caratteristici previsti del turboespansore in grado di funzionare con una pressione del gas metano in ingresso di 65 bar, e con la pressione di uscita pari a 31 bar, corrispondenti ai valori di pressione e del ΔP di espansione subito dal gas nella stazione di decompressione, sono indicate nelle seguenti tabelle:

Prestazioni della macchina in diversi asset operativi:

Portata gas naturale		70.000	59.000	40.000
Condizione	Smc/h	Max	Nominale di progetto	Min.
Unità				
Pressione ingresso	bar(a)	65	65	65
Pressione uscita	bar(a)	31	31	31
Temperatura ingresso	°C	54	55	55,5
Temperatura uscita	°C	15	15	15
Rendimento adiabatico	%	83	86	80
Potenza meccanica	kW	1150	1010	666
Velocità di rotazione	RPM	23100	23100	23100
ACCOPPIAMENTO RIDUTTORE/GENERATORE				
Potenza meccanica giunto	kW	1090	950	606

Potenza elettrica morsetti generatore	kW	1050	915	575
Condizione TG		MAX	Design	Min
Potenza elettrica totale	kW	1050	915	575
Potenza termica totale	kW	1890	1550	1051
Potenza termica laminazione	kW	679	572	387
Potenza termica netto lamin.	kW	1211	980	664

Diagramma pressione – entalpia del gas metano:



5 Analisi della produzione di energia elettrica

Sulla base dei report giornalieri forniti dalla società Ascoli Reti Gas srl, relativi all'anno 2017, è stata valutata la possibile produzione annua di energia elettrica ed il conseguente ritorno economico, accedendo al meccanismo del ritiro dedicato. Il Ritiro Dedicato è una modalità semplificata a disposizione dei produttori per la commercializzazione dell'energia elettrica prodotta e immessa in rete, attiva dal 1° gennaio 2008. Consiste nella cessione al GSE (Gestore Servizi Energetici) dell'energia elettrica immessa in rete dagli impianti che vi possono accedere, su richiesta del produttore e in alternativa al libero mercato, secondo principi di semplicità procedurale e applicando condizioni economiche di mercato. Il GSE corrisponde infatti al produttore un determinato prezzo per ogni kWh immesso in rete. I ricavi derivanti ai produttori dalla vendita al GSE dell'energia elettrica si sommano quindi a quelli conseguiti dagli eventuali meccanismi di incentivazione a eccezione del caso in cui si applichino prezzi fissi onnicomprensivi, inclusivi dell'incentivo, per il ritiro dell'energia elettrica immessa in rete.

Di seguito si riportano le ipotesi effettuate per la valutazione della potenza elettrica ottenibile:

- Pressione massima in ingresso (come da specifiche della macchina) pari a 30 bar;

- Pressione minima in uscita 12 bar;
- Volume di gas giornalieri come da indicazione della società Ascoli Reti Gas srl;
- Tariffa GSE per ritiro dedicato pari a 0,039 €/kWh, corrispondente al minimo garantito per l'anno 2017. Di seguito si riporta estratto delle tariffe di riferimento GSE:

Tasso di variazione annuale dei prezzi al consumo per le famiglie di operai e impiegati rilevato dall'Istat nell'anno 2016 rispetto all'anno 2015

-0,1%

Prezzi minimi garantiti per l'anno 2017

Fonte	Quantità di energia elettrica ritirata su base annua	Prezzo minimo garantito per il 2017 (formula riportata nella deliberazione 618/2013/R/efr)	Prezzo minimo garantito (valore vigente per l'anno 2017)
		[€/MWh]	[€/MWh]
<i>Biogas da fermentatori anaerobici, biomasse solide e biomasse liquide</i>	fino a 2.000.000 kWh	$PMG_{2016} * (1 + FOI_{2016}/100)$	92,3
<i>Biogas da discarica</i>	fino a 1.500.000 kWh	$PMG_{2016} * (1 + FOI_{2016}/100)$	49,0
<i>Eolica</i>	fino a 1.500.000 kWh	$PMG_{2016} * (1 + FOI_{2016}/100)$	49,0
<i>Solare fotovoltaico</i>	fino a 1.500.000 kWh	$PMG_{2016} * (1 + FOI_{2016}/100)$	39,0
<i>Idrica</i>	fino a 250.000 kWh	$(PMG_{2016} - 25) * (1 + FOI_{2016}/100) + 25$	153,3
	oltre 250.000 kWh e fino a 500.000 kWh	$(PMG_{2016} - 25) * (1 + FOI_{2016}/100) + 25$	105,4
	oltre 500.000 kWh e fino a 1.000.000 kWh	$(PMG_{2016} - 25) * (1 + FOI_{2016}/100) + 25$	66,6
	oltre 1.000.000 kWh e fino a 1.500.000 kWh	$(PMG_{2016} - 25) * (1 + FOI_{2016}/100) + 25$	57,7
<i>Geotermica</i>	fino a 1.500.000 kWh	$PMG_{2016} * (1 + FOI_{2016}/100)$	51,1
<i>Fonti diverse dalle altre</i>	fino a 1.500.000 kWh	$PMG_{2016} * (1 + FOI_{2016}/100)$	39,0

