



Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile



Ministero delle Attività Economiche

RICERCA DI SISTEMA ELETTRICO

Studio e analisi progettuale per la realizzazione presso il C.R. Sotacarbo di un sistema di combustione a polverino di carbone integrato con sistemi di cattura della CO₂ postcombustione

G.Cali, M.Caboni, F.Ferrara, M.Fadda



Report RdS/2012/225

STUDIO E ANALISI PROGETTUALE PER LA REALIZZAZIONE PRESSO IL C.R. SOTACARBO DI UN SISTEMA DI
COMBUSTIONE A POLVERINO DI CARBONE INTEGRATO CON SISTEMI DI CATTURA DELLA CO₂
POSTCOMBUSTIONE

G.Cali, M.Caboni, F.Ferrara, M.Fadda

Settembre2012

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Area: Produzione di energia elettrica e protezione dell'ambiente

Progetto: 2.2 – Studi sull'utilizzo pulito dei combustibili fossili, la cattura ed il sequestro della CO₂

Responsabile del Progetto: Ing. Stefano Giammartini, ENEA

Indice

Sommario.....	2
Introduzione.....	3
1. Tecnologie di cattura della CO₂ post-combustione	4
1.1 <i>Separazione post-combustione: Assorbimento chimico</i>	7
2. Sistema di combustione a polverino di carbone integrato con la piattaforma pilota	10
2.1 <i>Definizione della taglia del bruciatore e specifiche iniziali</i>	11
Taglia del bruciatore	11
Sistema di preparazione del combustibile	11
Sistema per il raffreddamento dei fumi di combustione	11
Quadro elettrico e sistema di controllo	12
2.2 <i>Alcuni combustori analizzati.....</i>	12
Combustore di Santa Giusta (Oristano)	12
Combustore di Santa Gilla (Cagliari)	13
3. Progettazione di massima	15
3.1 <i>Descrizione del processo.....</i>	18
Sistema di stoccaggio del carbone	18
Tramoggia svuota big bags.....	18
Mulino per la macinazione del carbone.....	19
Sistema di dosaggio e trasporto del carbone in polvere.....	19
Sistema di combustione del carbone, costituito da un bruciatore e da una camera di combustione	20
Quadro Controllo	21
Misuratore di portata prodotto (fumi)	21
3.2 <i>Schema preliminare del sistema e flussi ingresso e uscita</i>	21
4. Valutazione costi di investimento e tempi di realizzazione	23
5. Layout sistema di combustione a polverino di carbone	25
6. Conclusioni.....	26

Sommario

Lo scopo del presente documento consiste nell'analizzare e valutare: la taglia e la progettazione di massima di un combustore a polverino di carbone le cui caratteristiche principali si adattino all'impianto Pilota Sotacarbo. L'installazione di un combustore potrebbe permettere lo studio dei processi di clean-up post-combustore nella linea di trattamento gas nell'impianto Pilota Sotacarbo. Nello specifico sarebbe possibile studiare la separazione della CO₂ e la rigenerazione del solvente utilizzando dei fumi post-combustione.

A tal fine sono stati visionati alcuni combustori dismessi: il combustore TEA-C (tri-combustion, ENEL/ANSALDO) dell'ENEL presente nell'impianto dimostrativo dismesso a Santa Gilla e un combustore della Clivati presente a Santa Giusta. In particolare il combustore della Clivati possiede una taglia compatibile con il nostro impianto Pilota.

La taglia del combustore si stabilisce prendendo come riferimento la portata massima di fumi trattabili dalla linea di clean-up dell'impianto Pilota, successivamente viene effettuata una progettazione di massima prevedendo due possibili configurazioni: la prima prevede l'alimentazione al combustore di polverino di carbone tal quale e la seconda prevede l'inserimento di un mulino per la preparazione e la vagliatura del carbone. Nell'ultima parte della relazione è stata effettuata un'analisi economica sull'investimento per l'acquisto del combustore ed è stata valutato l'inserimento nella piattaforma pilota.

Introduzione

Nell'ambito di attività di ricerca relative allo studio delle tecnologie di trattamento di fumi di combustione, con particolare attenzione alla rimozione della CO₂, Sotacarbo ha effettuato un'analisi progettuale per la realizzazione, presso la piattaforma pilota, di un sistema di combustione a polverino di carbone. Tale sistema sarà integrato con la linea di trattamento gas dell'impianto Pilota in cui si effettuerà l'abbattimento degli inquinanti quali polveri, composti dello zolfo e CO₂, dai fumi prodotti.

Il presente documento riporta, dopo una breve trattazione delle principali tecnologie per la cattura della CO₂ post-combustione, lo studio per la definizione dei principali parametri di progetto di un sistema di combustione a polverino di carbone, la sua progettazione ed integrazione con l'impianto pilota Sotacarbo.

1. Tecnologie di cattura della CO₂ post-combustione

Le tecnologie CCS (Carbon Capture and Storage) sono state studiate a partire dai primi anni '90, ma solo in tempi relativamente recenti molti organismi internazionali hanno rivalutato la loro importanza strategica nel contenimento dell'effetto serra. Tuttavia, per la realizzazione su scala commerciale di tali sistemi, devono essere risolti una serie di problemi legati essenzialmente alla poca maturità tecnologica e ai costi. Dei tre interventi, cattura, trasporto e stoccaggio, la cattura costituisce circa il 50–80% dei costi totali legati alle CCS, e presenta quindi il maggior margine di miglioramento (Steenveveldt et al., 2006).

In generale si possono individuare tre differenti approcci per la separazione della CO₂ sulla base del momento in cui intervengono all'interno del processo di produzione di energia elettrica, si può parlare quindi di:

- separazione della CO₂ post-combustione;
- separazione della CO₂ pre-combustione;
- ossicombustione.

a seconda che la rimozione della CO₂ avvenga prima, durante o dopo la combustione.

La tabella 1.1 riporta le caratteristiche tipiche, in termini di pressione operativa e concentrazione di anidride carbonica, dei gas inviati al sistema di separazione nei tre approcci appena citati.

Tabella 1.1. Caratteristiche syngas nelle tre tecnologie di cattura CO₂ considerate.

	separazione post-combustione	separazione pre-combustione	ossicombustione
Pressione operativa (bar)	≈ 1	10-80	≈ 1
CO ₂ (% in volume)	3-15%	20-40%	75-95%

La separazione post-combustione viene applicata negli impianti che operano una combustione diretta con aria (impianti subcritici e supercritici a polverino di carbone e impianti a letto fluido AFBC e PFBC). Il processo di separazione della CO₂ dai gas combusti si realizza in un impianto dedicato alla separazione dell'anidride carbonica dalle altre specie presenti, come ultimo trattamento prima del rilascio in atmosfera, successivamente ai consueti processi per l'abbattimento degli inquinanti. Il contenuto di CO₂ nei fumi è relativamente modesto, in quanto i gas combusti sono costituiti principalmente da azoto, introdotto con l'aria di combustione. La schematizzazione di un impianto con separazione post-combustione è riportata nella figura seguente.

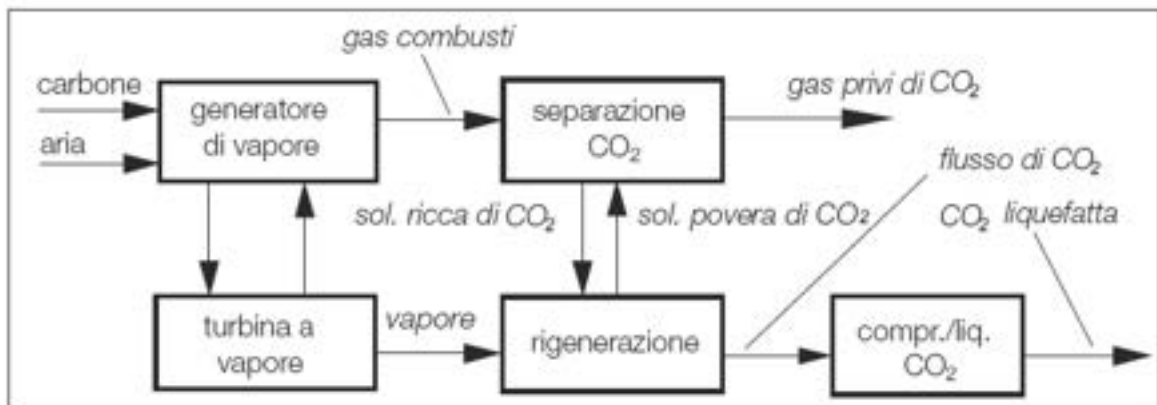


Figura 1.1. Schema a blocchi di un impianto con separazione post-combustione.

La separazione pre-combustione viene applicata in impianti IGCC al syngas pressurizzato prima della combustione dell'idrogeno prodotto in turbina a gas. In particolare il syngas prodotto dal gassificatore viene inviato in un reattore di shift in cui si massimizza la produzione di idrogeno e dove il monossido di carbonio viene convertito in CO₂ mediante la reazione con vapore. Si ottiene così una corrente gassosa costituita da H₂ e CO₂. Il processo di pre-combustione è più elaborato e costoso di quello post-combustione, ma permette di raggiungere concentrazioni di CO₂ più elevate e inoltre le elevate pressioni alle quali si opera consentono una separazione più efficiente. Questa tecnica consente inoltre la produzione di idrogeno. Nella figura seguente si riporta la schematizzazione di un impianto con separazione pre-combustione.

