



Agenzia Nazionale per le Nuove Tecnologie,  
l'Energia e lo Sviluppo Economico Sostenibile



*Ministero dello Sviluppo Economico*

## RICERCA DI SISTEMA ELETTRICO

# Valutazione economica dei processi

*M. Fadda, E. Maggio, A. Plaisant, A. Madeddu*



## VALUTAZIONE ECONOMICA DEI PROCESSI

M. Fadda, E. Maggio, A. Plaisant, A.Madeddu (Sotacarbo)

Settembre 2011

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico – ENEA

Area: Produzione di energia elettrica e protezione dell'ambiente

Progetto: Studi sull'utilizzo pulito dei combustibili fossili e cattura e sequestro della CO<sub>2</sub>

Responsabile Progetto: Antonio Calabrò, ENEA

**PIATTAFORMA PILOTA  
PER LA PRODUZIONE E IL TRATTAMENTO DEL SYNGAS DA CARBONE**

**PROGETTO DI RICERCA CERSE 3<sup>^</sup> ANNUALITÀ**

OR 1:SPERIMENTAZIONE E OTTIMIZZAZIONE DI IMPIANTI DI GASSIFICAZIONE: PRODUZIONE, TRATTAMENTO E CONVERSIONE DEL SYNGAS PRODOTTO DALLA GASSIFICAZIONE DEL CARBONE IN IMPIANTI EQUIPAGGIATI CON CATTURA DELLA CO<sub>2</sub>

**RELAZIONE TECNICA**

**VALUTAZIONE ECONOMICA DEI PROCESSI**

 <b>SOTACARBO</b>		<b>PROGETTO DI RICERCA CERSE 3</b>	
<b>Rev.</b>	<b>Data</b>		
0	30.09.2011	Marcella Fadda Enrico Maggio Alberto Plaisant Alessandra Madeddu	

## **Premessa**

Il presente documento è riferito alle attività indicate nell'allegato tecnico all'Accordo di collaborazione tra ENEA e Sotacarbo "Studi e sperimentazioni di sistemi e tecnologie applicate ad impianti di produzione energetica da carbone equipaggiati con cattura e sequestro della CO<sub>2</sub>". Ha partecipato alla stesura del presente documento tutto il personale dell'area tecnica.

In particolare:

- per il raggiungimento dell'obiettivo "OR1: Sperimentazione e ottimizzazione di impianti di gassificazione: produzione, trattamento e conversione del syngas prodotto dalla gassificazione del carbone in impianti equipaggiati con cattura della CO<sub>2</sub>" sono state eseguite una serie di attività sperimentali per ottimizzare il processo di gassificazione, di produzione di energia elettrica e idrogeno mediante la gassificazione del carbone in letto fisso up-draft nella piattaforma pilota Sotacarbo, nonché prove di rigenerazione del solvente esausto utilizzato per la cattura della CO<sub>2</sub>.

Le elaborazioni economiche riportate nella presente relazione riguardano tutte le prove effettuate nell'ambito del progetto.

## Indice

<b>Premessa</b> .....	2
<b>1. Introduzione</b> .....	4
<b>2. Organizzazione della campagna sperimentale</b> .....	4
2.1 Combustibile impiegato .....	6
<b>3. Apparecchiature coinvolte nei test sperimentali</b> .....	8
<b>4. Valutazioni economiche delle prove di gassificazione e di generazione di energia elettrica</b> .....	9
<b>5. Valutazioni economiche delle prove di produzione idrogeno</b> .....	12
<b>6. Valutazioni economiche delle prove di gassificazione con utilizzo del sistema di depolverazione elettrostatica (WESP)</b> .....	16
<b>7. Valutazioni economiche delle prove di co-gassificazione carbone e biomasse</b> .....	18
<b>8. Valutazioni economiche delle prove di combustione con cattura della CO<sub>2</sub> nei fumi di combustione</b> .....	20
<b>9. Conclusioni</b> .....	24

## 1. Introduzione

Nell'ambito del presente progetto di ricerca è stata predisposta una campagna sperimentale per raggiungere gli obiettivi previsti nei vari temi di ricerca cercando di ottimizzare le prove sperimentali riducendo al minimo il numero di avviamenti dell'impianto e massimizzando la raccolta dei dati dallo stesso.

## 2. Organizzazione della campagna sperimentale

Nell'ambito del progetto sono state effettuate 19 prove sperimentali per un totale di 321 ore , e test di verifica di funzionamento dei nuovi sistemi inseriti nell'impianto, per un totale di 180 ore.

La Tabella 1 riporta una sintesi schematica delle prove sperimentali effettuate (relativamente al trattamento del syngas) e delle sezioni impiantistiche volta per volta interessate: gassificazione (GSF, comprendente anche lo scrubber), precipitatore elettrostatico (ESP, *electrostatic precipitator*), desolforazione a freddo (CGD, *cold gas desulphurization*), motore a combustione interna (ICE, *internal combustion engine*), trattamento a caldo del syngas (HGT, *hot gas treatment*, comprendente i processi di desolforazione a caldo, CO-shift e separazione dell'anidride carbonica) e purificazione dell'idrogeno (HSP, *hydrogen separation*).