ANNO 2017 - MISURATO/STIMATO													
GENNAIO													
GG	Sm3/gg	Portata m3/sec	Peso specifico	kg/s	Pressione in ingresso (da scheda) (bar)	Pressione in uscita (da scheda) (bar)	DELTA P (m.c.H2O)	Efficienza sistema	Potenza stimata KW	Ore giorno	Energia prodotta KWH	TARIFFA GSE	€ OTTENIBILI
Sun 01	193,247.000	2.237	0.656	1.467	30.000	12.000	180.000	0.700	184.873	24	4437	0.039	€ 173.04
Mon 02	212,568.000	2.460	0.656	1.614	30.000	12.000	180.000	0.700	203.357	24	4881	0.039	€ 190.34
Tue 03	228,342.000	2.643	0.656	1.734	30.000	12.000	180.000	0.700	218.447	24	5243	0.039	€ 204.47
Wed 04	232,946.000	2.696	0.656	1.769	30.000	12.000	180.000	0.700	222.852	24	5348	0.039	€ 208.59
Thu 05	242,572.000	2.808	0.656	1.842	30.000	12.000	180.000	0.700	232.061	24	5569	0.039	€ 217.21
Fri 06	254,709.000	2.948	0.656	1.934	30.000	12.000	180.000	0.700	243.672	24	5848	0.039	€ 228.08
Sat 07	262,642.000	3.040	0.656	1.994	30.000	12.000	180.000	0.700	251.261	24	6000	0.039	€ 234.00
Sun 08	263,302.000	3.047	0.656	1.999	30.000	12.000	180.000	0.700	251.892	24	6000	0.039	€ 234.00
Mon 09	289,405.000	3.350	0.656	2.197	30.000	12.000	180.000	0.700	276.364	24	6000	0.039	€ 234.00
Tue 10	305,950.000	3.541	0.656	2.323	30.000	12.000	180.000	0.700	292.692	24	6000	0.039	€ 234.00
Wed 11	308,374.000	3.569	0.656	2.341	30.000	12.000	180.000	0.700	295.011	24	6000	0.039	€ 234.00
Thu 12	288,750.000	3.342	0.656	2.192	30.000	12.000	180.000	0.700	276.238	24	6000	0.039	€ 234.00
Fri 13	260,627.000	3.017	0.656	1.979	30.000	12.000	180.000	0.700	249.333	24	5984	0.039	€ 233.38
Sat 14	230,718.000	2.670	0.656	1.752	30.000	12.000	180.000	0.700	220.720	24	5297	0.039	€ 206.59
Sun 15	238,643.000	2.762	0.656	1.812	30.000	12.000	180.000	0.700	228.302	24	5479	0.039	€ 213.69
Mon 16	291,058.000	3.369	0.656	2.210	30.000	12.000	180.000	0.700	278.445	24	6000	0.039	€ 234.00
Tue 17	268,688.000	3.110	0.656	2.040	30.000	12.000	180.000	0.700	257.045	24	6000	0.039	€ 234.00
Wed 18	246,584.000	2.854	0.656	1.872	30.000	12.000	180.000	0.700	235.899	24	5662	0.039	€ 220.80
Thu 19	272,252.000	3.151	0.656	2.067	30.000	12.000	180.000	0.700	260.454	24	6000	0.039	€ 234.00
Fri 20	275,504.000	3.189	0.656	2.092	30.000	12.000	180.000	0.700	263.565	24	6000	0.039	€ 234.00
Sat 21	241,849.000	2.799	0.656	1.836	30.000	12.000	180.000	0.700	231.369	24	5553	0.039	€ 216.56
Sun 22	231,365.000	2.678	0.656	1.757	30.000	12.000	180.000	0.700	221.339	24	5312	0.039	€ 207.17
Mon 23	274,409.000	3.176	0.656	2.083	30.000	12.000	180.000	0.700	262.518	24	6000	0.039	€ 234.00
Tue 24	271,532.000	3.143	0.656	2.062	30.000	12.000	180.000	0.700	259.766	24	6000	0.039	€ 234.00
Wed 25	265,866.000	3.077	0.656	2.019	30.000	12.000	180.000	0.700	254.345	24	6000	0.039	€ 234.00
Thu 26	271,605.000	3.144	0.656	2.062	30.000	12.000	180.000	0.700	259.835	24	6000	0.039	€ 234.00
Fri 27	274,411.000	3.176	0.656	2.083	30.000	12.000	180.000	0.700	262.520	24	6000	0.039	€ 234.00
Sat 28	244,324.000	2.828	0.656	1.855	30.000	12.000	180.000	0.700	233.737	24	5610	0.039	€ 218.78
Sun 29	225,739.000	2.613	0.656	1.714	30.000	12.000	180.000	0.700	215.957	24	5183	0.039	€ 202.14
Mon 30	260,211.000	3.012	0.656	1.976	30.000	12.000	180.000	0.700	248.935	24	5974	0.039	€ 233.00
Tue 31	249,219.000	2.884	0.656	1.892	30.000	12.000	180.000	0.700	238.420	24	5722	0.039	€ 223.16
TOTALE											177103		€ 6,907.00
FEBBRAIO													
GG	Sm3/gg	Portata m3/sec	Peso specifico	kg/s	Pressione in ingresso (da scheda) (bar)	Pressione in uscita (da scheda) (bar)	DELTA P (m.c.H2O)	Efficienza sistema	Potenza stimata KW	Ore giorno	Energia prodotta KWH	TARIFFA GSE	€ OTTENIBILI
Wed 01	220,687	2.554	0.656	1.676	30.000	12.000	180.000	0.700	211.124	24	5067	0.039	€ 197.61
Thu 02	208,706	2.416	0.656	1.585	30.000	12.000	180.000	0.700	199.662	24	4792	0.039	€ 186.88
Fri 03	192,155	2.224	0.656	1.459	30.000	12.000	180.000	0.700	183.828	24	4412	0.039	€ 172.06
Sat 04	145,500	1.684	0.656	1.105	30.000	12.000	180.000	0.650	129.253	24	3102	0.039	€ 120.98
Sun 05	138,242	1.600	0.656	1.050	30.000	12.000	180.000	0.650	122.805	24	2947	0.039	€ 114.95
Mon 06	195,495	2.263	0.656	1.484	30.000	12.000	180.000	0.700	187.024	24	4489	0.039	€ 175.05
Tue 07	206,489	2.390	0.656	1.568	30.000	12.000	180.000	0.700	197.541	24	4741	0.039	€ 184.90
Wed 08	217,796	2.521	0.656	1.654	30.000	12.000	180.000	0.700	208.358	24	5001	0.039	€ 195.02
Thu 09	221,862	2.568	0.656	1.685	30.000	12.000	180.000	0.700	212.248	24	5094	0.039	€ 198.66
Fri 10	229,493	2.656	0.656	1.742	30.000	12.000	180.000	0.700	219.548	24	5269	0.039	€ 205.50
Sat 11	185,951	2.152	0.656	1.412	30.000	12.000	180.000	0.700	177.893	24	4269	0.039	€ 166.51
Sun 12	165,030	1.910	0.656	1.253	30.000	12.000	180.000	0.700	157.879	24	3789	0.039	€ 147.77
Mon 13	206,316	2.388	0.656	1.566	30.000	12.000	180.000	0.700	197.376	24	4737	0.039	€ 184.74

Wed 15	207,437	2.401	0.656	1.575	30.000	12.000	180.000	0.700	198.448	24	4763	0.039	€ 185.75
Thu 16	195,065	2.258	0.656	1.481	30.000	12.000	180.000	0.700	186.612	24	4479	0.039	€ 174.67
Fri 17	190,465	2.204	0.656	1.446	30.000	12.000	180.000	0.700	182.212	24	4373	0.039	€ 170.55
Sat 18	167,064	1.934	0.656	1.268	30.000	12.000	180.000	0.700	159.825	24	3836	0.039	€ 149.60
Sun 19	162,586	1.882	0.656	1.234	30.000	12.000	180.000	0.700	155.541	24	3733	0.039	€ 145.59
Mon 20	208,620	2.415	0.656	1.584	30.000	12.000	180.000	0.700	199.580	24	4790	0.039	€ 186.81
Tue 21	207,120	2.397	0.656	1.573	30.000	12.000	180.000	0.700	198.145	24	4755	0.039	€ 185.46
Wed 22	200,068	2.316	0.656	1.519	30.000	12.000	180.000	0.700	191.398	24	4594	0.039	€ 179.15
Thu 23	181,055	2.096	0.656	1.375	30.000	12.000	180.000	0.700	173.209	24	4157	0.039	€ 162.12
Fri 24	177,712	2.057	0.656	1.349	30.000	12.000	180.000	0.700	170.011	24	4080	0.039	€ 159.13
Sat 25	160,132	1.853	0.656	1.216	30.000	12.000	180.000	0.700	153.193	24	3677	0.039	€ 143.39
Sun 26	143,324	1.659	0.656	1.088	30.000	12.000	180.000	0.650	127.319	24	3056	0.039	€ 119.17
Mon 27	182,412	2.111	0.656	1.385	30.000	12.000	180.000	0.700	174.507	24	4188	0.039	€ 163.34
Tue 28	167,251	1.936	0.656	1.270	30.000	12.000	180.000	0.700	160.003	24	3840	0.039	€ 149.76
TOTALE											297967		€ 4.713.70
MARZO													
GG	Sm3/gg	Portata m3/sec	Peso specifico	kg/s	Pressione in ingresso (da scheda) (bar)	Pressione in uscita (da scheda) (bar)	DELTA P (m.c.H2O)	Efficienza sistema	Potenza stimata KW	Ore giorno	Energia prodotta kWh	TARIFFA GSE	€ OTTENIBILI
Wed 01	163,063	1.887	0.656	1.238	30.000	12.000	180.000	0.700	155.997	24	3744	0.039	€ 146.01
Thu 02	158,393	1.833	0.656	1.203	30.000	12.000	180.000	0.700	151.529	24	3637	0.039	€ 141.83
Fri 03	148,280	1.716	0.656	1.126	30.000	12.000	180.000	0.650	131.722	24	3161	0.039	€ 123.29
Sat 04	122,696	1.420	0.656	0.932	30.000	12.000	180.000	0.650	108.995	24	2616	0.039	€ 102.02
Sun 05	113,505	1.314	0.656	0.862	30.000	12.000	180.000	0.650	100.830	24	2420	0.039	€ 94.38
Mon 06	140,783	1.629	0.656	1.069	30.000	12.000	180.000	0.650	125.062	24	3001	0.039	€ 117.06
Tue 07	190,695	2.207	0.656	1.448	30.000	12.000	180.000	0.700	182.432	24	4378	0.039	€ 170.76
Wed 08	179,165	2.074	0.656	1.360	30.000	12.000	180.000	0.700	171.401	24	4114	0.039	€ 160.43
Thu 09	157,780	1.826	0.656	1.198	30.000	12.000	180.000	0.700	150.943	24	3623	0.039	€ 141.28
Fri 10	150,403	1.741	0.656	1.142	30.000	12.000	180.000	0.700	143.886	24	3453	0.039	€ 134.68
Sat 11	139,912	1.619	0.656	1.062	30.000	12.000	180.000	0.650	124.288	24	2983	0.039	€ 116.33
Sun 12	133,344	1.543	0.656	1.012	30.000	12.000	180.000	0.650	118.454	24	2843	0.039	€ 110.87
Mon 13	180,711	2.092	0.656	1.372	30.000	12.000	180.000	0.700	172.880	24	4149	0.039	€ 161.82
Tue 14	175,213	2.028	0.656	1.330	30.000	12.000	180.000	0.700	167.620	24	4023	0.039	€ 156.89
Wed 15	170,039	1.968	0.656	1.291	30.000	12.000	180.000	0.700	162.671	24	3904	0.039	€ 152.26
Thu 16	151,791	1.757	0.656	1.152	30.000	12.000	180.000	0.700	145.213	24	3485	0.039	€ 135.92
Fri 17	132,099	1.529	0.656	1.003	30.000	12.000	180.000	0.650	117.348	24	2816	0.039	€ 109.84
Sat 18	81,844	0.947	0.656	0.621	30.000	12.000	180.000	0.650	72.705	24	1745	0.039	€ 68.05
Sun 19	69,188	0.801	0.656	0.525	30.000	12.000	180.000	0.650	61.462	24	1475	0.039	€ 57.53
Mon 20	104,638	1.211	0.656	0.794	30.000	12.000	180.000	0.650	92.953	24	2231	0.039	€ 87.00
Tue 21	115,829	1.341	0.656	0.879	30.000	12.000	180.000	0.650	102.895	24	2469	0.039	€ 96.31
Wed 22	113,672	1.316	0.656	0.863	30.000	12.000	180.000	0.650	100.979	24	2423	0.039	€ 94.52
Thu 23	107,143	1.240	0.656	0.813	30.000	12.000	180.000	0.650	95.179	24	2284	0.039	€ 89.09
Fri 24	109,233	1.264	0.656	0.829	30.000	12.000	180.000	0.650	97.035	24	2329	0.039	€ 90.83
Sat 25	75,320	0.872	0.656	0.572	30.000	12.000	180.000	0.650	66.909	24	1606	0.039	€ 62.63
Sun 26	66,492	0.770	0.656	0.505	30.000	12.000	180.000	0.650	59.067	24	1418	0.039	€ 55.29
Mon 27	118,221	1.368	0.656	0.898	30.000	12.000	180.000	0.650	105.029	24	2521	0.039	€ 98.31
Tue 28	123,447	1.429	0.656	0.937	30.000	12.000	180.000	0.650	109.662	24	2632	0.039	€ 102.64
Wed 29	112,308	1.300	0.656	0.853	30.000	12.000	180.000	0.650	99.767	24	2394	0.039	€ 93.38
Thu 30	94,150	1.090	0.656	0.715	30.000	12.000	180.000	0.650	83.637	24	2007	0.039	€ 78.28
Fri 31	85,983	0.995	0.656	0.653	30.000	12.000	180.000	0.650	76.382	24	1833	0.039	€ 71.49
TOTALE											87718		€ 3.421.02
APRILE													
GG	Sm3/gg	Portata m3/sec	Peso specifico	kg/s	Pressione in ingresso (da scheda) (bar)	Pressione in uscita (da scheda) (bar)	DELTA P (m.c.H2O)	Efficienza sistema	Potenza stimata KW	Ore giorno	Energia prodotta kWh	TARIFFA GSE	€ OTTENIBILI