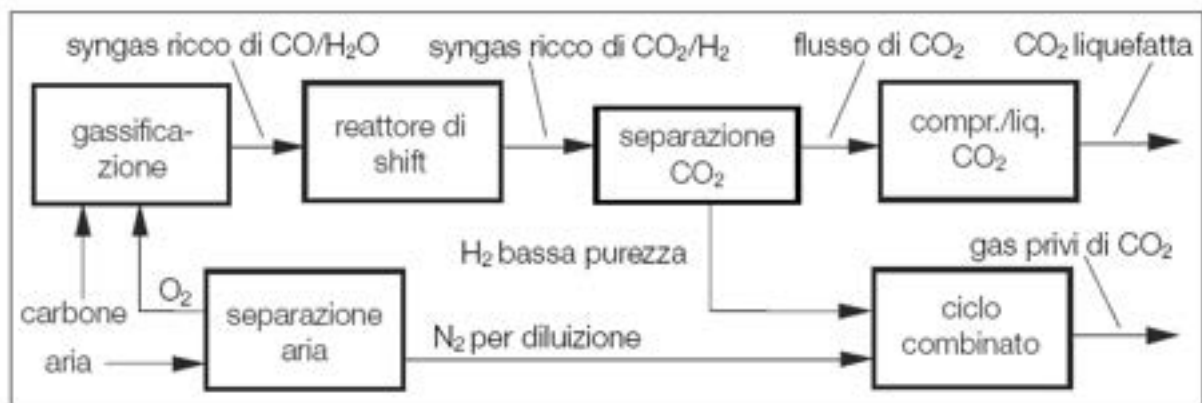


Figura 1.2. Schema a blocchi di un impianto con separazione pre-combustione.

L'ossicombustione prevede l'utilizzo di ossigeno puro come comburente nella combustione del combustibile fossile. La sostituzione dell'aria con l'ossigeno permette di ridurre o eliminare completamente l'azoto alimentato al combustore e quindi di produrre gas di scarico a elevata concentrazione di CO₂. Un sistema di questo tipo prevede dunque la presenza di un'unità di separazione dell'aria a monte dell'impianto di combustione che permetta di ottenere ossigeno con una purezza del 95-99%. I vantaggi attesi da questa tecnologia sono principalmente la riduzione dei costi di separazione, la riduzione di carbone incombusto, l'aumento dell'efficienza termica dell'impianto e la riduzione degli NOx nei fumi. Gli svantaggi del processo di ossicombustione sono legati per lo più alla elevata richiesta energetica per la sezione di separazione criogenica dell'aria. A tal proposito, la ricerca nel settore sta studiando metodi di separazione dell'aria efficienti ed a basso dispendio energetico. Nella figura seguente si riporta lo schema di un impianto che adotta l'approccio della ossicombustione.

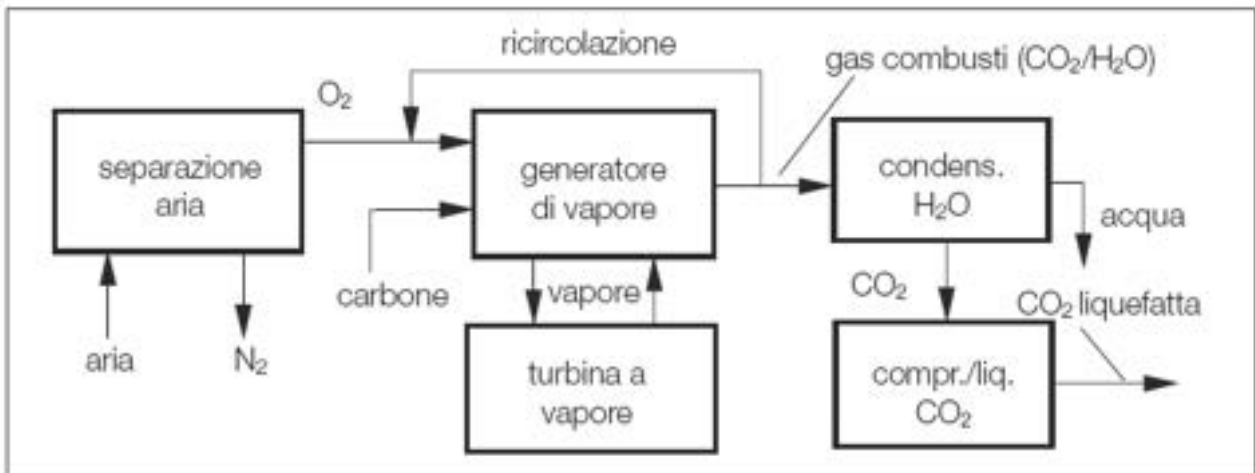


Figura 1.3. Schema a blocchi di un impianto con ossicombustione.

In tema di tecnologie di separazione della CO_2 , come spesso accade nel caso di tecnologie non consolidate, sono ad oggi aperte molte varianti. I processi che appaiono più promettenti nel lungo termine sono quelli di separazione con membrane, attualmente in fase di sviluppo. Nel breve termine, invece, la soluzione più efficace ed economicamente accettabile per un'applicazione su larga scala è l'assorbimento mediante solventi liquidi di varia natura. Tali tecnologie di assorbimento, pur essendo già ben consolidate, necessitano di un ulteriore sviluppo al fine di migliorarne l'efficienza e di ridurre il fabbisogno energetico. In base alla tipologia di interazione fra il solvente e l'anidride carbonica, si fa riferimento a processi di assorbimento di tipo fisico o di tipo chimico. La differenza tra le tipologie di processi riguarda principalmente il tipo di equilibrio che si instaura tra il solvente e l'anidride carbonica da rimuovere. In particolare, la scelta è fortemente condizionata dalla pressione parziale della CO_2 : per basse pressioni parziali di CO_2 , a parità di volume di solvente utilizzato, il volume di CO_2 rimossa risulta maggiore per i processi chimici piuttosto che per i processi fisici; viceversa, per elevate pressioni parziali di CO_2 risulta più conveniente il processo di assorbimento fisico. La figura 1.4 mostra qualitativamente la convenienza di un processo rispetto all'altro in funzione della pressione parziale di CO_2 nel gas da trattare.

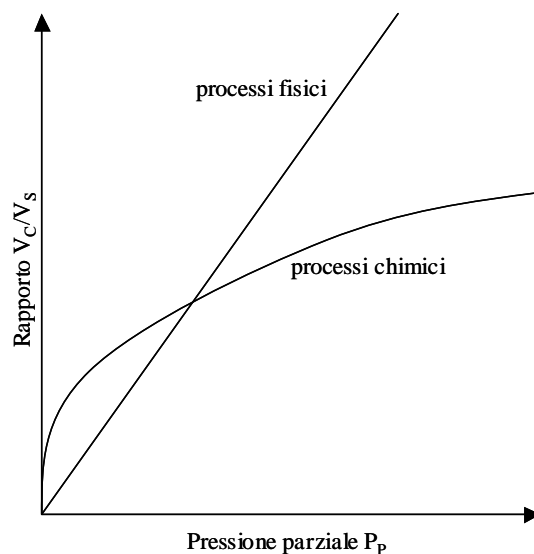


Figura 1.4. Equilibrio nei processi di assorbimento chimici e fisici.

Concludendo per basse pressioni parziali della CO₂, come nel caso dei fumi di combustione, si ricorre generalmente all'assorbimento chimico; nel caso invece di gas ad elevata pressione parziale di CO₂, come nel caso del syngas, risulta più conveniente l'assorbimento fisico.

1.1 Separazione post-combustione: Assorbimento chimico

Come riportato in precedenza, negli impianti di combustione, la separazione dell'anidride carbonica viene fatta sui fumi (separazione post-combustione), a pressione praticamente atmosferica, a seguito di un opportuno trattamento per la rimozione dei composti inquinanti. Le alternative tecnologiche per una sezione di separazione post-combustione sono riportate in figura 1.5.