Data	Obiettivo principale	Sezioni d'impianto interessate					
		GSF	ESP	CGD	ICE	HGT	HSP
16/12/2010	Verifica preliminare avviamento impianto	X	-	-	-	-	-
20/01/2011	Ottimizzazione gassificazione	X	-	-	-	-	-
27/01/2011	Prove di avviamento e spegnimento gassificatore	X	-	-	-	-	-
03/02/2011	Ottimizzazione gassificazione	X	-	-	-	-	-
16/02/2011	Test gassificazione con nuovo refrattario	X	-	-	-	-	-
22/02/2011	Test avviamento Elettrofiltro (ESP)	X	X	-	-	-	-
24/02/2011	Gassificazione e ESP	X	X	-	-	-	-
03/03/2011	Gassificazione e CGD con MEA 5 M	X	-	X	-	-	-
10/03/2011	Gassificazione e ESP	X	X	-	-	-	-
16/03/2011	Gassificazione con aria arricchita con O <sub>2</sub>	X	-	-	-	-	-
24/03/2011	Gassificazione con produzione di energia elettrica	X	-	-	X	-	-
07/04/2011	Gassificazione, separazione CO <sub>2</sub> e produzione H <sub>2</sub>	X	-	-	-	X	X
14/04/2011	Gassificazione e ESP	X	X	-	-	-	-
20/04/2011	Combustione con cattura della CO <sub>2</sub> (MEA 5 M)	X	-	X	-	-	-
19/05/2011	Gassificazione con produzione di energia elettrica	X	-	X	X	-	-
26/05/2011	Gassificazione con CO <sub>2</sub> /aria	X	-	-	-	-	-
01/06/2011	Gassificazione e ESP	X	X	-	-	-	-
09/06/2011	Gassificazione, separazione CO <sub>2</sub> e produzione H <sub>2</sub>	X	-	-	-	X	X
15-16/06/11	Gassificazione, CGD con MDEA 3 M e MCI	X	-	X	X	-	-
23/06/2011	Combustione con cattura della CO <sub>2</sub> (MEA 3 M)	X	-	X	-	-	-
30/06/2011	Co-gassificazione carbone biomasse e MCI	X	-	-	X	-	-
14/07/2011	Co-gassificazione carbone biomasse e MCI	X	-	-	X	-	-
21/07/2011	Gassificazione, separazione CO <sub>2</sub> e produzione H <sub>2</sub>	X	-	-	-	X	X

*Tabella 1. Organizzazione dei test sperimentali.*

## 2.1 COMBUSTIBILE IMPIEGATO

I test sperimentali sulla piattaforma pilota sono stati tutti eseguiti con carbone sudafricano, con carbone Sulcis (in piccole percentuali) e biomasse, le cui principali caratteristiche, valutate presso i laboratori Sotacarbo, sono riportate nella Tabella 2 e nella Tabella 3.

<i>Analisi immediata (in massa)</i>	
Carbonio fisso	72,58 %
Umidità	3,64 %
Volatili	8,81 %
Ceneri	14,97 %
<i>Analisi elementare (in massa)</i>	
Carbonio totale	75,56 %
Idrogeno	3,86 %
Azoto	1,40 %
Zolfo	0,57 %
Umidità	3,64 %
Ceneri	14,97 %
<i>Potere calorifico</i>	
Potere calorifico superiore	28,10 MJ/kg
Potere calorifico inferiore	27,18 MJ/kg

*Tabella 2. Caratterizzazione del carbone sudafricano.*

<i>Analisi immediata (in massa)</i>	
Carbonio fisso	40,65 %
Umidità	7,45 %
Volatili	40,45 %
Ceneri	11,45 %
<i>Analisi elementare (in massa)</i>	
Carbonio totale	66,49 %
Idrogeno	6,18 %
Azoto	1,41 %
Zolfo	7,02 %
Umidità	7,45 %
Ceneri	11,45 %
<i>Potere calorifico</i>	
Potere calorifico superiore	22,59 MJ/kg
Potere calorifico inferiore	21,07 MJ/kg

*Tabella 3. Caratterizzazione del carbone Sulcis*

In particolare il carbone sud africano utilizzato è stato fornito in big bags con pezzatura 6-50 mm, già vagliato, con una percentuale di fini minore del 6%, il cui costo ammonta a 465 €/t.

Rispetto alle prove sperimentali effettuate in altri progetti di ricerca è stato rilevato un miglioramento del processo di gassificazione conseguente alla riduzione della pezzatura del combustibile, pertanto nel ciclo di prove effettuate nell'ambito di questo progetto sono state utilizzate cariche aventi pezzature differenti (5/8 mm, 8/12 mm), preparate nei laboratori del Centro Ricerche Sotacarbo, utilizzando il frantoio a mascelle Retsch BB200.

### 3. Apparecchiature coinvolte nei test sperimentali

Dei test sperimentali in programma sono stati effettuati, come indicato nella precedente Tabella 1:

- 19 test per la valutazione delle prestazioni “standard” del processo di gassificazione.
- 5 test per la valutazione delle prestazioni “standard” del processo di gassificazione utilizzando il sistema di riscaldamento degli agenti gassificanti quali CO<sub>2</sub> e aria.
- 3 test per la verifica di funzionamento dell’elettrofiltro.
- 5 test per la valutazione delle prestazioni dell’impianto in fase di generazione elettrica.
- 3 test per la valutazione delle prestazioni dell’impianto in fase di produzione di idrogeno.
- 2 test per la valutazione dell’efficienza di desolforazione a freddo, impiegando ammine, nella colonna a riempimento progettata come II stadio di desolforazione a freddo.
- 2 test di combustione con cattura della CO<sub>2</sub> sui fumi.
- 2 test di co-gassificazione carbone e biomasse.
- 2 test di gassificazione utilizzando quale agente gassificante aria arricchita con O<sub>2</sub>.

Le principali sezioni impiantistiche coinvolte nei test di sviluppo del processo di gassificazione sono le sezioni di gassificazione, scrubber e torcia, i test volti alla valutazione delle prestazioni dell’impianto in fase di produzione dell’energia elettrica hanno coinvolto anche le sezioni di desolforazione a freddo (primo e secondo stadio) e il motore a combustione interna; il test di produzione idrogeno, infine, ha richiesto l’impiego delle sezioni di desolforazione a caldo, CO-shift, assorbimento CO<sub>2</sub> e PSA.