Sat 01	58,442	0.676	0.656	0.444	30,000	12,000	180,000	0.650	51.916	24	1246	0.039	€ 48.59
Sun 02	58,110	0.673	0.656	0.441	30,000	12,000	180,000	0.650	51.621	24	1239	0.039	€ 48.32
Mon 03	88,841	1.028	0.656	0.675	30,000	12,000	180,000	0.650	78.920	24	1894	0.039	€ 73.87
Tue 04	87,808	1.016	0.656	0.667	30,000	12,000	180,000	0.650	78.003	24	1872	0.039	€ 73.01
Wed 05	88,821	1.028	0.656	0.674	30,000	12,000	180,000	0.650	78.903	24	1894	0.039	€ 73.85
Thu 06	96,709	1.119	0.656	0.734	30,000	12,000	180,000	0.650	85.910	24	2062	0.039	€ 80.41
Fri 07	95,744	1.108	0.656	0.727	30,000	12,000	180,000	0.650	85.053	24	2041	0.039	€ 79.61
Sat 08	64,438	0.746	0.656	0.489	30,000	12,000	180,000	0.650	57.242	24	1374	0.039	€ 53.58
Sun 09	58,183	0.673	0.656	0.442	30,000	12,000	180,000	0.650	51.686	24	1240	0.039	€ 48.38
Mon 10	75,977	0.879	0.656	0.577	30,000	12,000	180,000	0.650	67.493	24	1620	0.039	€ 63.17
Tue 11	67,853	0.785	0.656	0.515	30,000	12,000	180,000	0.650	60.276	24	1447	0.039	€ 56.42
Wed 12	66,082	0.765	0.656	0.502	30,000	12,000	180,000	0.650	58.703	24	1409	0.039	€ 54.95
Thu 13	57,500	0.666	0.656	0.437	30,000	12,000	180,000	0.650	51.079	24	1226	0.039	€ 47.81
Fri 14	52,044	0.602	0.656	0.395	30,000	12,000	180,000	0.650	46.232	24	1110	0.039	€ 43.27
Sat 15	41,286	0.478	0.656	0.313	30,000	12,000	180,000	0.650	36.676	24	880	0.039	€ 34.33
Sun 16	36,182	0.419	0.656	0.275	30,000	12,000	180,000	0.650	32.142	24	771	0.039	€ 30.08
Mon 17	43,245	0.501	0.656	0.328	30,000	12,000	180,000	0.650	38.416	24	922	0.039	€ 35.96
Tue 18	85,889	0.994	0.656	0.652	30,000	12,000	180,000	0.650	76.298	24	1831	0.039	€ 71.41
Wed 19	118,028	1.366	0.656	0.896	30,000	12,000	180,000	0.650	104.848	24	2516	0.039	€ 98.14
Thu 20	140,240	1.623	0.656	1.065	30,000	12,000	180,000	0.650	124.580	24	2990	0.039	€ 116.61
Fri 21	139,804	1.618	0.656	1.061	30,000	12,000	180,000	0.650	124.193	24	2981	0.039	€ 116.24
Sat 22	98,973	1.146	0.656	0.751	30,000	12,000	180,000	0.650	87.921	24	2110	0.039	€ 82.29
Sun 23	75,417	0.873	0.656	0.573	30,000	12,000	180,000	0.650	66.995	24	1608	0.039	€ 62.71
Mon 24	76,082	0.881	0.656	0.578	30,000	12,000	180,000	0.650	67.586	24	1622	0.039	€ 63.26
Tue 25	57,164	0.662	0.656	0.434	30,000	12,000	180,000	0.650	50.781	24	1219	0.039	€ 47.53
Wed 26	74,869	0.867	0.656	0.568	30,000	12,000	180,000	0.650	66.509	24	1596	0.039	€ 62.25
Thu 27	66,122	0.765	0.656	0.502	30,000	12,000	180,000	0.650	58.738	24	1410	0.039	€ 54.98
Fri 28	66,658	0.772	0.656	0.506	30,000	12,000	180,000	0.650	59.215	24	1421	0.039	€ 55.42
Sat 29	57,805	0.669	0.656	0.439	30,000	12,000	180,000	0.650	51.350	24	1232	0.039	€ 48.06
Sun 30	51,592	0.597	0.656	0.392	30,000	12,000	180,000	0.650	45.831	24	1100	0.039	€ 42.90
TOTALE											47883		€ 1,867.43

MAGGIO

GG	Sm3/gg	Portata m3/sec	Peso specifico	kg/s	Pressione in ingresso (da scheda) (bar)	Pressione in uscita (da scheda) (bar)	DELTA P (m.c.H2O)	Efficienza sistema	Potenza stimata KW	Ore giorno	Energia prodotta KWH	TARIFFA GSE	€ OTTENIBILI
Mon 01	49,906	0.578	0.656	0.379	30,000	12,000	180,000	0.650	44.333	24	1064	0.039	€ 41.50
Tue 02	70,452	0.815	0.656	0.535	30,000	12,000	180,000	0.650	62.585	24	1502	0.039	€ 58.58
Wed 03	68,524	0.793	0.656	0.520	30,000	12,000	180,000	0.650	60.872	24	1461	0.039	€ 56.98
Thu 04	60,994	0.706	0.656	0.463	30,000	12,000	180,000	0.650	54.183	24	1300	0.039	€ 50.72
Fri 05	61,869	0.716	0.656	0.470	30,000	12,000	180,000	0.650	54.960	24	1319	0.039	€ 51.44
Sat 06	46,953	0.543	0.656	0.356	30,000	12,000	180,000	0.650	41.710	24	1001	0.039	€ 39.04
Sun 07	44,862	0.519	0.656	0.341	30,000	12,000	180,000	0.650	39.852	24	956	0.039	€ 37.30
Mon 08	62,362	0.722	0.656	0.473	30,000	12,000	180,000	0.650	55.398	24	1330	0.039	€ 51.85
Tue 09	69,369	0.803	0.656	0.527	30,000	12,000	180,000	0.650	61.623	24	1479	0.039	€ 57.68
Wed 10	62,112	0.719	0.656	0.472	30,000	12,000	180,000	0.650	55.176	24	1324	0.039	€ 51.64
Thu 11	54,733	0.633	0.656	0.416	30,000	12,000	180,000	0.650	48.621	24	1167	0.039	€ 45.51
Fri 12	51,322	0.594	0.656	0.390	30,000	12,000	180,000	0.650	45.591	24	1094	0.039	€ 42.67
Sat 13	35,094	0.406	0.656	0.266	30,000	12,000	180,000	0.650	31.175	24	748	0.039	€ 29.18
Sun 14	32,690	0.378	0.656	0.248	30,000	12,000	180,000	0.650	29.040	24	697	0.039	€ 27.18
Mon 15	50,898	0.589	0.656	0.386	30,000	12,000	180,000	0.650	45.214	24	1085	0.039	€ 42.32
Tue 16	54,055	0.626	0.656	0.410	30,000	12,000	180,000	0.650	48.019	24	1152	0.039	€ 44.95
Wed 17	53,268	0.617	0.656	0.404	30,000	12,000	180,000	0.650	47.320	24	1136	0.039	€ 44.29
Thu 18	52,507	0.608	0.656	0.399	30,000	12,000	180,000	0.650	46.644	24	1119	0.039	€ 43.66