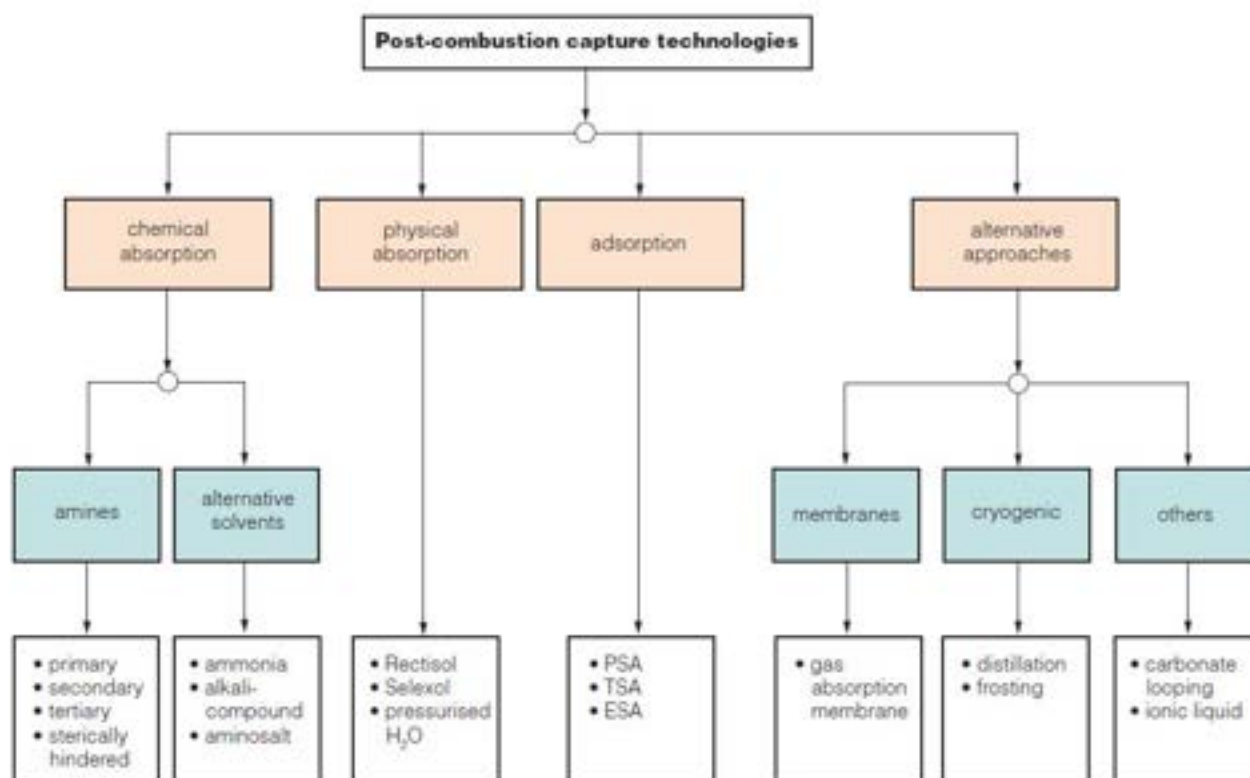


Figura 1.5. Alternative tecnologiche per la separazione post-combustione.

La scelta della tecnologia dipende dalle caratteristiche dei fumi in termini di temperatura, pressione, concentrazione e portata, ma sono alcune di queste tecnologie possono essere considerate mature. La tecnologia più diffusa è sicuramente l'assorbimento chimico con ammine, ed in particolare con monoetanolamina (MEA), perché è in grado di raggiungere buoni rendimenti depurativi anche quando si ha di fronte un gas con basse percentuali di anidride carbonica.

Il principio di funzionamento di questa tecnologia è basato essenzialmente sulla purificazione dei gas mediante assorbimento chimico dell'anidride carbonica da parte del solvente, sulla rigenerazione del solvente mediante riscaldamento dello stesso con vapore e sulla compressione della corrente di anidride carbonica ad alta purezza per liquefarla e stoccarla (figura 1.6). I gas combustivi arrivano alla sezione di rimozione della CO₂ ad una pressione prossima a quella ambiente e ad una temperatura che dipende dal tipo di sezione di potenza che si considera. Nella colonna di assorbimento, dove dall'alto fluisce la soluzione solvente che investe in controcorrente i gas combustivi che salgono dal basso, l'anidride carbonica si lega chimicamente con il solvente mediante reazioni di neutralizzazione acido-base. La colonna di assorbimento

opera a pressione atmosferica, mentre la temperatura di esercizio è intorno ai 20-50°C. I gas di scarico, depurati della CO₂, fluiscono dalla testa della colonna di assorbimento. La soluzione, che contiene l'anidride carbonica assorbita, passa attraverso uno scambiatore di calore all'interno del quale la soluzione povera di CO₂ e calda, proveniente dalla colonna di rigenerazione, si raffredda cedendo il suo calore sensibile alla soluzione ricca che si appresta ad entrare nel rigeneratore. Questo scambiatore ha l'importante funzione di limitare la potenza termica necessaria, riscaldando il flusso di MEA da stripping e raffreddando nel contempo il flusso che rientra nella colonna di assorbimento.

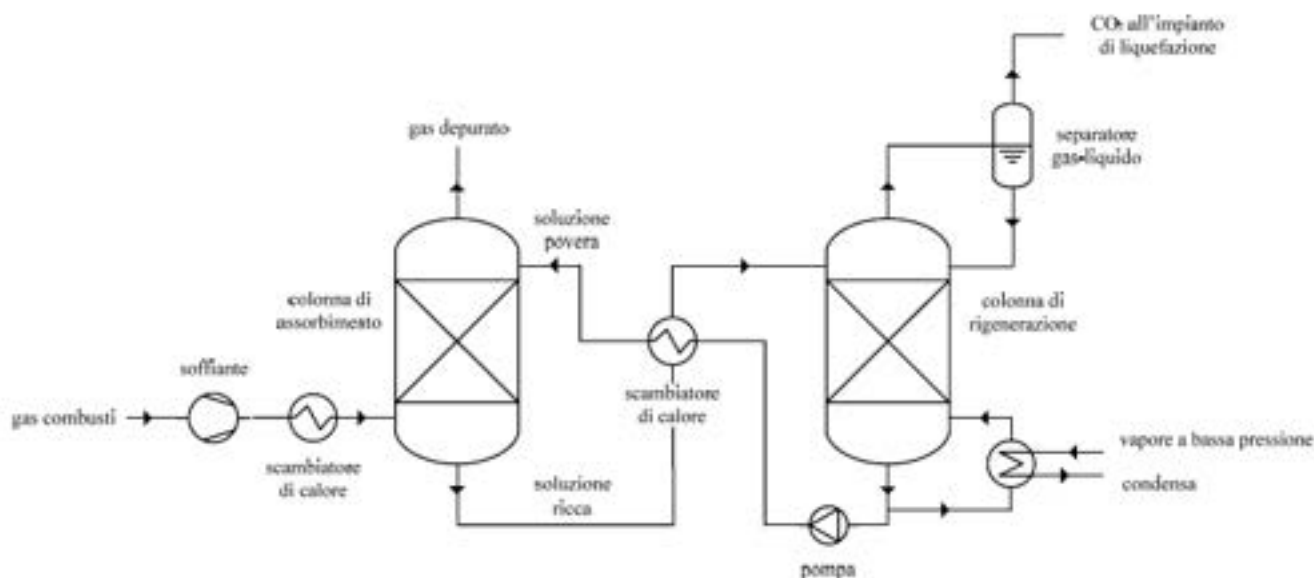


Figura 1.6. Sistema di assorbimento chimico della CO₂.

La soluzione di MEA ricca di CO₂ deve essere riscaldata a 90 °C prima della sua immissione nel sistema di rigenerazione dove nel reboiler avviene a 120 °C la rottura dei legami chimici che si sono creati nella colonna di assorbimento, utilizzando vapore a 2.3 bar e a 150 °C. La CO₂ esce dalla testa della colonna e viene inviata ad un separatore e successivamente ad una sezione di liquefazione. L'efficienza di rimozione della CO₂ tramite MEA è molto elevata: questo processo può essere usato per catturare dall'85% al 95% della CO₂ contenuta nei fumi.

La presenza di NO_x e SO_x deve essere evitata perché tali gas reagiscono con la MEA, ostacolando la rigenerazione e aumentando la necessità di make-up del solvente. Si hanno inoltre problemi operativi legati alla formazione di composti corrosivi, alla formazione di schiuma e alla degradazione del solvente.

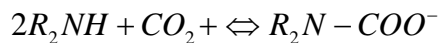
L'aspetto più critico di questi processi è il fatto che richiedono un grande dispendio di energia (sotto forma di vapore, usato nel processo di rigenerazione del solvente, in maniera diretta o tramite l'utilizzo di uno scambiatore di calore), utilizzo di energia elettrica (per pompare il solvente e per comprimere il gas) e acqua di raffreddamento (per raffreddare il gas dopo la rigenerazione). Per un tipico sistema di cattura di anidride carbonica con MEA, il consumo energetico necessario per la rigenerazione del solvente, è più del 70% dei costi operativi. Il miglioramento dei solventi e il perfezionamento della progettazione delle colonne di assorbimento e di rigenerazione dei solventi potrebbero ridurre le richieste di energia di almeno il 40% rispetto alle prestazioni attuali. Quindi, le attività di ricerca puntano principalmente al riduzione del consumo energetico necessario per la rigenerazione dei solventi, ed in generale alla ricerca di solventi alternativi alla MEA. Un solvente ideale per la cattura della CO₂ dovrebbe presentare le seguenti caratteristiche:

- elevata velocità di assorbimento e di desorbimento,

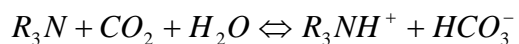
- elevato limite di caricamento (moliCO₂/molisolvente),
- bassa energia richiesta per la rigenerazione,
- comportamento non corrosivo,
- bassa tendenza alla degradazione nelle condizioni di lavoro,
- bassa volatilità e buona stabilità,
- non tossicità e pericolosità.

Tra i solventi chimici rivestono un ruolo fondamentale le ammine, in particolare le più utilizzate sono la già citata monoetanolamina (MEA), la dietanolamina (DEA) e la metildietanolamina (MDEA). Il loro vantaggio, consiste in un'elevata capacità di assorbimento di anidride carbonica per unità di volume di solvente impiegato. Il processo di assorbimento e di stripping delle ammine può essere descritto dalle reazioni chimiche seguenti (reazioni di equilibrio con rapporto stechiometrico CO₂/Ammine pari a 0,5, per primarie e secondarie, pari ad 1, per terziarie e stericamente impedito).