Il secondo stadio di desolforazione a freddo è stato inoltre utilizzato per valutare l’efficienza di assorbimento della CO<sub>2</sub>.

L’impianto è stato utilizzato anche per effettuare i test di:

- co-gassificazione con biomasse tipo faggio pellettizzato, con il coinvolgimento delle sezioni gassificazione, scrubber e torcia.
- combustione con cattura della CO<sub>2</sub> sui fumi con il coinvolgimento delle sezioni di gassificazione, scrubber, colonna a riempimento progettata come II stadio di desolforazione a freddo e torcia.

#### 4. Valutazioni economiche delle prove di gassificazione e di generazione di energia elettrica

Il costo medio per ciascun test è pari a circa 11.000 € sia per prove di sola gassificazione che per prove di produzione di energia con l'utilizzo di soda nel I stadio di desolforazione a freddo, in quanto i consumi di soda e la produzione di energia elettrica sono trascurabili.

I suddetti costi comprendono le seguenti voci:

- costo del personale impiegato per l'esecuzione dei test, della durata media di 16 ore
- costo del personale impiegato per l'elaborazione dei dati e per l'esecuzione delle analisi di laboratorio
- Costi relativi alle spese generali
- Consumabili quali:
  - carica di accensione, costituita da argilla, pellet miscelato al facilitatore di accensione e coke
  - combustibile quale carbone sud africano e carbone Sulcis
  - azoto per l'inertizzazione
  - gpl
  - energia elettrica

Dalle valutazioni economiche effettuate, il costo dei consumabili incide, sul costo totale della sperimentazione per il 5 % nelle prove di gassificazione con aria e di produzione di energia elettrica.

E' stata inoltre valutata l'incidenza media delle singole voci di costo (personale, spese generali e consumabili) sull'importo totale per le prove di gassificazione con aria e di produzione di energia, i cui valori sono riportati nella Tabella 4.

Descrizione	%
Costo personale tecnico per sperimentazione	40
Costo personale tecnico per analisi di laboratorio	10
Spese generali	45
Consumabili	5

Tabella 4. Incidenza percentuale media delle singole voci di costo sull'importo totale

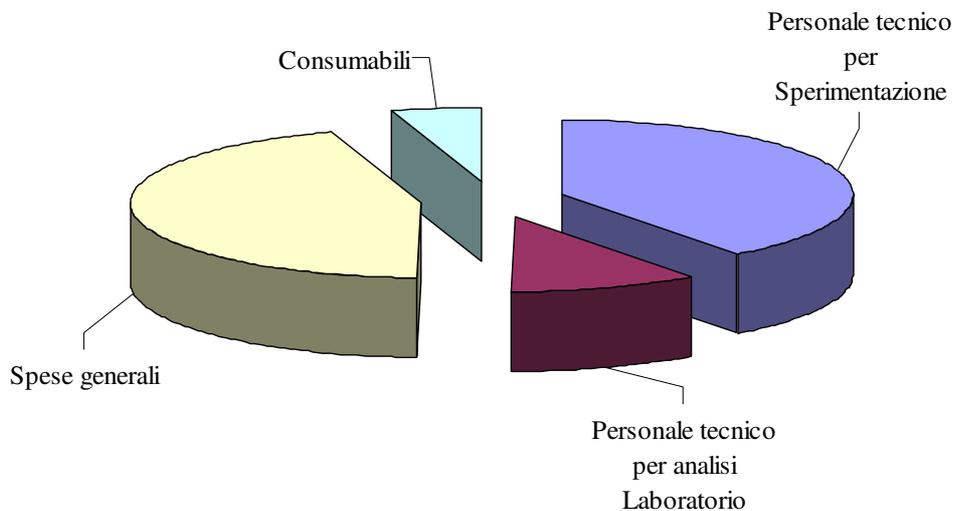


Figura 1. Incidenza delle singole voci di costo sull'importo totale delle prove di gassificazione con aria

In particolare, sono state eseguite delle valutazioni relativamente alle sezioni di:

Gassificatore, scrubber e torcia

La sezione di gassificazione, compreso lo scrubber, è stata testata per circa 257 ore nel corso delle prove effettuate.

Nel corso dei test suddetti il reattore è stato caricato a freddo con una carica di accensione pari a circa 30 l, per ciascuna prova, costituita dai seguenti materiali:

- 10 litri di coke
- 10 litri di pellet (più 300 gr di materiale paraffinico, quale facilitatore di accensione)
- 10 litri di argilla.

Il costo a prova relativo alla sola carica di accensione incide per l'1,40 % sul costo complessivo dei consumabili a prova.

Dalle valutazioni effettuate per ciascuna prova di gassificazione è emerso che i principali materiali di consumo che maggiormente incidono sul costo delle prove sono il combustibile utilizzato per l'alimentazione al gassificatore, l'azoto utilizzato per l'inertizzazione e il gpl utilizzato per l'alimentazione della torcia e del generatore di vapore. Di seguito si riportano i dati più significativi:

- La quantità di carbone sudafricano complessivamente utilizzata nelle prove è stata pari a circa 1,9 t (che comprendono i 24 kg utilizzati come carica di accensione per ciascuna prova) per un costo complessivo pari a circa € 900,00.

Si è avuto un consumo medio per prova di gassificazione pari a circa 120 Kg, con un incidenza media pari a circa il 9,5% sul costo complessivo dei consumabili a prova.