Fri 19	47,249	0.547	0.656	0.359	30.000	12.000	180.000	0.650	41.973	24	1007	0.039	€ 39.29
Sat 20	32,459	0.376	0.656	0.246	30.000	12.000	180.000	0.650	28.834	24	692	0.039	€ 26.99
Sun 21	32,994	0.382	0.656	0.251	30.000	12.000	180.000	0.650	29.310	24	703	0.039	€ 27.43
Mon 22	51,582	0.597	0.656	0.392	30.000	12.000	180.000	0.650	45.822	24	1100	0.039	€ 42.89
Tue 23	53,698	0.622	0.656	0.408	30.000	12.000	180.000	0.650	47.702	24	1145	0.039	€ 44.65
Wed 24	53,139	0.615	0.656	0.403	30.000	12.000	180.000	0.650	47.205	24	1133	0.039	€ 44.18
Thu 25	49,723	0.575	0.656	0.378	30.000	12.000	180.000	0.650	44.171	24	1060	0.039	€ 41.34
Fri 26	48,376	0.571	0.656	0.375	30.000	12.000	180.000	0.650	43.862	24	1053	0.039	€ 41.06
Sat 27	32,839	0.380	0.656	0.249	30.000	12.000	180.000	0.650	29.172	24	700	0.039	€ 27.30
Sun 28	32,060	0.371	0.656	0.243	30.000	12.000	180.000	0.650	28.480	24	684	0.039	€ 26.66
Mon 29	50,603	0.586	0.656	0.384	30.000	12.000	180.000	0.650	44.952	24	1079	0.039	€ 42.08
Tue 30	52,312	0.605	0.656	0.397	30.000	12.000	180.000	0.650	46.470	24	1115	0.039	€ 43.50
Wed 31	50,045	0.579	0.656	0.380	30.000	12.000	180.000	0.650	44.457	24	1067	0.039	€ 41.61
TOTALE											33473		€ 1,305.46

GIUGNO

GG	Sm3/gg	Portata m3/sec	Peso specifico	kg/s	Pressione in ingresso (da scheda) (bar)	Pressione in uscita (da scheda) (bar)	DELTA P (m.c.H2O)	Efficienza sistema	Potenza stimata kW	Ore giorno	Energia prodotta kWh	TARIFFA GSE	€ OTTENIBILI
Thu 01	46,782	0.541	0.656	0.355	30.000	12.000	180.000	0.650	41.558	24	997	0.039	€ 38.90
Fri 02	29,900	0.346	0.656	0.227	30.000	12.000	180.000	0.650	26.561	24	637	0.039	€ 24.86
Sat 03	32,661	0.378	0.656	0.248	30.000	12.000	180.000	0.650	29.014	24	696	0.039	€ 27.16
Sun 04	29,490	0.341	0.656	0.224	30.000	12.000	180.000	0.650	26.197	24	629	0.039	€ 24.52
Mon 05	44,313	0.513	0.656	0.336	30.000	12.000	180.000	0.650	39.365	24	945	0.039	€ 36.85
Tue 06	47,456	0.549	0.656	0.360	30.000	12.000	180.000	0.650	42.157	24	1012	0.039	€ 39.46
Wed 07	47,396	0.549	0.656	0.360	30.000	12.000	180.000	0.650	42.103	24	1010	0.039	€ 39.41
Thu 08	50,307	0.582	0.656	0.382	30.000	12.000	180.000	0.650	44.689	24	1073	0.039	€ 41.83
Fri 09	49,335	0.573	0.656	0.376	30.000	12.000	180.000	0.650	44.004	24	1056	0.039	€ 41.19
Sat 10	33,351	0.388	0.656	0.255	30.000	12.000	180.000	0.650	29.804	24	715	0.039	€ 27.90
Sun 11	30,256	0.350	0.656	0.230	30.000	12.000	180.000	0.650	26.877	24	645	0.039	€ 25.16
Mon 12	47,162	0.546	0.656	0.358	30.000	12.000	180.000	0.650	41.896	24	1005	0.039	€ 39.21
Tue 13	46,273	0.536	0.656	0.351	30.000	12.000	180.000	0.650	41.106	24	987	0.039	€ 38.48
Wed 14	47,218	0.547	0.656	0.359	30.000	12.000	180.000	0.650	41.945	24	1007	0.039	€ 39.26
Thu 15	47,174	0.546	0.656	0.358	30.000	12.000	180.000	0.650	41.906	24	1006	0.039	€ 39.22
Fri 16	44,533	0.515	0.656	0.338	30.000	12.000	180.000	0.650	39.560	24	949	0.039	€ 37.03
Sat 17	30,836	0.357	0.656	0.234	30.000	12.000	180.000	0.650	27.394	24	657	0.039	€ 25.64
Sun 18	27,474	0.318	0.656	0.209	30.000	12.000	180.000	0.650	24.406	24	586	0.039	€ 22.84
Mon 19	45,517	0.527	0.656	0.346	30.000	12.000	180.000	0.650	40.434	24	970	0.039	€ 37.85
Tue 20	45,574	0.527	0.656	0.346	30.000	12.000	180.000	0.650	40.485	24	972	0.039	€ 37.89
Wed 21	43,673	0.505	0.656	0.332	30.000	12.000	180.000	0.650	38.796	24	931	0.039	€ 36.31
Thu 22	43,485	0.503	0.656	0.330	30.000	12.000	180.000	0.650	38.629	24	927	0.039	€ 36.16
Fri 23	42,748	0.495	0.656	0.325	30.000	12.000	180.000	0.650	37.974	24	911	0.039	€ 35.54
Sat 24	30,152	0.349	0.656	0.229	30.000	12.000	180.000	0.650	26.785	24	643	0.039	€ 25.07
Sun 25	25,186	0.292	0.656	0.191	30.000	12.000	180.000	0.650	22.374	24	537	0.039	€ 20.94
Mon 26	42,752	0.495	0.656	0.325	30.000	12.000	180.000	0.650	37.978	24	911	0.039	€ 35.55
Tue 27	44,817	0.519	0.656	0.340	30.000	12.000	180.000	0.650	39.812	24	955	0.039	€ 37.26
Wed 28	46,110	0.534	0.656	0.350	30.000	12.000	180.000	0.650	40.961	24	983	0.039	€ 38.34
Thu 29	45,166	0.523	0.656	0.343	30.000	12.000	180.000	0.650	40.124	24	963	0.039	€ 37.56
Fri 30	42,988	0.498	0.656	0.326	30.000	12.000	180.000	0.650	38.188	24	917	0.039	€ 35.74
TOTALE											26234		€ 1,023.13

LUGLIO

GG	Sm3/gg	Portata m3/sec	Peso specifico	kg/s	Pressione in ingresso (da scheda) (bar)	Pressione in uscita (da scheda) (bar)	DELTA P (m.c.H2O)	Efficienza sistema	Potenza stimata kW	Ore giorno	Energia prodotta kWh	TARIFFA GSE	€ OTTENIBILI
Sat 01	30,857	0.357	0.656	0.234	30.000	12.000	180.000	0.650	27.411	24	658	0.039	€ 25.66
Sun 02	27,038	0.313	0.656	0.205	30.000	12.000	180.000	0.650	24.019	24	576	0.039	€ 22.48