Ammine primarie e secondarie (RNH₂ e R₂NH)



Ammine terziarie e stericamente impedito (R₃N)



La MEA è al momento il solvente più conveniente per la cattura di CO₂ perché presenta elevata efficienza di rimozione e basso costo. In termini di efficienza di rimozione risulta MEA>DEA>MDEA, ma le soluzioni che presentano un limite di caricamento più alto possono essere rigenerate più facilmente. Oltre alle ammine menzionate, numerose miscele di ammine e ammine additivate sono state testate al fine di diminuire la richiesta energetica del processo di rigenerazione, il consumo di solvente e migliorare le condizioni di corrosività e degradazione dei solventi. Infine, l'utilizzo di altri solventi alcalini come l'ammoniaca, o soluzioni di carbonati, sono promettenti ma, poiché la loro applicazione richiederebbe modifiche supplementari degli impianti esistenti, attualmente sono considerati meno maturi.

2. Sistema di combustione a polverino di carbone integrato con la piattaforma pilota

Lo studio progettuale per la realizzazione di un sistema a polverino di carbone dedicato allo studio di sistemi di trattamento post-combustione, è partito dall'analisi dell'integrazione tra lo stesso e la linea di trattamento gas dell'impianto pilota.

Si riporta di seguito uno schema dell'impianto in cui è stato inserito il combustore a polverino di carbone.

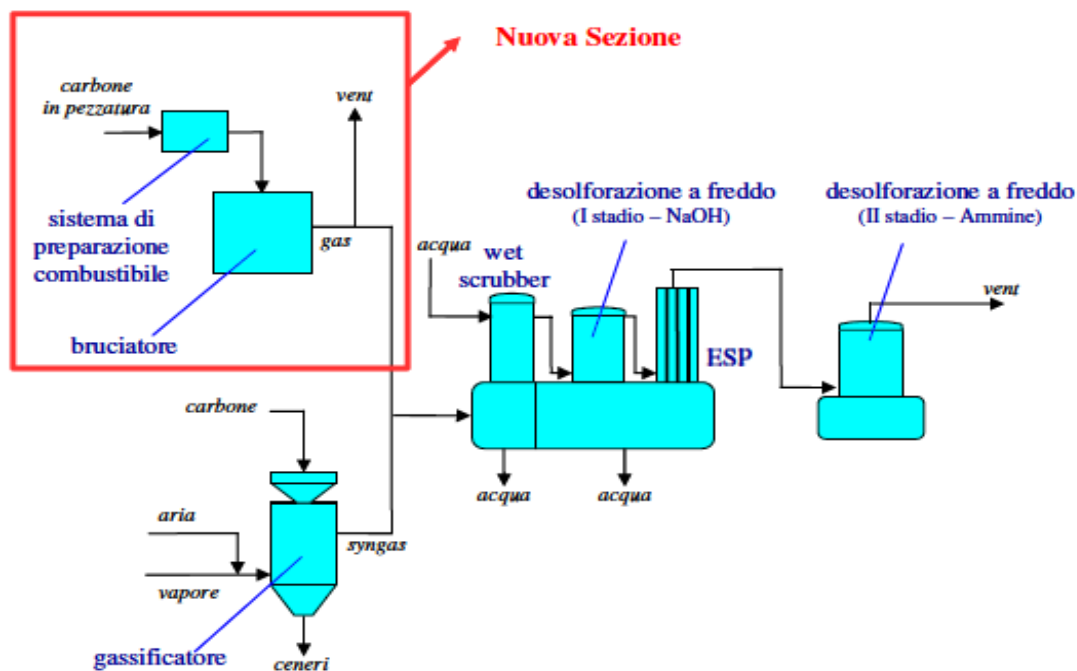
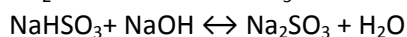
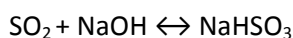


Figura 2.1. Schema impianto Pilota con combustore a polverino di carbone.

Il sistema è stato rappresentato in due blocchi: il primo è il combustore vero e proprio, il secondo rappresenta il sistema di caricamento, macinazione e trasporto del polverino di carbone. I fumi in uscita dal combustore vengono inviati nella linea che convoglia gas dal gassificatore allo scrubber.

Nello scrubber i fumi subiscono un primo lavaggio per abbattere le polveri, successivamente vengono inviati nel 1° stadio di desolfurazione dove si effettua un secondo lavaggio con una soluzione di acqua e idrossido di sodio (NaOH) al fine di abbattere completamente i composti dello zolfo dai fumi. Il processo di desolfurazione viene controllato tramite il pH che deve essere mantenuto ad un valore di riferimento pari a 7-8, al fine di abbattere i composti dello zolfo ma non la CO₂ (a valori maggiori di pH si avrebbe la formazioni di carbonati con perdita di CO₂). Si riportano di seguito le reazioni che avvengono durante il processo di assorbimento di SO₂ mediante soluzione acquosa di idrossido di sodio:



In uscita dal 1° stadio di desolforazione, i fumi entrano nell'elettrofiltro, dove avviene la rimozione del particolato eventualmente ancora presente. Infine i fumi entrano nella colonna di assorbimento CO₂ dove, tramite la circolazione di una soluzione di acqua e ammina, si effettua l'abbattimento della stessa.

2.1 Definizione della taglia del bruciatore e specifiche iniziali

Taglia del bruciatore

La fase progettuale del sistema di combustione a polverino di carbone prende avvio con l'individuazione della taglia del bruciatore. Il principale vincolo sulla taglia è rappresentato dalla potenzialità del sistema di trattamento fumi posto a valle. Sono state valutate due possibilità, la prima prevede l'installazione di un bruciatore capace di produrre una portata fumi superiore a quella trattabile nella linea di trattamento dell'impianto pilota. Questa scelta è partita dalla volontà di integrare il sistema sia con l'impianto pilota che con quello dimostrativo in cui si potrebbe prevedere un futuro ampliamento con realizzazione di una sezione di rimozione della CO₂ ed una di desolforazione. Dai calcoli effettuati sulla base di questa prima ipotesi risulta un bruciatore a polverino di carbone con potenzialità totale pari a 300 kW (termici) caratterizzato da un consumo di carbone (polverino < 200µm) pari a 50 kg/h ed una portata di fumi pari a 400 Nm³/h.

La seconda possibilità prevede di considerare un bruciatore dedicato esclusivamente all'impianto pilota. In questo caso l'intera portata di fumi deve essere trattata dalla linea di clean-up esistente, pertanto la portata massima fumi da trattare risulta pari a 100 Nm³/h.

Considerando questa seconda ipotesi, le valutazioni progettuali effettuate hanno portato ad individuare una potenza termica nominale del bruciatore pari a 80 kW, con un consumo di carbone (polverino < 200µm) pari a 12 kg/h.

Il bruciatore selezionato verrà avviato con GPL che ha anche la funzione di supporto alla combustione del carbone. La combustione nel bruciatore sviluppa una fiamma di circa 0,8 m alla massima potenzialità. Per tale motivo, ai fini di ottenere una fiamma stabile, evitare spegnimenti accidentali, onde di deflagrazione o sbalzi di pressione, nonché una cattiva o incompleta combustione, è necessaria la presenza della fiamma all'interno della camera di combustione. Quest'ultima deve essere realizzata con rivestimento refrattario di 100 mm di spessore, resistente ad una temperatura massima di 1600 °C.

Sistema di preparazione del combustibile

La definizione del sistema di preparazione del combustibile ha tenuto conto principalmente di caratteristiche e quantità del combustibile richiesto dal bruciatore e delle modalità di utilizzo da parte degli operatori. Il sistema deve essere in grado di fornire una portata di 50 kg/h di polverino di carbone con granulometria pari 100 – 200 µm, e deve richiedere l'intervento dell'operatore ad intervalli minimi di circa un'ora.

È stata valutata la possibilità di acquistare il combustibile alla granulometria richiesta, in big bag da caricare nel bruciatore mediante una tramoggia dotata di sistema "vuota sacco" automatico. La seconda possibilità studiata prevede l'installazione di un sistema composto da tramoggia per il caricamento del carbone (pezzatura massima pari a 20 mm), mulino, polmone di accumulo del polverino di carbone e sistema pneumatico di alimentazione dello stesso al bruciatore.

Sistema per il raffreddamento dei fumi di combustione

I fumi, in uscita dalla camera di combustione, presentano una temperatura pari a 950 - 1000 °C e devono essere portati alla temperatura di esercizio dello scrubber (T_{max} = 60°C), a questo proposito è stata valutata la necessità di installare un sistema di raffreddamento ad acqua opportunamente dimensionato.

Quadro elettrico e sistema di controllo

Dal quadro elettrico di controllo è possibile monitorare tutte le variabili misurate sul campo, ed effettuare le operazioni previste dal controllo automatico del processo, durante il funzionamento normale dell'impianto. Il quadro gestisce, inoltre, tutte le operazioni di sicurezza previste in caso di malfunzionamento e permette all'operatore di effettuare lo spegnimento di emergenza tramite apposito pulsante.