- La quantità di carbone Sulcis complessivamente utilizzata nelle prove di gassificazione del 3/03/2011 e del 15-16/06/2011 è stata pari a circa 22 kg, utilizzata in miscela con carbone sudafricano.
- La quantità complessiva di azoto utilizzata per l'inertizzazione, durante le prove di gassificazione e di trattamento a freddo del syngas, è stata pari a 680 Nm<sup>3</sup>, per un costo complessivo pari a circa € 1.250,00. Pertanto, per ciascuna delle prove, si è avuto un consumo medio pari a circa 40 Nm<sup>3</sup>, con un incidenza media pari a circa il 13% sul costo complessivo dei consumabili a prova.
- La quantità complessiva di gpl utilizzato per il funzionamento della torcia e del sistema di generazione del vapore è stata pari a circa 3.500 l per un costo complessivo pari a circa € 3.000,00. Pertanto si è avuto un consumo medio pari a circa 190 l, con un incidenza media, considerando le sole sezioni di gassificazione, pari a circa il 31% sul costo complessivo dei consumabili a prova.

#### Motore a combustione interna

Il motore a combustione interna è stato utilizzato complessivamente per circa 16 ore (comprese le ore di funzionamento durante le prove di co-gassificazione) con carichi elettrici molto variabili, generalmente compresi tra 3 e 9 kW.

L'accensione del motore a combustione interna non comporta alcun costo significativo nella prova, in quanto viene alimentato dal syngas prodotto dall'impianto di gassificazione.

Il motore viene testato con gpl all'avvio di ogni ciclo di campagne sperimentali; il costo di tale sezione è da ritenersi trascurabile.

## 5. Valutazioni economiche delle prove di produzione idrogeno

Il costo medio relativo alle prove di produzione idrogeno, risulta pari a circa 18.000 € (per un consumo di circa 1.500 litri di MEA 5 molare), le sezioni impiantistiche coinvolte nella sperimentazione, oltre a quella di gassificazione, sono state: desolforazione a caldo, CO-shift, assorbimento dell'anidride carbonica e purificazione dell'idrogeno. In particolare, per questo ciclo di sperimentazioni sono stati utilizzati dei catalizzatori a base di ferro-cromo della Alfa Aesar in alternativa a quelli utilizzati nelle precedenti sperimentazioni (catalizzatori a base di metalli nobili della Rivoira). Inoltre nelle prove effettuate è stata utilizzata la MEA 5 molare, il cui costo è pari a 2,90 €/kg.

Qualora venissero effettuate prove con MDEA 3 molare (ammina utilizzata prevalentemente per processi di desolforazione), il cui costo è pari a 4,50 €/kg, l'importo totale della prova ammonterebbe a circa 21.000 €.

Il costo totale della sperimentazione per la produzione di idrogeno è costituito dalle seguenti voci:

- costo del personale impiegato per l'esecuzione dei test, della durata di circa 16 ore
- costo del personale impiegato per l'elaborazione dei dati e per l'esecuzione delle analisi di laboratorio
- Costi relativi alle spese generali
- Consumabili quali:
  - carica di accensione, costituita da argilla, pellet miscelato al facilitatore di accensione e coke
  - combustibile quale carbone sud africano
  - azoto per l'inertizzazione e riscaldamento linea a caldo
  - gpl
  - energia elettrica
  - sorbenti per la desolforazione a caldo, MEA e catalizzatori per la CO-shift

Rispetto ai test effettuati per la gassificazione e la generazione di energia elettrica l'azoto utilizzato è stato pari a circa 160 Nm<sup>3</sup>, di cui 120 per il riscaldamento della linea a caldo. Pertanto l'incidenza del costo dell'azoto rispetto al costo dei consumabili è stata di circa il 7%.

E' stata inoltre valutata l'incidenza media delle singole voci di costo (personale, spese generali e consumabili) sull'importo totale per prove di produzione idrogeno, i cui valori sono riportati nella Tabella 5.

Descrizione	%
Costo personale tecnico per sperimentazione	27%
Costo personale tecnico per analisi di laboratorio	7%
Spese generali	32%
Consumabili	34%

Tabella 5. Incidenza percentuale media delle singole voci di costo sull'importo totale

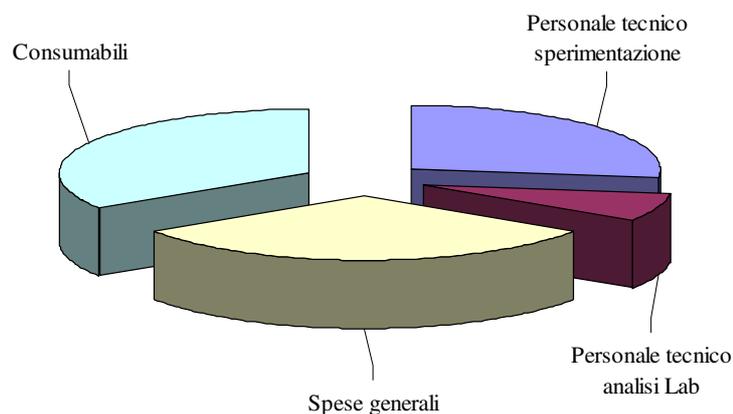


Figura 2. Incidenza media delle singole voci di costo sull'importo totale per le prove di produzione idrogeno

L'incidenza dei consumabili sull'importo totale della prova risulta essere pari al 34% nel caso in cui venga utilizzata MEA 5 molare per l'assorbimento della CO<sub>2</sub>, tale valore risulta superiore (42%) qualora lo stesso test venga effettuato con MDEA 3 molare.

#### Incidenza media dei consumabili sul costo complessivo per prove di produzione idrogeno

E' stata valutata l'incidenza media dei consumabili sull'importo complessivo per le prove di produzione idrogeno (Figura 3).