Mon,03	46,140	0.534	0.656	0.350	30.000	12.000	180.000	0.650	40.988	24	984	0.039	€ 38.36
Tue,04	46,021	0.533	0.656	0.349	30.000	12.000	180.000	0.650	40.882	24	981	0.039	€ 38.27
Wed,05	44,851	0.519	0.656	0.341	30.000	12.000	180.000	0.650	39.843	24	956	0.039	€ 37.29
Thu,06	45,293	0.524	0.656	0.344	30.000	12.000	180.000	0.650	40.235	24	966	0.039	€ 37.66
Fri,07	43,052	0.498	0.656	0.327	30.000	12.000	180.000	0.650	38.245	24	918	0.039	€ 35.80
Sat,08	29,170	0.338	0.656	0.221	30.000	12.000	180.000	0.650	25.913	24	622	0.039	€ 24.25
Sun,09	21,152	0.245	0.656	0.161	30.000	12.000	180.000	0.650	18.790	24	451	0.039	€ 17.59
Mon,10	42,328	0.490	0.656	0.321	30.000	12.000	180.000	0.650	37.601	24	902	0.039	€ 35.19
Tue,11	44,493	0.515	0.656	0.338	30.000	12.000	180.000	0.650	39.525	24	949	0.039	€ 37.00
Wed,12	44,472	0.515	0.656	0.338	30.000	12.000	180.000	0.650	39.506	24	948	0.039	€ 36.98
Thu,13	44,170	0.511	0.656	0.335	30.000	12.000	180.000	0.650	39.238	24	942	0.039	€ 36.73
Fri,14	43,029	0.498	0.656	0.327	30.000	12.000	180.000	0.650	38.224	24	917	0.039	€ 35.78
Sat,15	29,580	0.342	0.656	0.225	30.000	12.000	180.000	0.650	26.277	24	631	0.039	€ 24.60
Sun,16	25,048	0.290	0.656	0.190	30.000	12.000	180.000	0.650	22.251	24	534	0.039	€ 20.83
Mon,17	44,698	0.517	0.656	0.339	30.000	12.000	180.000	0.650	39.705	24	953	0.039	€ 37.16
Tue,18	45,670	0.529	0.656	0.347	30.000	12.000	180.000	0.650	40.570	24	974	0.039	€ 37.97
Wed,19	40,001	0.463	0.656	0.304	30.000	12.000	180.000	0.650	35.534	24	853	0.039	€ 33.26
Thu,20	38,551	0.446	0.656	0.293	30.000	12.000	180.000	0.650	34.246	24	822	0.039	€ 32.05
Fri,21	38,040	0.440	0.656	0.289	30.000	12.000	180.000	0.650	33.792	24	811	0.039	€ 31.63
Sat,22	23,618	0.273	0.656	0.179	30.000	12.000	180.000	0.650	20.981	24	504	0.039	€ 19.64
Sun,23	18,941	0.219	0.656	0.144	30.000	12.000	180.000	0.650	16.826	24	404	0.039	€ 15.75
Mon,24	39,061	0.452	0.656	0.297	30.000	12.000	180.000	0.650	34.699	24	833	0.039	€ 32.48
Tue,25	43,858	0.508	0.656	0.333	30.000	12.000	180.000	0.650	38.961	24	935	0.039	€ 36.47
Wed,26	45,103	0.522	0.656	0.342	30.000	12.000	180.000	0.650	40.066	24	962	0.039	€ 37.50
Thu,27	44,570	0.516	0.656	0.338	30.000	12.000	180.000	0.650	39.593	24	950	0.039	€ 37.06
Fri,28	43,903	0.508	0.656	0.333	30.000	12.000	180.000	0.650	39.000	24	936	0.039	€ 36.50
Sat,29	29,814	0.345	0.656	0.226	30.000	12.000	180.000	0.650	26.485	24	636	0.039	€ 24.79
Sun,30	26,391	0.305	0.656	0.200	30.000	12.000	180.000	0.650	23.444	24	563	0.039	€ 21.94
Mon,31	35,650	0.413	0.656	0.271	30.000	12.000	180.000	0.650	31.669	24	760	0.039	€ 29.64
TOTALE											24828		€ 968.31
AGOSTO													
GG	Sm3/gg	Portata m3/sec	Peso specifico	kg/s	Pressione in ingresso (da scheda) (bar)	Pressione in uscita (da scheda) (bar)	DELTA P (m.c.H2O)	Efficienza sistema	Potenza stimata kW	Ore giorno	Energia prodotta kWh	TARIFFA GSE	€ OTTENIBILI
Tue,01	35,876	0.415	0.656	0.272	30.000	12.000	180.000	0.650	31.870	24	765	0.039	€ 29.83
Wed,02	37,128	0.430	0.656	0.282	30.000	12.000	180.000	0.650	32.982	24	792	0.039	€ 30.87
Thu,03	35,126	0.407	0.656	0.267	30.000	12.000	180.000	0.650	31.204	24	749	0.039	€ 29.21
Fri,04	31,680	0.367	0.656	0.241	30.000	12.000	180.000	0.650	28.142	24	675	0.039	€ 26.34
Sat,05	23,533	0.272	0.656	0.179	30.000	12.000	180.000	0.650	20.905	24	502	0.039	€ 19.57
Sun,06	19,773	0.229	0.656	0.150	30.000	12.000	180.000	0.650	17.565	24	422	0.039	€ 16.44
Mon,07	29,282	0.339	0.656	0.222	30.000	12.000	180.000	0.650	26.012	24	624	0.039	€ 24.35
Tue,08	28,219	0.327	0.656	0.214	30.000	12.000	180.000	0.650	25.068	24	602	0.039	€ 23.46
Wed,09	22,142	0.256	0.656	0.168	30.000	12.000	180.000	0.650	19.669	24	472	0.039	€ 18.41
Thu,10	22,606	0.262	0.656	0.172	30.000	12.000	180.000	0.650	20.082	24	482	0.039	€ 18.80
Fri,11	24,119	0.279	0.656	0.183	30.000	12.000	180.000	0.650	21.426	24	514	0.039	€ 20.05
Sat,12	21,536	0.249	0.656	0.164	30.000	12.000	180.000	0.650	19.131	24	459	0.039	€ 17.91
Sun,13	16,688	0.193	0.656	0.127	30.000	12.000	180.000	0.650	14.825	24	356	0.039	€ 13.88
Mon,14	22,573	0.261	0.656	0.171	30.000	12.000	180.000	0.650	20.052	24	481	0.039	€ 18.77
Tue,15	21,420	0.248	0.656	0.163	30.000	12.000	180.000	0.650	19.028	24	457	0.039	€ 17.81
Wed,16	28,858	0.334	0.656	0.219	30.000	12.000	180.000	0.650	25.636	24	615	0.039	€ 23.99
Thu,17	29,853	0.346	0.656	0.227	30.000	12.000	180.000	0.650	26.519	24	636	0.039	€ 24.82
Fri,18	29,577	0.342	0.656	0.225	30.000	12.000	180.000	0.650	26.274	24	631	0.039	€ 24.59
Sat,19	24,183	0.280	0.656	0.184	30.000	12.000	180.000	0.650	21.483	24	516	0.039	€ 20.11