Le principali variabili di processo ed i loro set-point sono modificabili dal quadro, essi saranno visualizzabili e registrabili in sala controllo con un segnale 4-20 mA.

I loop di controllo saranno comandati, impostati e monitorati attraverso il quadro e gli allarmi di malfunzionamento sono visualizzati tramite apposite spie che permettono di individuare tempestivamente eventuali anomalie nel funzionamento del sistema.

Il sistema di controllo, completo della strumentazione di misura, consente di gestire:

- dosaggio combustibile;
- parametri di combustione (combustibile, aria, GPL di supporto alla combustione);
- raffreddamento dei fumi in uscita dal sistema di combustione ed inviati alla sezione di trattamento.

2.2 Alcuni combustori analizzati

Come ausilio alle attività di progettazione si è proceduto al sopralluogo di alcuni impianti esistenti anche al fine di individuare tutti gli ausiliari necessari al funzionamento del combustore a polverino di carbone. In particolare sono stati visitati gli impianti di piccola taglia presenti a Santa Giusta (Oristano) della Clivati e a Santa Gilla (Cagliari) dell'ENEL.

Combustore di Santa Giusta (Oristano)

In data 09/02/2012 è stato visionato un combustore sperimentale a polverino di carbone, di proprietà del Dipartimento di ingegneria Meccanica di Cagliari, presente a Santa Giusta presso un capannone della società Clivati. Il combustore in questione è composto da due soffianti che forniscono l'aria processo: aria primaria e aria secondaria rappresentate nella figura seguente:



Figura 2.2. Soffianti

Le due soffianti terminano con sistema di riscaldamento elettrico per effettuare il preriscaldamento dell'aria. La temperatura di preriscaldamento può essere regolata fino ad un massimo di 500 °C.

Successivamente l'aria viene condotta al bruciatore che si compone di una fiamma pilota a GPL ed un bruciatore per il polverino di carbone: una rappresentazione di tale sistema è presente nella fotografia seguente:



Figura 2.3. Bruciatore

Nella fotografia, inoltre, si nota una piccola tramoggia per l'alimentazione del carbone fino a 20 kg/h, il carbone in polvere viene successivamente alimentato al bruciatore tramite un sistema di dosaggio automatico. A valle del bruciatore è posizionata la camera di combustione, essa è stata costruita in moduli smontabili in maniera tale da allungarla o restringerla a seconda delle esigenze, sono presenti inoltre una serie di bocchelli per verificare il colore e la dimensione della fiamma. Nella fotografia seguente è rappresentata la camera di combustione.



Figura 2.4. Camera di combustione

I fumi una volta usciti dalla camera di combustione vengono convogliati ad un ciclone per l'eliminazione delle polveri e successivamente scaricati in cammino.

Il bruciatore può consumare fino a 20 kg/h di carbone con una potenzialità stimata di circa 100 – 150 kW ed una produzione di fumi di circa 100-150 Nm³/h.

Combustore di Santa Gilla (Cagliari)

In data 07/03/2012 è stato visionato il simulatore di prova della società ENEL S.p.A per l'esercizio a olio combustibile e carbone. Il Simulatore di prova è un impianto con una potenza termica nominale di 4,8 MW situato presso il laboratorio combustione di Santa Gilla esso ha consentito di studiare all'ENEL in passato le seguenti sperimentazioni:

- la sperimentazione di vari combustibili (olio, carbone, oriemulsion);

- lo studio di tecniche per l'abbattimento delle emissioni;
- studio della fluidodinamica nella camera di combustione.

Il simulatore di prova è costituito da una serie di moduli refrattari, tali moduli sono predisposti per l'alloggiamento di 12 bruciatori principali. I bruciatori sono disposti a coppie su tre piani per due lati realizzando così una caldaia frontale contrapposta con 12 bruciatori di tipologia TEA-C (tri-combustion, ENEL/ANSALDO).

Il bruciatore è composto: da una lancia centrale per l'olio combustibile, da un condotto per l'ingresso dell'aria primaria e del polverino di carbone, da due condotti concentrici per l'aria comburente e da una gola costruita in acciaio refrattario. Durante la visita, al fine di valutare lo stato dei bruciatori, sono state effettuate delle fotografie che ritraggono il componente alloggiato all'interno del simulatore stesso.



Figura 2.5. Bruciatori TEA

Nella fotografia sopra riportata sono visibili tre bruciatori TEA notevolmente ossidati. Durante la visita non è stato possibile estrarli dal loro alloggiamento al fine di esaminarne la parte interna inserita nella camera di combustione. Ognuno dei combustori ha un potenza termica di 400 kW pertanto per l'utilizzo di un singolo combustore (sufficiente per le sperimentazioni Sotacarbo), si renderebbe necessario progettare e realizzare la parte restante dell'impianto (camera di combustione, tramoggia di caricamento, GPL per fiamma pilota, aria processo ecc).

3. Progettazione di massima

L'impianto di combustione a polverino di carbone, da integrarsi con l'impianto pilota Sotacarbo, è stato dimensionato per rendere disponibile una portata massima di fumi di combustione pari a $100 \text{ Nm}^3/\text{h}$ con una temperatura massima di ingresso dei fumi nella sezione di trattamento e pulizia gaspari a 60°C .

Per il dimensionamento del suddetto impianto sono state effettuate le seguenti assunzioni:

- ore funzionamento dell'impianto in continuo: 16 ore;
- operatori dedicati al funzionamento dell'impianto in continuo: 2;
- approvvigionamento del combustibile: big bags da $0,5 \div 1 \text{ m}^3$ di carbone in polvere con granulometrie $50 \div 200$ micron;
- quantità di combustibile in alimentazione al combustore: 12 kg/h .

In alternativa è stata considerata anche l'ipotesi di acquistare il carbone in big bags da $0,5 \div 1 \text{ m}^3$ in pezzatura da $10 - 20 \text{ mm}$, in tal caso è necessario dotare il sistema di stoccaggio e trattamento del combustibile di un mulino adatto alla macinazione del carbone. Pertanto per quanto sopra si riportano di seguito le due configurazioni d'impianto esaminate.

Configurazione A

Tale configurazione d'impianto prevede l'acquisto di carbone in polvere fornito in big bags da $0,5 \div 1 \text{ m}^3$

- Sistema di stoccaggio del carbone
- Tramoggia svuota big bags
- Sistema di dosaggio del carbone in polvere
- Sistema di combustione del carbone, costituito da un bruciatore e da una camera di combustione
- Misuratore di portata fumi.

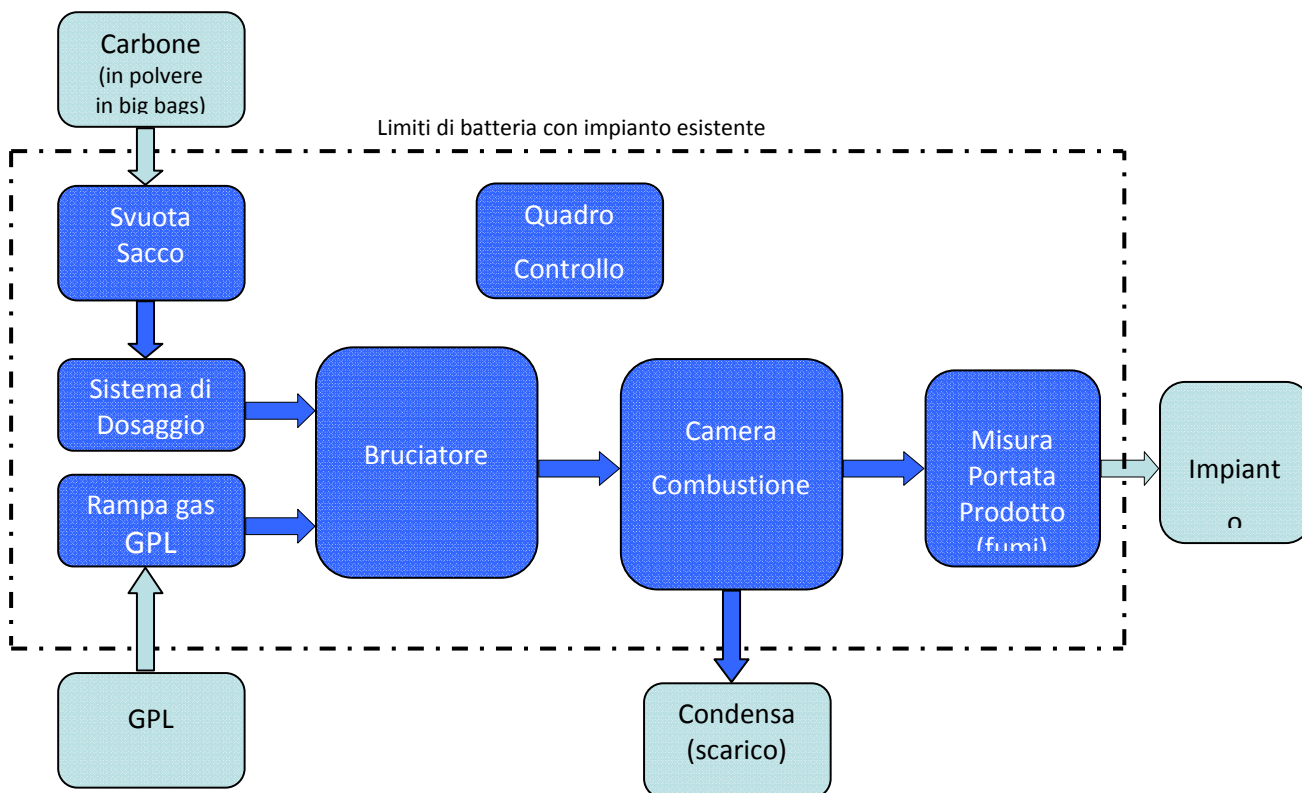


Figura 3.1. Schema a blocchi del combustore in configurazione A

Configurazione B

Tale configurazione di impianto prevede l'acquisto di carbone in pezzatura da 10 – 20 mm fornito in big bags da 0,5 ÷ 1 m³

- Sistema di stoccaggio del carbone
- Tramoggia svuota big bags
- Mulino per la macinazione del carbone
- Sistema di dosaggio del carbone in polvere
- Sistema di combustione del carbone, costituito da un bruciatore e da una camera di combustione
- Misuratore di portata fumi.