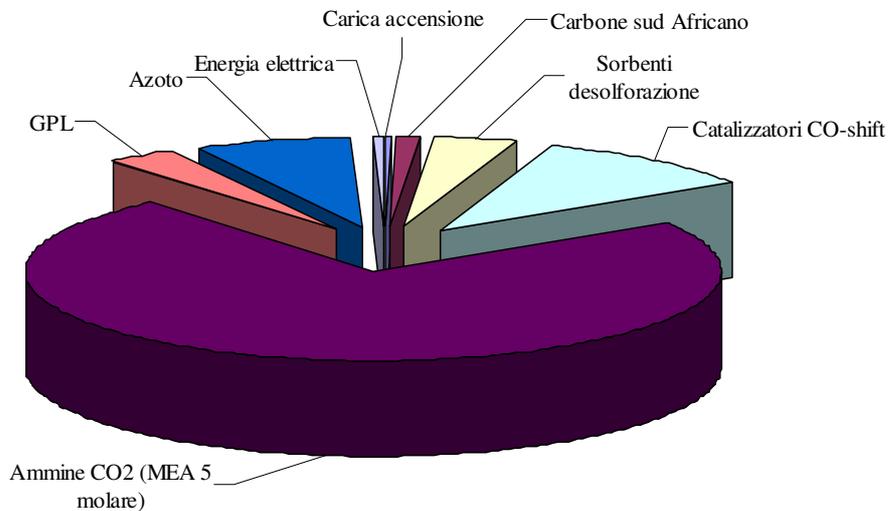


Figura 3. Incidenza media dei consumabili per prove di produzione idrogeno

Incidenza media delle singole sezioni di impianto sul costo complessivo per prove di produzione idrogeno

E' stata valutata l'incidenza media delle singole sezioni dell'impianto sull'importo complessivo per le prove di produzione idrogeno (Figura 4).

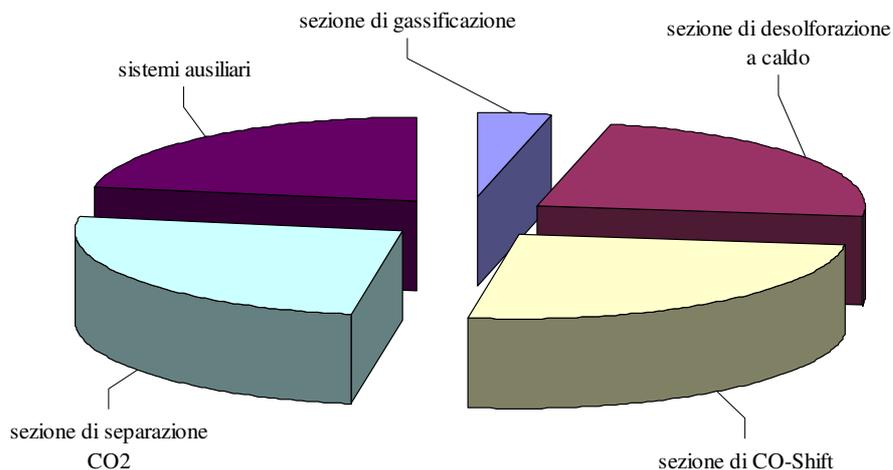


Figura 4. Incidenza media delle singole sezioni di impianto per prove di produzione idrogeno

Desolforazione a freddo (I stadio)

Il I stadio di desolforazione a freddo è stato testato per circa 2 ore nel corso del test del 21/07/2011, la quantità complessiva di soluzione acquosa di soda al 40 % utilizzata durante le prove nel primo stadio di desolforazione a freddo, è risultata trascurabile.

### Processo di desolforazione a caldo del syngas

La sezione di desolforazione a caldo (testata per circa 29 ore) è costituita principalmente da un filtro convertitore, dove lo zolfo organico (COS) viene convertito cataliticamente in solfuro di idrogeno (H<sub>2</sub>S) per poter poi essere abbattuto nei reattori di adsorbimento successivi, che sono riempiti con un sorbente commerciale a base di ossido di zinco. Il cambio del sorbente utilizzato nelle colonne avviene dopo circa 60 ore di funzionamento, pertanto, l'incidenza del costo di tale materiale sul costo totale dei consumabili utilizzati risulta essere pari a circa il 3,5%.

### Processo di CO-shift

Il processo di CO-shift (testato per 27 ore) è composto da due stadi di reazione ad alta e bassa temperatura (350-400 °C e 250 °C, rispettivamente) operanti con catalizzatori a base di ferro-cromo.

Per questa sezione l'incidenza del costo dei catalizzatori sul costo complessivo dei consumabili è risultata pari a circa il 10% a differenza dell'incidenza (28%) dei catalizzatori a base di platino utilizzati nelle prove sperimentali effettuate nell'ambito del progetto CERSE II annualità.

Inoltre, per questa sezione, non è stato considerato il costo dello smaltimento dei catalizzatori esausti, date la quantità estremamente ridotte e poiché finora non è stato possibile effettuare l'analisi chimico-fisica necessaria alla loro classificazione per determinare la tipologia di rifiuto.

### Processo di assorbimento della CO<sub>2</sub>

Durante le prove effettuate nel corso del presente progetto di ricerca è stata utilizzata una soluzione di MEA 5 molare, la cui incidenza sul costo complessivo dei consumabili è pari a circa il 70 %. Nelle valutazioni effettuate non sono stati considerati i costi per il loro smaltimento in quanto saranno rigenerate nel sistema acquistato nell'ambito del presente progetto di ricerca e verranno riutilizzate in altre sperimentazioni.

### Processo di purificazione dell'idrogeno

L'utilizzo della sezione di purificazione idrogeno non comporta alcun costo significativo.