Sun 20	20,469	0.237	0.656	0.155	30.000	12.000	180.000	0.650	18.183	24	436	0.039	€ 17.02
Mon 21	36,204	0.419	0.656	0.275	30.000	12.000	180.000	0.650	32.161	24	772	0.039	€ 30.10
Tue 22	44,104	0.510	0.656	0.335	30.000	12.000	180.000	0.650	39.179	24	940	0.039	€ 36.67
Wed 23	44,930	0.520	0.656	0.341	30.000	12.000	180.000	0.650	39.913	24	958	0.039	€ 37.36
Thu 24	45,208	0.523	0.656	0.343	30.000	12.000	180.000	0.650	40.160	24	964	0.039	€ 37.59
Fri 25	42,609	0.493	0.656	0.323	30.000	12.000	180.000	0.650	37.847	24	908	0.039	€ 35.43
Sat 26	30,811	0.357	0.656	0.234	30.000	12.000	180.000	0.650	27.370	24	657	0.039	€ 25.62
Sun 27	26,131	0.302	0.656	0.198	30.000	12.000	180.000	0.650	23.213	24	557	0.039	€ 21.73
Mon 28	44,725	0.518	0.656	0.340	30.000	12.000	180.000	0.650	39.731	24	954	0.039	€ 37.19
Tue 29	44,552	0.516	0.656	0.338	30.000	12.000	180.000	0.650	39.577	24	950	0.039	€ 37.04
Wed 30	46,315	0.536	0.656	0.352	30.000	12.000	180.000	0.650	41.143	24	987	0.039	€ 38.51
Thu 31	47,160	0.546	0.656	0.358	30.000	12.000	180.000	0.650	41.894	24	1005	0.039	€ 39.21
TOTALE											20838		€ 812.68
SETTEMBRE													
GG	Sm3/gg	Portata m3/sec	Peso specifico	kg/s	Pressione in ingresso (da scheda) (bar)	Pressione in uscita (da scheda) (bar)	DELTA P (m.c.H2O)	Efficienza sistema	Potenza stimata kW	Ore giorno	Energia prodotta kWh	TARIFFA GSE	€ OTTENIBILI
Fri 01	45,921	0.531	0.656	0.349	30.000	12.000	180.000	0.650	40.793	24	979	0.039	€ 38.18
Sat 02	31,342	0.363	0.656	0.238	30.000	12.000	180.000	0.650	27.842	24	668	0.039	€ 26.06
Sun 03	29,301	0.339	0.656	0.222	30.000	12.000	180.000	0.650	26.029	24	625	0.039	€ 24.36
Mon 04	47,717	0.552	0.656	0.362	30.000	12.000	180.000	0.650	42.389	24	1017	0.039	€ 39.68
Tue 05	50,247	0.582	0.656	0.382	30.000	12.000	180.000	0.650	44.636	24	1071	0.039	€ 41.78
Wed 06	50,980	0.590	0.656	0.387	30.000	12.000	180.000	0.650	45.287	24	1087	0.039	€ 42.39
Thu 07	50,840	0.588	0.656	0.386	30.000	12.000	180.000	0.650	45.163	24	1084	0.039	€ 42.27
Fri 08	47,856	0.554	0.656	0.363	30.000	12.000	180.000	0.650	42.512	24	1020	0.039	€ 39.79
Sat 09	33,568	0.389	0.656	0.255	30.000	12.000	180.000	0.650	29.820	24	716	0.039	€ 27.91
Sun 10	30,549	0.354	0.656	0.232	30.000	12.000	180.000	0.650	27.138	24	651	0.039	€ 25.40
Mon 11	48,886	0.566	0.656	0.371	30.000	12.000	180.000	0.650	43.427	24	1042	0.039	€ 40.65
Tue 12	50,739	0.587	0.656	0.385	30.000	12.000	180.000	0.650	45.073	24	1082	0.039	€ 42.19
Wed 13	51,532	0.596	0.656	0.391	30.000	12.000	180.000	0.650	45.778	24	1099	0.039	€ 42.85
Thu 14	50,125	0.580	0.656	0.381	30.000	12.000	180.000	0.650	44.528	24	1069	0.039	€ 41.68
Fri 15	49,198	0.569	0.656	0.374	30.000	12.000	180.000	0.650	43.704	24	1049	0.039	€ 40.91
Sat 16	34,066	0.394	0.656	0.259	30.000	12.000	180.000	0.650	30.262	24	726	0.039	€ 28.33
Sun 17	30,646	0.355	0.656	0.233	30.000	12.000	180.000	0.650	27.224	24	653	0.039	€ 25.48
Mon 18	50,623	0.586	0.656	0.384	30.000	12.000	180.000	0.650	44.970	24	1079	0.039	€ 42.09
Tue 19	55,423	0.641	0.656	0.421	30.000	12.000	180.000	0.650	49.234	24	1182	0.039	€ 46.08
Wed 20	56,674	0.656	0.656	0.430	30.000	12.000	180.000	0.650	50.345	24	1208	0.039	€ 47.12
Thu 21	57,317	0.663	0.656	0.435	30.000	12.000	180.000	0.650	50.917	24	1222	0.039	€ 47.66
Fri 22	54,483	0.631	0.656	0.414	30.000	12.000	180.000	0.650	48.408	24	1162	0.039	€ 45.31
Sat 23	39,352	0.455	0.656	0.299	30.000	12.000	180.000	0.650	34.958	24	839	0.039	€ 32.72
Sun 24	36,065	0.417	0.656	0.274	30.000	12.000	180.000	0.650	32.038	24	769	0.039	€ 29.99
Mon 25	52,108	0.603	0.656	0.396	30.000	12.000	180.000	0.650	46.289	24	1111	0.039	€ 43.33
Tue 26	53,303	0.617	0.656	0.405	30.000	12.000	180.000	0.650	47.351	24	1136	0.039	€ 44.32
Wed 27	55,643	0.644	0.656	0.422	30.000	12.000	180.000	0.650	49.430	24	1186	0.039	€ 46.27
Thu 28	52,772	0.611	0.656	0.401	30.000	12.000	180.000	0.650	46.879	24	1125	0.039	€ 43.88
Fri 29	51,501	0.596	0.656	0.391	30.000	12.000	180.000	0.650	45.750	24	1098	0.039	€ 42.82
Sat 30	39,273	0.455	0.656	0.298	30.000	12.000	180.000	0.650	34.888	24	837	0.039	€ 32.65
TOTALE											29593		€ 1,154.14
OTTOBRE													
GG	Sm3/gg	Portata m3/sec	Peso specifico	kg/s	Pressione in ingresso (da scheda) (bar)	Pressione in uscita (da scheda) (bar)	DELTA P (m.c.H2O)	Efficienza sistema	Potenza stimata kW	Ore giorno	Energia prodotta kWh	TARIFFA GSE	€ OTTENIBILI
Sat 01	34,590	0.400	0.656	0.263	30.000	12.000	180.000	0.650	30.727	24	737	0.039	€ 28.76
Sun 02	31,023	0.359	0.656	0.236	30.000	12.000	180.000	0.650	27.559	24	661	0.039	€ 25.80
Mon 03	46,204	0.535	0.656	0.351	30.000	12.000	180.000	0.650	41.045	24	985	0.039	€ 38.42

Tue 04	48,725	0.564	0.656	0.370	30.000	12.000	180.000	0.650	43.284	24	1039	0.039	€ 40.51
Wed 05	50,969	0.590	0.656	0.387	30.000	12.000	180.000	0.650	45.277	24	1087	0.039	€ 42.38
Thu 06	53,314	0.617	0.656	0.405	30.000	12.000	180.000	0.650	47.361	24	1137	0.039	€ 44.33
Fri 07	62,403	0.722	0.656	0.474	30.000	12.000	180.000	0.650	55.435	24	1330	0.039	€ 51.89
Sat 08	46,613	0.540	0.656	0.354	30.000	12.000	180.000	0.650	41.408	24	994	0.039	€ 38.76
Sun 09	43,381	0.502	0.656	0.329	30.000	12.000	180.000	0.650	38.537	24	925	0.039	€ 36.07
Mon 10	67,941	0.786	0.656	0.516	30.000	12.000	180.000	0.650	60.354	24	1449	0.039	€ 56.49
Tue 11	82,887	0.959	0.656	0.629	30.000	12.000	180.000	0.650	73.631	24	1767	0.039	€ 68.92
Wed 12	88,651	1.026	0.656	0.673	30.000	12.000	180.000	0.650	78.752	24	1890	0.039	€ 73.71
Thu 13	101,351	1.173	0.656	0.770	30.000	12.000	180.000	0.650	90.033	24	2161	0.039	€ 84.27
Fri 14	87,022	1.007	0.656	0.661	30.000	12.000	180.000	0.650	77.305	24	1855	0.039	€ 72.36
Sat 15	54,362	0.629	0.656	0.413	30.000	12.000	180.000	0.650	48.292	24	1159	0.039	€ 45.20
Sun 16	51,181	0.592	0.656	0.389	30.000	12.000	180.000	0.650	45.466	24	1091	0.039	€ 42.56
Mon 17	69,968	0.810	0.656	0.531	30.000	12.000	180.000	0.650	62.155	24	1492	0.039	€ 58.18
Tue 18	70,999	0.822	0.656	0.539	30.000	12.000	180.000	0.650	63.071	24	1514	0.039	€ 59.03
Wed 19	72,202	0.836	0.656	0.548	30.000	12.000	180.000	0.650	64.139	24	1539	0.039	€ 60.03
Thu 20	71,775	0.831	0.656	0.545	30.000	12.000	180.000	0.650	63.760	24	1530	0.039	€ 59.68
Fri 21	82,223	0.952	0.656	0.624	30.000	12.000	180.000	0.650	73.041	24	1753	0.039	€ 68.37
Sat 22	67,128	0.777	0.656	0.510	30.000	12.000	180.000	0.650	59.632	24	1431	0.039	€ 55.82
Sun 23	65,071	0.753	0.656	0.494	30.000	12.000	180.000	0.650	57.805	24	1387	0.039	€ 54.11
Mon 24	78,468	0.908	0.656	0.586	30.000	12.000	180.000	0.650	69.706	24	1673	0.039	€ 65.24
Tue 25	74,452	0.862	0.656	0.565	30.000	12.000	180.000	0.650	66.138	24	1587	0.039	€ 61.91
Wed 26	72,772	0.842	0.656	0.553	30.000	12.000	180.000	0.650	64.646	24	1551	0.039	€ 60.51
Thu 27	72,522	0.839	0.656	0.551	30.000	12.000	180.000	0.650	64.424	24	1546	0.039	€ 60.30
Fri 28	86,597	1.002	0.656	0.657	30.000	12.000	180.000	0.650	76.927	24	1846	0.039	€ 72.00
Sat 29	70,644	0.818	0.656	0.536	30.000	12.000	180.000	0.650	62.755	24	1506	0.039	€ 58.74
Sun 30	58,178	0.673	0.656	0.442	30.000	12.000	180.000	0.650	51.681	24	1240	0.039	€ 48.37
Mon 31	84,995	0.984	0.656	0.645	30.000	12.000	180.000	0.650	75.504	24	1812	0.039	€ 70.67
TOTALE											43676		€ 1,703.38