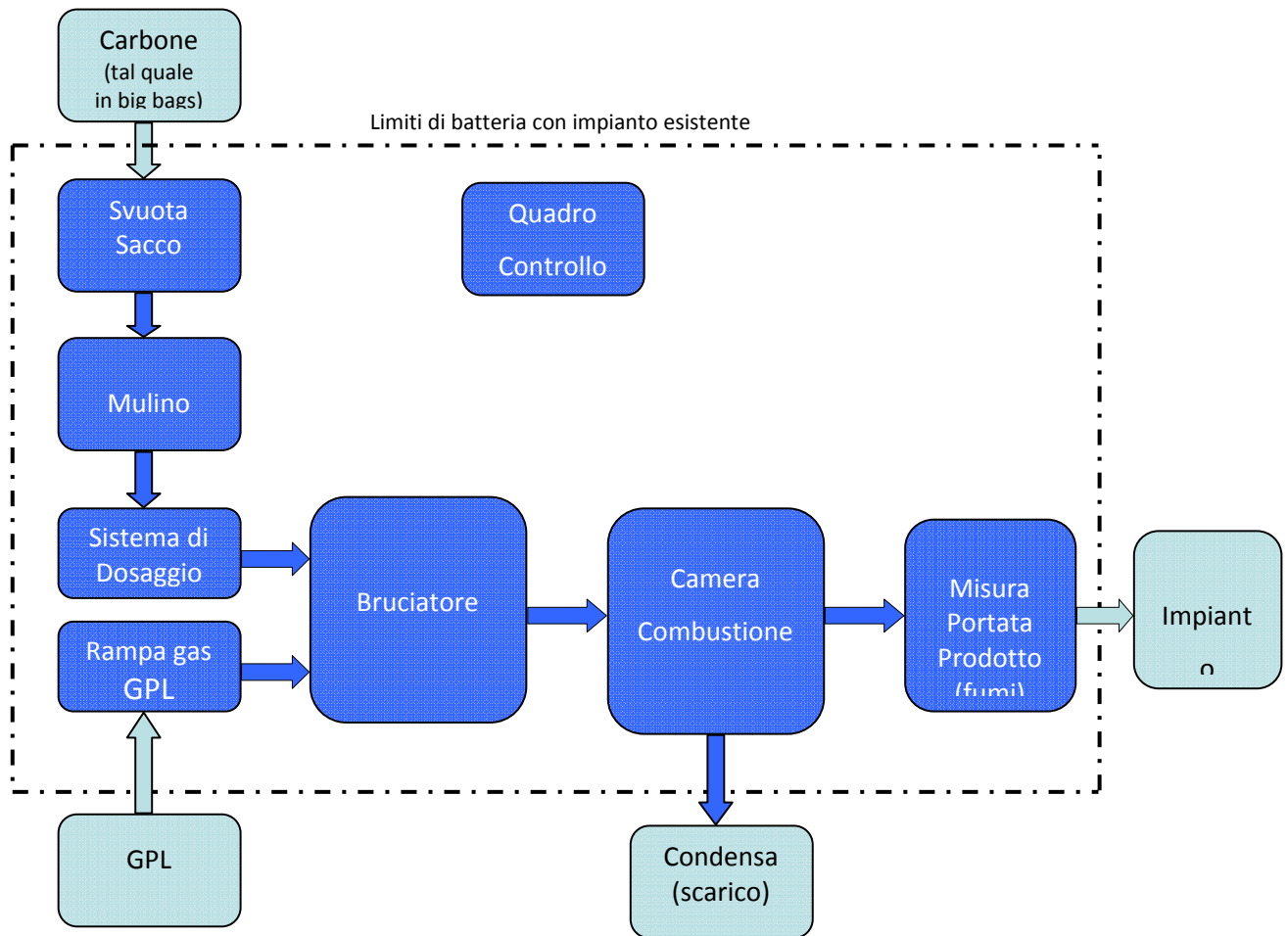


Figura 3.2. Schema a blocchi del combustore in configurazione B

Negli schemi a blocchi sopra riportati sono stati evidenziati i collegamenti di processo in ingresso ed in uscita, le cui caratteristiche sono di seguito descritte:

Flussi In Ingresso:

- Carbone
 - Alimentazione Carbone big bags da $0,5 \div 1 \text{ m}^3$
 - Portata (Max / Nor / Min): 12 / 10 / 4 Kg/h
 - Temperatura (Max /Nor /Min): ambiente
 - Pressione (Max / Nor / Min): atmosferica
 - Pezzatura (Max/Nor): 200 / 100 μm
 - Potere calorifico del Carbone Sud-Africano: 28,10 MJ/kg
 - Potere calorifico del Carbone Sulcis: 22,59 MJ/kg
- GPL - Gas di accensione e supporto alla combustione
 - Portata (Max / Min): 3 / 0,3 Nm^3/h
 - Temperatura (Max /Nor /Min): ambiente
 - Potere calorifico inferiore (PCI): 100,00 MJ/kg

Flussi In Uscita

- Prodotto – Gas Combusti uscenti dall’impianto di combustione a polverino di carbone
 - Portata (Max / Nor / Min): 100 / 50 / 20 Nm³/h
 - Temperatura (Max / Nor / Min): 60 / 50 / 40 °C
 - Pressione (Max / Nor / Min): 30 / 15 / 5 mbarg
- Condense –Scarico condense del sistema di quench
 - Portata (Max / Nor / Min): 1500 / 1000 / 500 l/h
 - Temperatura (Max / Nor / Min): 60 / 35 / 5 °C
 - Pressione (Max / Nor / Min): 30 / 15 / 5 mbarg

Per il funzionamento dell’impianto di combustione a polverino di carbone è necessario collegare, attivare ed erogare i seguenti servizi industriali:

- Alimentazione Elettrica
 - Linea 1: 400 V AC (3ph + N + Gr) 50 Hz
- Acqua Quench
 - Portata (Max / Nor / Min): 1500 / 1000 / 500 l/h
 - Temperatura (Max / Nor / Min): 60 / 50 / 40 °C
 - Pressione (Max / Nor / Min): 30 / 15 / 5 mbarg
- Aria Strumenti
 - Pressione di alimentazione: 6 barg (Min)
 - Filtrata e senza olio (Contenuto d’olio max 0,003 ppm; Polveri max 0,01 µm)
 - Deumidificata con dew point: -20 °C (Max)
- Azoto
 - Pressione di alimentazione: 6 barg (Min)
 - Specifica minima: Grado Tecnico
- Trasmissione Dati
 - Morsettiera per cavo multifilo per segnali del tipo: 4...20 mA
 - Digitali input/output (0..24 VDC)

3.1 Descrizione del processo

Sistema di stoccaggio del carbone

Il combustibile acquistato in big bags da 0,5 ÷ 1 m³ viene stoccato nel parco carbone della piattaforma pilota, dal quale viene trasportato in prossimità dell’impianto di combustione a polverino di carbone mediante l’utilizzo di un transpallet manuale o di un carrello elevatore.

Tramoggia svuota big bags

Il big bags di combustibile posizionato in prossimità della tramoggia svuota big bags, viene caricato su di essa tramite l’utilizzo del paranco presente nell’impianto pilota. Il sistema svuota big bags è costituito superiormente da un telaio mobile che consente di adeguare l’altezza del piano di appoggio in funzione della dimensione del sacco utilizzato(0,5 ÷ 1 m³), mentre la portata massima che può tollerare è di circa 2000 kg. La struttura svuota sacco ha inoltre lo scopo di facilitare l’apertura del sacco e convogliare il polverino di carbone al sistema di dosaggio. L’operazione avviene in sicurezza, attraverso una valvola a ghigliottina di parzializzazione e arresto, completa di comando manuale a volantino e lama rompi sacco.



Figura 3.3. Tramoggia svuota big bags

Mulino per la macinazione del carbone

Il mulino, previsto per la sola configurazione B, è posizionato a valle della tramoggia svuota big bags. Tale apparecchiatura è composta da due parti principali, la parte superiore lavora con combustibile caratterizzato da una pezzatura di grandi dimensioni trasformandola in pezzatura inferiore, nella parte a valle il combustibile viene totalmente trasformato in polvere ($50 \div 200$ micron) e successivamente inviato al sistema di dosaggio.