## 6. Valutazioni economiche delle prove di gassificazione con utilizzo del sistema di depolverazione elettrostatica (WESP)

Il costo medio relativo alle prove di gassificazione con utilizzo del sistema di depolverazione elettrostatica, risulta pari a circa 12.000 €, le sezioni impiantistiche coinvolte nella sperimentazione, oltre a quella di gassificazione, sono state: scrubber e filtro elettrostatico. In particolare, le sperimentazioni sono state effettuate con carbone sudafricano.

Il costo totale della sperimentazione è costituito dalle seguenti voci:

- costo del personale impiegato per l'esecuzione dei test, della durata di circa 16 ore
- costo del personale impiegato per l'elaborazione dei dati e per l'esecuzione delle analisi di laboratorio
- Costi relativi alle spese generali
- Consumabili quali:
  - carica di accensione, costituita da argilla, pellet miscelato al facilitatore di accensione e coke
  - combustibile quale carbone sud africano
  - azoto per l'inertizzazione
  - gpl
  - energia elettrica
- Costi per lo smaltimento acque reflue.

Dalle valutazioni economiche effettuate, il costo dei consumabili incide, sul costo totale della sperimentazione, per il 5%.

E' stata inoltre valutata l'incidenza media delle singole voci di costo (personale, spese generali e consumabili) sull'importo totale i cui valori sono riportati nella Tabella 6.

Descrizione	%
Costo personale tecnico per sperimentazione	39
Costo personale tecnico per analisi di laboratorio	11
Spese generali	45
Consumabili	5

*Tabella 6. Incidenza percentuale media delle singole voci di costo sull'importo totale*

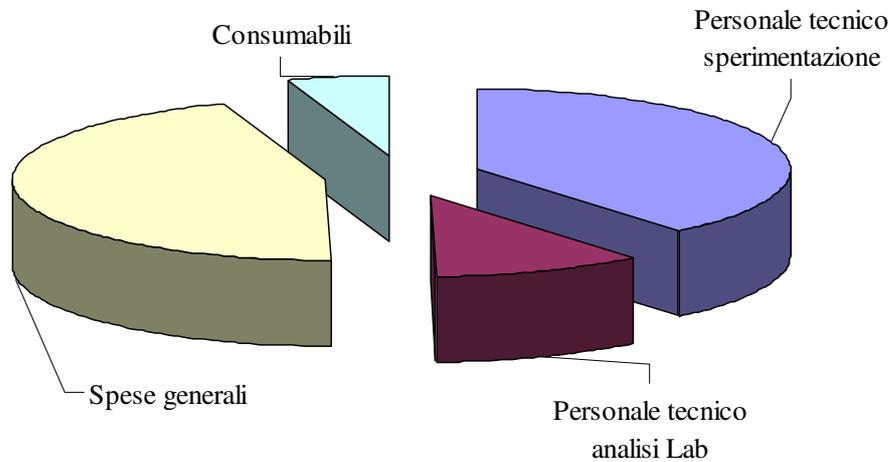


Figura 5. Incidenza delle singole voci di costo sull'importo totale della prova

Incidenza media dei consumabili sul costo complessivo per prove di gassificazione con utilizzo del sistema di depolverazione elettrostatica

E' stata valutata l'incidenza media dei consumabili sull'importo complessivo per le prove di gassificazione con utilizzo del sistema di depolverazione elettrostatica (Figura 6).

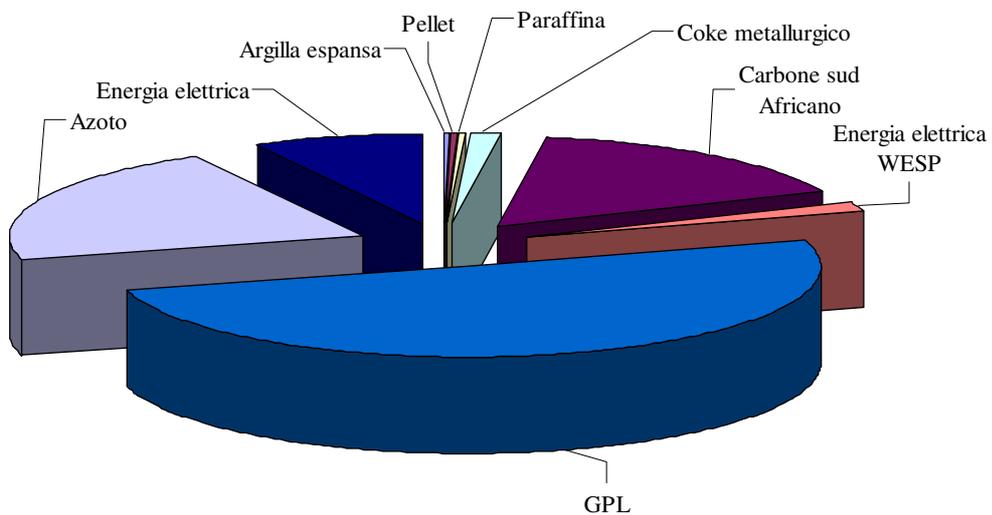


Figura 6. Incidenza media dei consumabili per prove di gassificazione con utilizzo del WESP

## 7. Valutazioni economiche delle prove di co-gassificazione carbone e biomasse

Il costo medio relativo alle prove di co-gassificazione, risulta pari a circa 12.000 €, le sezioni impiantistiche coinvolte nella sperimentazione, oltre a quella di gassificazione, sono state: I stadio di desolfurazione a freddo e motore a combustione interna. In particolare, le sperimentazioni sono state effettuate con una miscela costituita per il 90% da carbone sudafricano e per il 10% da biomasse (faggio pellettizzato) nelle prove del 30/06/2011 e del 14/07/2011.