NOVEMBRE													
GG	Sm3/gg	Portata m3/sec	Peso specifico	kg/s	Pressione in ingresso (da scheda) (bar)	Pressione in uscita (da scheda) (bar)	DELTA P (m.c.H2O)	Efficienza sistema	Potenza stimata kW	Ore giorno	Energia prodotta kWh	TARIFFA GSE	€ OTTENIBILI
Tue 01	80,749	0.935	0.656	0.613	30.000	12.000	180.000	0.650	71.732	24	1722	0.039	€ 67.14
Wed 02	95,460	1.105	0.656	0.725	30.000	12.000	180.000	0.650	84.800	24	2035	0.039	€ 79.37
Thu 03	92,933	1.076	0.656	0.706	30.000	12.000	180.000	0.650	82.555	24	1981	0.039	€ 77.27
Fri 04	95,572	1.106	0.656	0.726	30.000	12.000	180.000	0.650	84.900	24	2038	0.039	€ 79.47
Sat 05	74,297	0.860	0.656	0.584	30.000	12.000	180.000	0.650	66.001	24	1584	0.039	€ 61.78
Sun 06	54,810	0.634	0.656	0.416	30.000	12.000	180.000	0.650	48.690	24	1169	0.039	€ 45.57
Mon 07	86,983	1.007	0.656	0.660	30.000	12.000	180.000	0.650	77.270	24	1854	0.039	€ 72.32
Tue 08	102,736	1.189	0.656	0.780	30.000	12.000	180.000	0.650	91.264	24	2190	0.039	€ 85.42
Wed 09	108,417	1.255	0.656	0.823	30.000	12.000	180.000	0.650	96.310	24	2311	0.039	€ 90.15
Thu 10	114,993	1.331	0.656	0.873	30.000	12.000	180.000	0.650	102.152	24	2452	0.039	€ 95.61
Fri 11	120,721	1.397	0.656	0.917	30.000	12.000	180.000	0.650	107.240	24	2574	0.039	€ 100.38
Sat 12	120,554	1.395	0.656	0.915	30.000	12.000	180.000	0.650	107.092	24	2570	0.039	€ 100.24
Sun 13	118,766	1.375	0.656	0.902	30.000	12.000	180.000	0.650	105.504	24	2532	0.039	€ 98.75
Mon 14	157,348	1.821	0.656	1.185	30.000	12.000	180.000	0.700	150.530	24	3613	0.039	€ 140.90
Tue 15	169,189	1.958	0.656	1.285	30.000	12.000	180.000	0.700	161.857	24	3885	0.039	€ 151.50
Wed 16	168,925	1.955	0.656	1.283	30.000	12.000	180.000	0.700	161.605	24	3879	0.039	€ 151.26
Thu 17	163,840	1.896	0.656	1.244	30.000	12.000	180.000	0.700	156.740	24	3762	0.039	€ 146.71
Fri 18	145,651	1.686	0.656	1.106	30.000	12.000	180.000	0.650	129.387	24	3105	0.039	€ 121.11
Sat 19	108,015	1.250	0.656	0.820	30.000	12.000	180.000	0.650	95.953	24	2303	0.039	€ 89.81
Sun 20	88,018	1.019	0.656	0.668	30.000	12.000	180.000	0.650	78.189	24	1877	0.039	€ 73.19

Mon 21	123,214	1.426	0.656	0.996	30.000	12.000	180.000	0.650	109.455	24	2627	0.039	€ 102.45
Tue 22	126,947	1.469	0.656	0.964	30.000	12.000	180.000	0.650	112.771	24	2707	0.039	€ 105.55
Wed 23	128,592	1.488	0.656	0.976	30.000	12.000	180.000	0.650	114.233	24	2742	0.039	€ 106.92
Thu 24	126,999	1.470	0.656	0.964	30.000	12.000	180.000	0.650	112.817	24	2708	0.039	€ 105.60
Fri 25	126,296	1.462	0.656	0.959	30.000	12.000	180.000	0.650	112.193	24	2693	0.039	€ 105.01
Sat 26	102,736	1.189	0.656	0.780	30.000	12.000	180.000	0.650	91.266	24	2190	0.039	€ 85.42
Sun 27	105,327	1.219	0.656	0.800	30.000	12.000	180.000	0.650	93.565	24	2246	0.039	€ 87.58
Mon 28	163,487	1.892	0.656	1.241	30.000	12.000	180.000	0.700	156.403	24	3754	0.039	€ 146.39
Tue 29	200,221	2.317	0.656	1.520	30.000	12.000	180.000	0.700	191.545	24	4597	0.039	€ 179.29
Wed 30	209,230	2.422	0.656	1.589	30.000	12.000	180.000	0.700	200.163	24	4804	0.039	€ 187.35
TOTALE											80500		€ 3,139.52
DICEMBRE													
GG	Sm3/gg	Portata m3/sec	Peso specifico	kg/s	Pressione in ingresso (da scheda) (bar)	Pressione in uscita (da scheda) (bar)	DELTA P (m.c.H2O)	Efficienza sistema	Potenza stimata kW	Ore giorno	Energia prodotta kWh	TARIFFA GSE	€
Sun 01	193,247.000	2.237	0.656	1.467	30.000	12.000	180.000	0.700	184.373	24	4457	0.039	€ 173.04
Mon 02	212,568.000	2.460	0.656	1.614	30.000	12.000	180.000	0.700	203.357	24	4881	0.039	€ 190.34
Tue 03	228,342.000	2.643	0.656	1.734	30.000	12.000	180.000	0.700	218.447	24	5243	0.039	€ 204.47
Wed 04	232,946.000	2.696	0.656	1.769	30.000	12.000	180.000	0.700	222.852	24	5348	0.039	€ 208.59
Thu 05	242,572.000	2.808	0.656	1.842	30.000	12.000	180.000	0.700	232.061	24	5569	0.039	€ 217.21
Fri 06	254,709.000	2.948	0.656	1.934	30.000	12.000	180.000	0.700	243.672	24	5848	0.039	€ 228.08
Sat 07	262,642.000	3.040	0.656	1.994	30.000	12.000	180.000	0.700	251.261	24	6000	0.039	€ 234.00
Sun 08	263,302.000	3.047	0.656	1.999	30.000	12.000	180.000	0.700	251.892	24	6000	0.039	€ 234.00
Mon 09	289,405.000	3.350	0.656	2.197	30.000	12.000	180.000	0.700	276.864	24	6000	0.039	€ 234.00
Tue 10	305,950.000	3.541	0.656	2.323	30.000	12.000	180.000	0.700	292.892	24	6000	0.039	€ 234.00
Wed 11	308,374.000	3.569	0.656	2.341	30.000	12.000	180.000	0.700	295.011	24	6000	0.039	€ 234.00
Thu 12	288,750.000	3.342	0.656	2.192	30.000	12.000	180.000	0.700	276.238	24	6000	0.039	€ 234.00
Fri 13	260,627.000	3.017	0.656	1.979	30.000	12.000	180.000	0.700	249.333	24	5984	0.039	€ 233.38
Sat 14	230,718.000	2.670	0.656	1.752	30.000	12.000	180.000	0.700	220.720	24	5297	0.039	€ 206.59
Sun 15	238,643.000	2.762	0.656	1.812	30.000	12.000	180.000	0.700	228.302	24	5479	0.039	€ 213.69
Mon 16	291,058.000	3.369	0.656	2.210	30.000	12.000	180.000	0.700	278.445	24	6000	0.039	€ 234.00
Tue 17	268,688.000	3.110	0.656	2.040	30.000	12.000	180.000	0.700	257.045	24	6000	0.039	€ 234.00
Wed 18	246,584.000	2.854	0.656	1.872	30.000	12.000	180.000	0.700	235.899	24	5662	0.039	€ 220.80
Thu 19	272,252.000	3.151	0.656	2.067	30.000	12.000	180.000	0.700	260.454	24	6000	0.039	€ 234.00
Fri 20	275,504.000	3.189	0.656	2.092	30.000	12.000	180.000	0.700	263.565	24	6000	0.039	€ 234.00
Sat 21	241,849.000	2.799	0.656	1.836	30.000	12.000	180.000	0.700	231.369	24	5553	0.039	€ 216.56
Sun 22	231,365.000	2.678	0.656	1.757	30.000	12.000	180.000	0.700	221.339	24	5312	0.039	€ 207.17
Mon 23	274,409.000	3.176	0.656	2.083	30.000	12.000	180.000	0.700	262.518	24	6000	0.039	€ 234.00
Tue 24	271,532.000	3.143	0.656	2.062	30.000	12.000	180.000	0.700	259.766	24	6000	0.039	€ 234.00
Wed 25	265,866.000	3.077	0.656	2.019	30.000	12.000	180.000	0.700	254.345	24	6000	0.039	€ 234.00
Thu 26	271,605.000	3.144	0.656	2.062	30.000	12.000	180.000	0.700	259.835	24	6000	0.039	€ 234.00
Fri 27	274,411.000	3.176	0.656	2.083	30.000	12.000	180.000	0.700	262.520	24	6000	0.039	€ 234.00
Sat 28	244,324.000	2.828	0.656	1.855	30.000	12.000	180.000	0.700	233.737	24	5610	0.039	€ 218.78
Sun 29	225,739.000	2.613	0.656	1.714	30.000	12.000	180.000	0.700	215.957	24	5183	0.039	€ 202.14
Mon 30	260,211.000	3.012	0.656	1.976	30.000	12.000	180.000	0.700	248.935	24	5974	0.039	€ 233.00
Tue 31	249,219.000	2.884	0.656	1.892	30.000	12.000	180.000	0.700	238.420	24	5722	0.039	€ 223.16
TOTALE											177103		€ 6,907.00