Figura 3.4. Mulino

Sistema di dosaggio e trasporto del carbone in polvere

Il sistema di dosaggio ha il compito di alimentare e regolare, tramite trasporto pneumatico, la corretta portata di alimentazione al bruciatore (12 kg/h). Il trasporto pneumatico del polverino di carbone è garantito da una soffiante ad alta pressione, ed è comandato da inverter con comando analogico con feed back sul motore elettrico. La linea di trasporto sarà collegata al gruppo di combustione con collegamenti di messa a terra senza interruzioni di continuità.



Figura 3.5. Sistema di dosaggio

Sistema di combustione del carbone, costituito da un bruciatore e da una camera di combustione

Il sistema di combustione del carbone è costituito da un bruciatore e da una camera di combustione, in particolare il bruciatore è composto da:

- sistema di distribuzione del combustibile solido in acciaio inox;
- ugelli per la distribuzione del combustibile solido in polvere;
- muffola con refrattario;
- valvola pneumatica a semplice effetto con micro di sicurezza per bloccare il flusso di combustibile in polvere in caso di arresto di emergenza;
- sensore montato sul motore con feed back per il controllo reale della velocità del motore.

Nel bruciatore avviene la combustione del polverino, il suo avviamento viene effettuato dapprima con un combustibile tradizionale (gpl), che ha anche la funzione di supporto alla combustione del polverino di carbone e se necessario da preriscaldamento della muffola del refrattario e solo successivamente, a seguito del riscaldamento della muffola (circa 10 ÷ 15 minuti) e al raggiungimento di 800 °C si procede con l'attivazione del trasporto pneumatico del combustibile. Se le caratteristiche del carbone lo permettono, a regime, è possibile fermare l'alimentazione del gpl.

La combustione nel bruciatore sviluppa una fiamma di circa 0,8 metri alla massima potenzialità. Per tale motivo, per ottenere una fiamma stabile, evitare spegnimenti inattesi, evitare onde di deflagrazione o sbalzi di pressione sul gas prodotto, nonché una cattiva o incompleta combustione, è necessario sviluppare la fiamma all'interno di un'apposita camera di combustione, coibentata internamente e avente una lunghezza di circa 2,5 metri.

Allo scarico della camera di combustione, il gas prodotto verrà convogliato all'interno di una tubazione (inclusa alla fine della camera di combustione), adatta a consentire il suo raffreddamento, è inoltre prevista con l'installazione di un sistema di raffreddamento per quenching (a ciclo aperto) nel caso in cui le perdite di calore verso l'ambiente non fossero sufficienti ad abbassare la temperatura finale del gas prodotto, prima di essere inviato alla successiva sezione di pulizia gas.

Il raffreddamento del gas prodotto, sia per dispersione, sia perché integrato dal quenching, produrrà la condensa dell'acqua presente nei fumi di combustione. E' stata pertanto prevista l'integrazione con un adeguato sistema che avrà il compito di gestire e scaricare la condensa.

Il bruciatore è caratterizzato da una potenzialità di 80 kW e sarà dotato di:

- Fotocellula Atex zona 2
- Camma elettronica per gestione bruciatore scheda gestione inverter sistema di dosaggio;

- Ventilatore aria comburente Atex per zona 2;
- Pilota a gas ad aria soffiata in custodia Eex-d;
- Valvola di blocco pneumatica per chiusura ingresso tubazione combustibile in polvere;
- Rampa gas 1" assemblata con valvole certificate Atex Zona 2;
- Muffola bruciatore;
- Rotocella doppia per il dosaggio controllato e continuo del prodotto in polvere;
- Soffiante ad alta pressione per il trasporto pneumatico del combustibile in polvere.



Figura 3.6. Particolare del bruciatore

Quadro Controllo

L'impianto di combustione a polverino di carbone è controllato da un quadro di comando che permette:

- la gestione della combustione e delle alimentazioni attraverso una camma elettronica e un inverter;
- la misura della portata di gas prodotto;
- la gestione della condensa.

Il quadro controllo sarà realizzato per essere posizionato in zona sicura (zona non classificata ai sensi della normativa ATEX), protetto dalla pioggia, dalla polvere e dalla luce diretta del sole.

Misuratore di portata prodotto (fumi)

Il sistema di combustione a polverino di carbone è dotato di un misuratore di portata, con indicatore digitale remoto a quadro. In fase di progettazione di dettaglio verrà definita la tipologia (termico, ad ultrasuoni o a tubo di pitot) di misuratore di portata più adatto per la rilevazione dei fumi.

Tutto il sistema di combustione a polverino di carbone sarà montato su skid e realizzato in acciaio al carbonio, trattato con processo di verniciatura adeguato per l'installazione all'esterno. Inoltre tutti i componenti e le linee saranno coibentate, ove necessario, in modo da evitare punti caldi e possibile fonte di pericolo per gli operatori.

3.2 Schema preliminare del sistema e flussi ingresso e uscita

Sulla base di quanto precedentemente descritto si riporta di seguito uno schema preliminare del sistema che prevede l'inserimento opzionale del mulino a seconda della scelta sulla tipologia del carbone da acquistare.

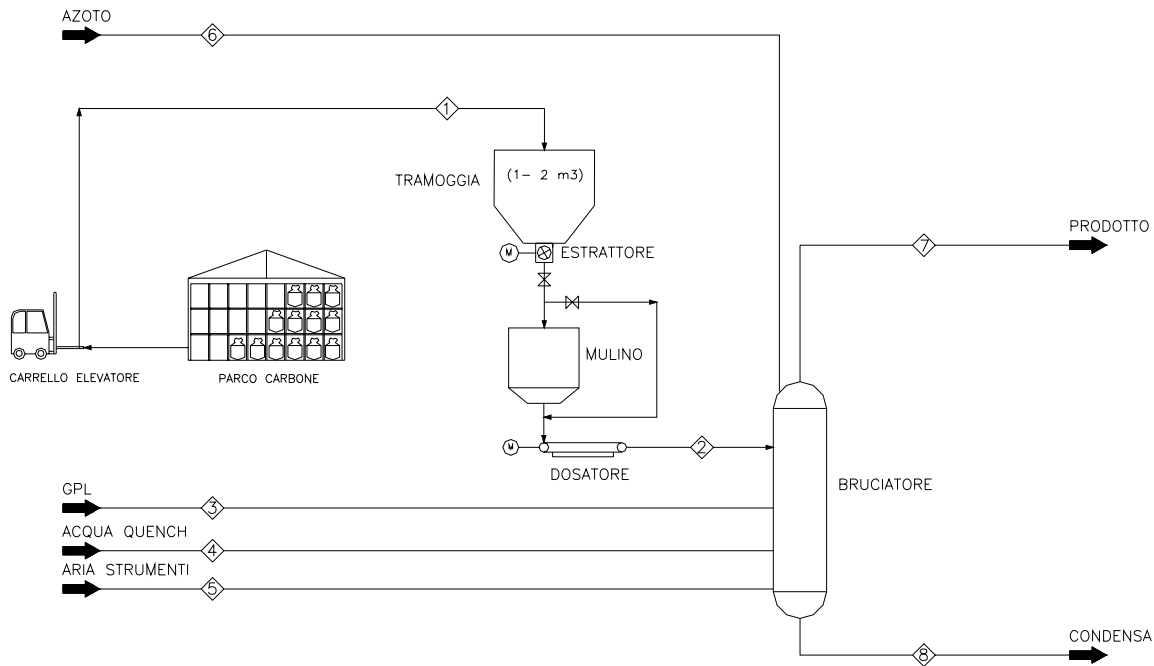


Figura 3.7 - Schema preliminare sistema combustione a polverino di carbone

Si riporta di seguito una tabella riassuntiva dei flussi in ingresso ed uscita dalle diverse apparecchiature, in particolare, sono indicate temperature, pressioni, portate e per il carbone è stata indicata anche la granulometria. Ciascuno stream è stato indicato col numero identificativo riportato nella precedente figura 5.

Tabella 3.1. Stream sistema combustione a polverino di carbone

	Stream 1 Carbone	Stream 2 Carbone	Stream 3 GPL	Stream 4 H ₂ O quench	Stream 5 Aria strumenti	Stream 6 Azoto	Stream 7 Prodotto	Stream 8 Condense
T	ambiente	ambiente	ambiente	40 ÷ 60 [°C]	20 °C	-	40 ÷ 60 [°C]	5 ÷ 60 [°C]
P	atm	atm	-	5 ÷ 30 mbarg	6 barg (min)	6 barg	5 ÷ 30 mbarg	5 ÷ 30 mbarg
Portata	-	4 ÷ 12 kg/h	0,3 ÷ 3 Nm ³ /h	500 ÷ 1500 l/h	-	-	20 ÷ 100 Nm ³ /h	500 ÷ 1500 l/h
Granul (*)	100 ÷ 200 µm 10 ÷ 20 mm	100 ÷ 200 µm						
(*) 100 ÷ 200 µm per la configurazione A: senza mulino; 10 ÷ 20mm per la configurazione B con mulino								

4. Valutazione costi di investimento e tempi di realizzazione

A seguito della progettazione di massima, è stata effettuata una valutazione preliminare dei costi di investimento necessari per la realizzazione dell'impianto di combustione a polverino di carbone, comprensiva dei costi per l'adeguamento e per la realizzazione dei collegamenti elettrici e del piping necessari per l'integrazione del suddetto impianto con quello esistente.