Il costo totale della sperimentazione è costituito dalle seguenti voci:

- costo del personale impiegato per l'esecuzione dei test, della durata di circa 16 ore
- costo del personale impiegato per l'elaborazione dei dati e per l'esecuzione delle analisi di laboratorio
- Costi relativi alle spese generali
- Consumabili quali:
  - carica di accensione, costituita da argilla, pellet miscelato al facilitatore di accensione e coke
  - combustibile quale carbone sud africano e faggio pellettizzato
  - azoto per l'inertizzazione
  - gpl
  - energia elettrica
- Costi per lo smaltimento acque reflue.

Dalle valutazioni economiche effettuate, il costo dei consumabili incide, sul costo totale della sperimentazione, per il 6%.

E' stata inoltre valutata l'incidenza media delle singole voci di costo (personale, spese generali e consumabili) sull'importo totale i cui valori sono riportati nella Tabella 7.

Descrizione	%
Costo personale tecnico per sperimentazione	38
Costo personale tecnico per analisi di laboratorio	11
Spese generali	45
Consumabili	6

*Tabella 7. Incidenza percentuale media delle singole voci di costo sull'importo totale*

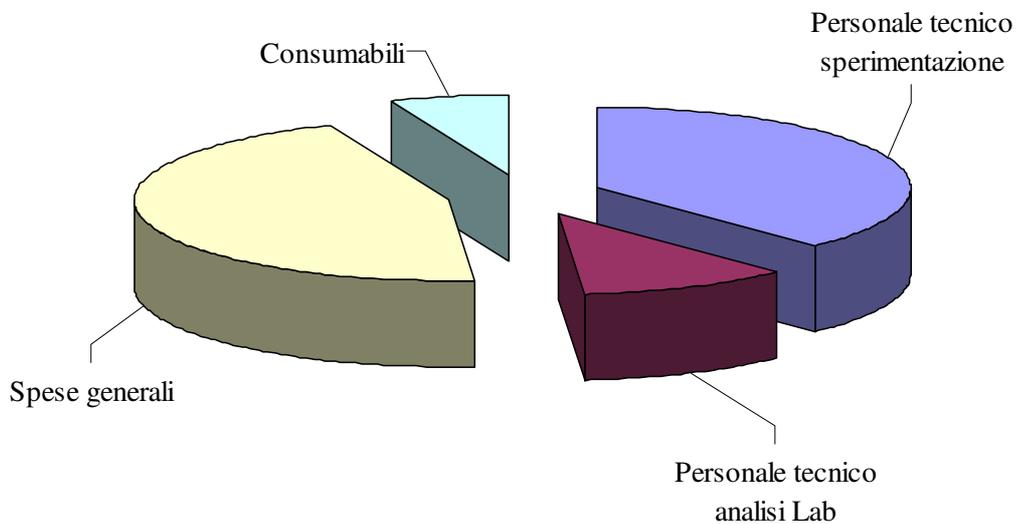


Figura 7. Incidenza delle singole voci di costo sull'importo totale della prova

Incidenza media dei consumabili sul costo complessivo per prove di co-gassificazione

E' stata valutata l'incidenza media dei consumabili sull'importo complessivo per le prove di co-gassificazione (Figura 8).

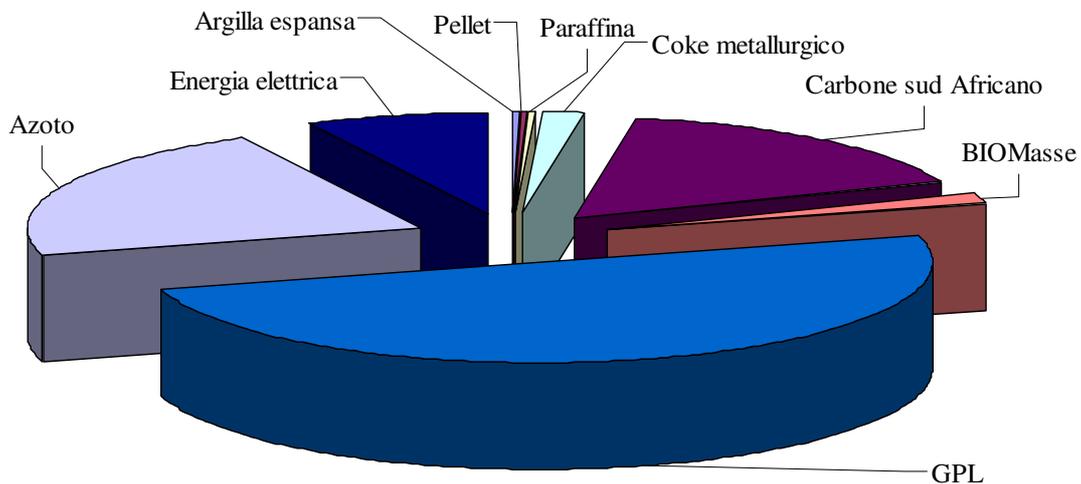


Figura 8. Incidenza media dei consumabili per prove di co-gassificazione

## **8. Valutazioni economiche delle prove di combustione con cattura della CO<sub>2</sub> nei fumi di combustione**

Il costo medio relativo alle prove di combustione con cattura della CO<sub>2</sub>, risulta pari a circa 15.500 €, utilizzando ammine quali MEA 3 e 5 molare; mentre se si dovesse utilizzare MDEA 3 molare il costo della prova sarebbe di circa 18.000 €. Le sezioni impiantistiche coinvolte nella sperimentazione, oltre a quella di gassificazione, sono state: Il stadio di desolforazione a freddo utilizzato come colonna di assorbimento della CO<sub>2</sub>. In particolare, le sperimentazioni sono state effettuate utilizzando MEA 3 e 5 molare.