RIF. MESE	ANNO										
	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028
1	177,103	177,103	177,103	177,103	177,103	177,103	177,103	177,103	177,103	177,103	177,103
2	297,967	297,967	297,967	297,967	297,967	297,967	297,967	297,967	297,967	297,967	297,967
3	87,718	87,718	87,718	87,718	87,718	87,718	87,718	87,718	87,718	87,718	87,718
4	47,883	47,883	47,883	47,883	47,883	47,883	47,883	47,883	47,883	47,883	47,883
5	33,473	33,473	33,473	33,473	33,473	33,473	33,473	33,473	33,473	33,473	33,473
6	26,234	26,234	26,234	26,234	26,234	26,234	26,234	26,234	26,234	26,234	26,234
7	24,828	24,828	24,828	24,828	24,828	24,828	24,828	24,828	24,828	24,828	24,828
8	20,838	20,838	20,838	20,838	20,838	20,838	20,838	20,838	20,838	20,838	20,838
9	29,593	29,593	29,593	29,593	29,593	29,593	29,593	29,593	29,593	29,593	29,593
10	43,676	43,676	43,676	43,676	43,676	43,676	43,676	43,676	43,676	43,676	43,676
11	80,500	80,500	80,500	80,500	80,500	80,500	80,500	80,500	80,500	80,500	80,500
12	177,103	177,103	177,103	177,103	177,103	177,103	177,103	177,103	177,103	177,103	177,103
TOT.	1,046,917	1,046,917	1,046,917	1,046,917	1,046,917	1,046,917	1,046,917	1,046,917	1,046,917	1,046,917	1,046,917

Consumo medio utenza tipo - 3kW - Famiglia 4 persone	5200 kWh/anno
Produzione energia elettrica tramite espansore a vite	1046917 kWh/anno
Numero di famiglie sostenibili	201 -

RIF. MESE	ANNO										
	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028
1	€ 6,907.00	€ 6,907.00	€ 6,907.00	€ 6,907.00	€ 6,907.00	€ 6,907.00	€ 6,907.00	€ 6,907.00	€ 6,907.00	€ 6,907.00	€ 6,907.00
2	€ 4,713.70	€ 4,713.70	€ 4,713.70	€ 4,713.70	€ 4,713.70	€ 4,713.70	€ 4,713.70	€ 4,713.70	€ 4,713.70	€ 4,713.70	€ 4,713.70
3	€ 3,421.02	€ 3,421.02	€ 3,421.02	€ 3,421.02	€ 3,421.02	€ 3,421.02	€ 3,421.02	€ 3,421.02	€ 3,421.02	€ 3,421.02	€ 3,421.02
4	€ 1,867.43	€ 1,867.43	€ 1,867.43	€ 1,867.43	€ 1,867.43	€ 1,867.43	€ 1,867.43	€ 1,867.43	€ 1,867.43	€ 1,867.43	€ 1,867.43
5	€ 1,305.46	€ 1,305.46	€ 1,305.46	€ 1,305.46	€ 1,305.46	€ 1,305.46	€ 1,305.46	€ 1,305.46	€ 1,305.46	€ 1,305.46	€ 1,305.46
6	€ 1,023.13	€ 1,023.13	€ 1,023.13	€ 1,023.13	€ 1,023.13	€ 1,023.13	€ 1,023.13	€ 1,023.13	€ 1,023.13	€ 1,023.13	€ 1,023.13
7	€ 968.31	€ 968.31	€ 968.31	€ 968.31	€ 968.31	€ 968.31	€ 968.31	€ 968.31	€ 968.31	€ 968.31	€ 968.31
8	€ 812.68	€ 812.68	€ 812.68	€ 812.68	€ 812.68	€ 812.68	€ 812.68	€ 812.68	€ 812.68	€ 812.68	€ 812.68
9	€ 1,154.14	€ 1,154.14	€ 1,154.14	€ 1,154.14	€ 1,154.14	€ 1,154.14	€ 1,154.14	€ 1,154.14	€ 1,154.14	€ 1,154.14	€ 1,154.14
10	€ 1,703.38	€ 1,703.38	€ 1,703.38	€ 1,703.38	€ 1,703.38	€ 1,703.38	€ 1,703.38	€ 1,703.38	€ 1,703.38	€ 1,703.38	€ 1,703.38
11	€ 3,139.52	€ 3,139.52	€ 3,139.52	€ 3,139.52	€ 3,139.52	€ 3,139.52	€ 3,139.52	€ 3,139.52	€ 3,139.52	€ 3,139.52	€ 3,139.52
12	€ 6,907.00	€ 6,907.00	€ 6,907.00	€ 6,907.00	€ 6,907.00	€ 6,907.00	€ 6,907.00	€ 6,907.00	€ 6,907.00	€ 6,907.00	€ 6,907.00
TOT.	€ 33,922.76	€ 33,922.76	€ 33,922.76	€ 33,922.76	€ 33,922.76	€ 33,922.76	€ 33,922.76	€ 33,922.76	€ 33,922.76	€ 33,922.76	€ 33,922.76

6 Analisi Economica

Alla luce dei grafici sopra riportati, si evince che l'espansore è in grado di produrre annualmente 1046917 kWh di energia elettrica (questo valore è funzione dell'effettivo volume di gas giornaliero elaborato dalla macchina). Questo equivale a sostenere i consumi medi annui, per quanto riguarda l'energia elettrica, di ben 201 famiglie. Il ritorno economico risultante dalla produzione di energia elettrica è di circa 33000 € all'anno.

7 Conclusioni

Negli impianti tradizionali, per il pre-riscaldamento del gas eseguito a monte del riduttore di pressione si impiegano circa 31.500€ + IVA di costi di gas metano. A seguito dell'introduzione del macchinario, sarà comunque necessario investire la medesima somma per il preriscaldamento del gas a monte dell'espansore a vite, perciò la produzione di energia elettrica derivata dalla macchina, circa 33.000 €/anno, verrà utilizzata per compensare i costi del gas metano, azzerando di per sé i costi di gestione dell'impianto. Inoltre si ottiene una riduzione dell'impatto ambientale perché si utilizza gas metano a valle dell'espansore (a basso contenuto energetico) per riscaldare il fluido vettore (acqua) utilizzato nella fase di preriscaldamento del gas. In questo modo si riduce il consumo di gas nelle caldaie.

Bibliografia

[1] Il recupero di energia dall'espansione del metano, RACI

<http://www.turbinde.eu/TurboBrochure.pdf>.

[2] Metano

<https://www.ecoage.it/metano.htm>

[3] impianti Gas metano

<http://www.emilgas.eu/impianti-gas-metano-pagina/>

[4] Zuccato Energia – Product Sheet

[5] Studio di fattibilità tecnico-economica sull'installazione di una turbina

<https://va.minambiente.it/it-IT/Oggetti/MetadatoDocumento/291154>

[6] Langson Technical Specification Sheet

<http://www.langsonenergy.com/wp-content/uploads/2015/03/G250SpecSheet.pdf>

[7] Centro studi Galileo

<https://www.centrogalileo.it/nuovaPA/Articoli%20tecnici/amirante/fluidi%20frigorigeni.htm>

[8] GSE Gestore Servizi Energetici

<https://www.gse.it/servizi-per-te/fotovoltaico/ritiro-dedicato>

[9] Liquefazione Gas Naturale

http://www.processengineeringmanual.it/1_attivita/pdf_pid/liq_gasnat.pdf

[10] Ascoli Reti Gas srl