La valutazione dei costi di investimento è stata eseguita sia per lo sviluppo della configurazione A, in cui si prevede l'acquisto di carbone in polvere fornito in big bags da 0,5 ÷ 1 m³ (tabella 1), sia per lo sviluppo della configurazione B (tabella 2), in cui si prevede l'acquisto del carbone in pezzatura da 10 – 20 mm. In entrambi i casi risultano escluse dalla fornitura dell'impianto di combustione a polverino di carbone tutta una serie di attività accessorie, che riguarderanno:

- Opere civili per posizionamento e ancoraggio dell'impianto
- Adeguamento impianto elettrico: collegamento all'impianto esistente e integrazione impianto di messa a terra
- Adeguamento piping: connessioni tra l'impianto esistente e l'impianto di combustione
- Adeguamento impianto antincendio
- Eventuali autorizzazioni / licenze e adeguamento documenti esistenti
- Struttura metallica di protezione dell'impianto di combustione

In via preliminare sono stati stimati anche i costi delle opere accessorie (tabella 3), che andranno riverificati a seguito della progettazione di dettaglio.

Tabella 4.1. Valutazione costi impianto per la configurazione A: carbone in polvere

Impianto di combustione a polverino di carbone: Configurazione A	
Bruciatore	€ 56.000
Struttura vuota sacco (big bags)	€ 7.000
Misuratore portata prodotto	€ 5.500
Camera di combustione	€ 15.500
Progetto di dettaglio	€ 20.000
Realizzazione	€ 11.500
Collaudo funzionale	€ 3.500
Trasporto e installazione	€ 10.000
Collaudo prestazionale	€ 3.000
Totale	€ 132.000

Tabella 4.2. Valutazione costi impianto per la configurazione B: carbone in pezzatura

Impianto di combustione a polverino di carbone: Configurazione B	
Bruciatore	€ 56.000
Struttura vuota sacco (big bags)	€ 7.000
Mulino	€ 18.000
Misuratore portata prodotto	€ 5.500
camera di combustione	€ 15.500
Progetto di dettaglio	€ 20.000
Realizzazione	€ 11.500
Collaudo funzionale	€ 3.500
Trasporto e installazione	€ 10.000
Collaudo prestazionale	€ 3.000
Totale	€ 150.000

Tabella 4.3. Valutazione preliminare costi opere accessorie

Opere accessorie	
Opere civili per posizionamento impianto	€ 5.000
Adeguamento impianto elettrico	€ 5.000
Adeguamento piping	€ 2.000
Adeguamento impianto antincendio	€ 5.000
Eventuali autorizzazioni / licenze e adeguamento documenti	€ 15.000
Struttura di protezione dell'impianto	€ 13.000
Totale	€ 45.000

Per quanto sopra riportato il costo di investimento totale per le due diverse configurazioni ammonta a: € **177.000** per la configurazione A e a € **195.000** per la configurazione B.

5. Layout sistema di combustione a polverino di carbone

Si riporta in figura 5.1 il layout del sistema di combustione a polverino di carbone

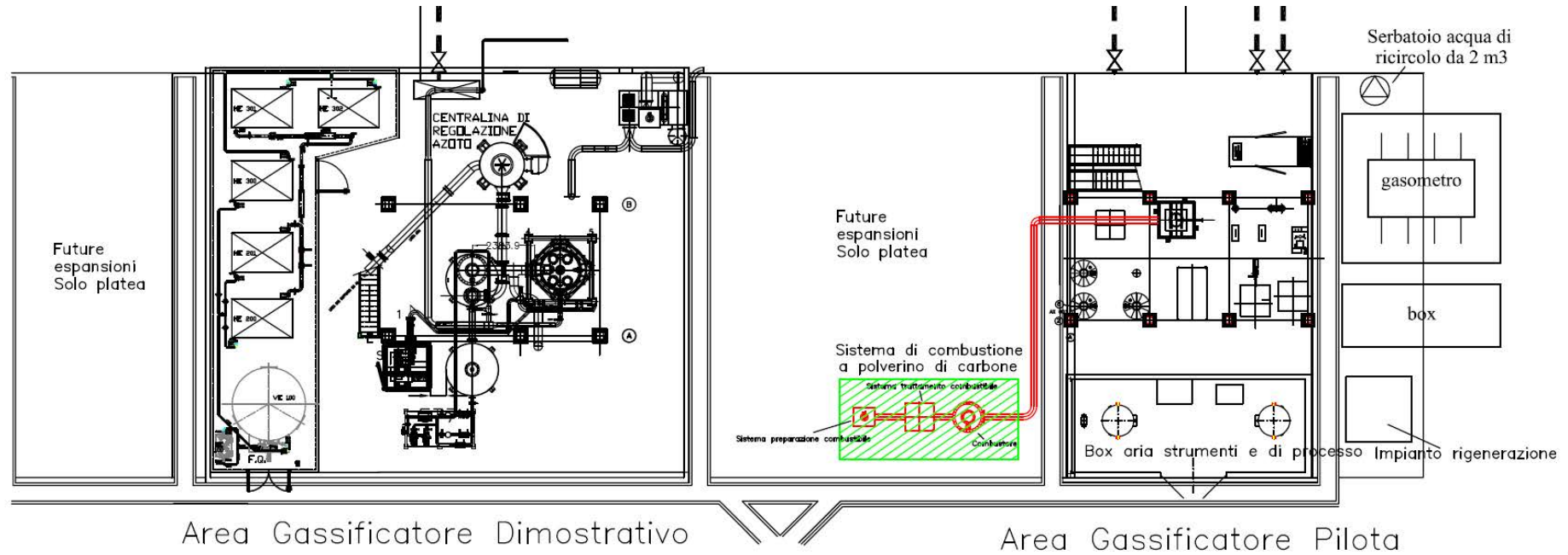


Figura 5.1 – Layout sistema di combustione a polverino di carbone

6. Conclusioni

Nella presente relazione è stata analizzata e studiata: la taglia e la progettazione di massima per un combustore a polverino di carbone le cui caratteristiche principali si adattino all'impianto Pilota Sotacarbo. Nell'ultima parte della relazione è stata effettuata un'analisi economica sull'investimento per l'acquisto del combustore ed è stata valutato l'inserimento nella piattaforma pilota.

La taglia del combustore è stata stabilita prendendo come riferimento la portata massima di fumi trattabili dalla linea di clean-up dell'impianto Pilota, sulla base di questo parametro è stata calcolata la potenza del combustore e la portata di carbone necessaria.

Successivamente è stata effettuata una progettazione di massima prevedendo due possibili configurazioni: la prima prevede l'alimentazione al combustore di polverino di carbone tal quale (fornito con una dimensione massima 200 micron), la seconda prevede l'inserimento di un mulino per la preparazione e la vagliatura del carbone (fornito con dimensione massima di 20 mm). La prima configurazione si fa preferire per un costo di investimento minore ed una maggiore facilità di gestione, la seconda per una maggiore completezza ed elasticità dell'impianto. Inoltre dal punto della sicurezza la seconda configurazione comporterebbe meno adempimenti ed una minore pericolosità: infatti non sarebbe necessario stoccare polverino di carbone e non lo si dovrebbe movimentare.

Infine è stata effettuata l'analisi economica ed è stato inserito il combustore all'interno del lay-out della piattaforma Pilota. La posizione del combustore è stata decisa valutando: la vicinanza al gassificatore per l'inserimento dei fumi di combustione sulla linea di clean-up, la vicinanza ai fluidi ausiliari necessari, la compatibilità con le apparecchiature vicine.

Sotacarbo SpA

La Società Sotacarbo - Società Tecnologie Avanzate Carbone- S.p.A. è stata costituita il 2 aprile 1987, in attuazione dell'art. 5 della legge 351/85 “norme per la riattivazione del bacino carbonifero del Sulcis”, con la finalità di sviluppare tecnologie innovative ed avanzate nell'utilizzazione del carbone attraverso la costituzione in Sardegna del Centro di Ricerche, la progettazione e la realizzazione di impianti dimostrativi sulla innovazione tecnologica nella utilizzazione del carbone, la realizzazione di impianti industriali per l'utilizzazione del carbone in alternativa alla combustione.

Le attività della Sotacarbo riguardano soprattutto:

- Sviluppare progetti di R&S e di ricerca applicata sulle nuove tecnologie di utilizzo del carbone, le così dette Clean Coal Technologies (CCTs)
- Operare come punto di riferimento a livello nazionale, per il coordinamento delle attività di R&S sul carbone a sostegno del sistema industriale italiano
- Promuovere e diffondere la conoscenza sulle CCTs, fornendo una corretta visione delle potenzialità del carbone nel panorama energetico italiano e non, con particolare riferimento alla sua compatibilità con l'ambiente
- Monitorare gli sviluppi tecnologici riguardanti l'utilizzo pulito del carbone
- Fornire attività di consulenza ad enti, istituzioni e privati nel campo delle CCTs. Partecipare a meeting internazionali e gestire rapporti con organizzazioni omologhe straniere per contribuire alla diffusione delle CCTs