Il costo totale della sperimentazione è costituito dalle seguenti voci:

- costo del personale impiegato per l'esecuzione dei test, della durata di circa 16 ore
- costo del personale impiegato per l'elaborazione dei dati e per l'esecuzione delle analisi di laboratorio
- Costi relativi alle spese generali
- Consumabili quali:
  - carica di accensione, costituita da argilla, pellet miscelato al facilitatore di accensione e coke
  - combustibile quale carbone sud africano
  - ammine
  - azoto per l'inertizzazione
  - gpl
  - energia elettrica
- Costi per lo smaltimento acque reflue e ammine esauste.

Dalle valutazioni economiche effettuate, il costo dei consumabili incide, sul costo totale della sperimentazione, per il 25-27%, per prove effettuate utilizzando MEA 3 e 5 molare; per il 36% utilizzando MDEA 3 molare.

E' stata inoltre valutata l'incidenza media delle singole voci di costo (personale, spese generali e consumabili) sull'importo totale i cui valori sono riportati nella Tabella 8.

	MEA 3M	MEA 5M	MDEA 3M
Descrizione	%	%	%
Costo personale tecnico per sperimentazione	30	29	26
Costo personale tecnico per analisi di laboratorio	8	8	7
Spese generali	36	35	31
Consumabili	25	27	36

Tabella 8. Incidenza percentuale media delle singole voci di costo sull'importo totale

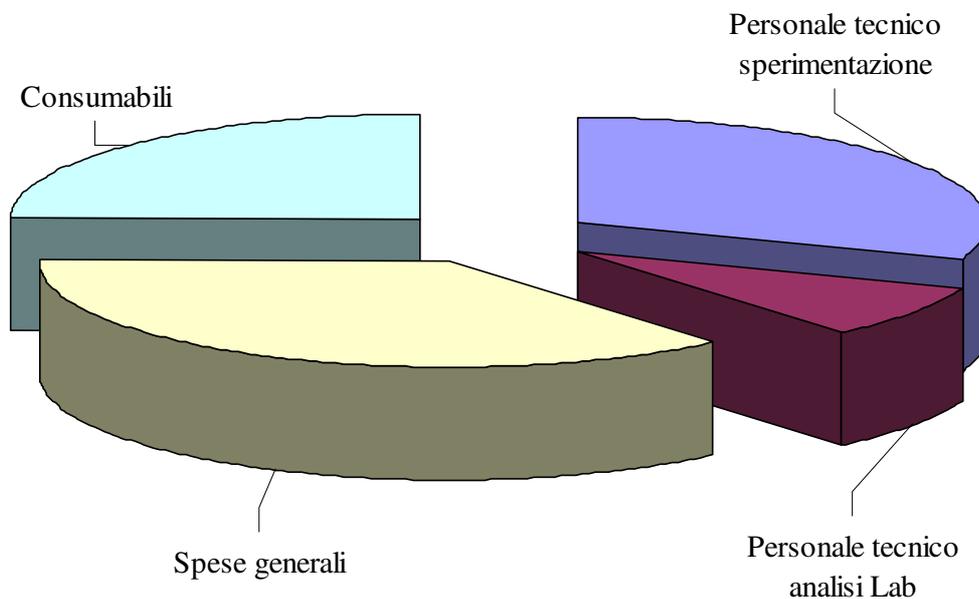


Figura 9. Incidenza delle singole voci di costo sull'importo totale della prova effettuata con MEA 3M

Incidenza media dei consumabili sul costo complessivo per prove di combustione con cattura della CO<sub>2</sub>

E' stata valutata l'incidenza media dei consumabili sull'importo complessivo per le prove di combustione con cattura della CO<sub>2</sub> sui fumi, effettuate utilizzando MEA 3 molare (Figura 10), e ipotizzando l'utilizzo di MEA 5 molare (Figura 11) e MDEA 3 molare (Figura 12).

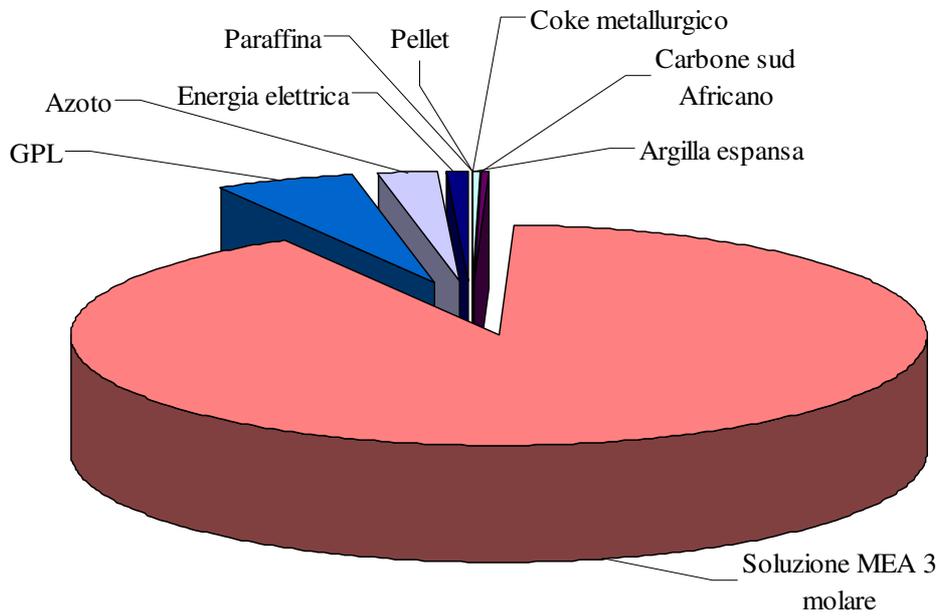


Figura 10. Incidenza media dei consumabili per prove di combustione con cattura CO<sub>2</sub> (MEA 3M)

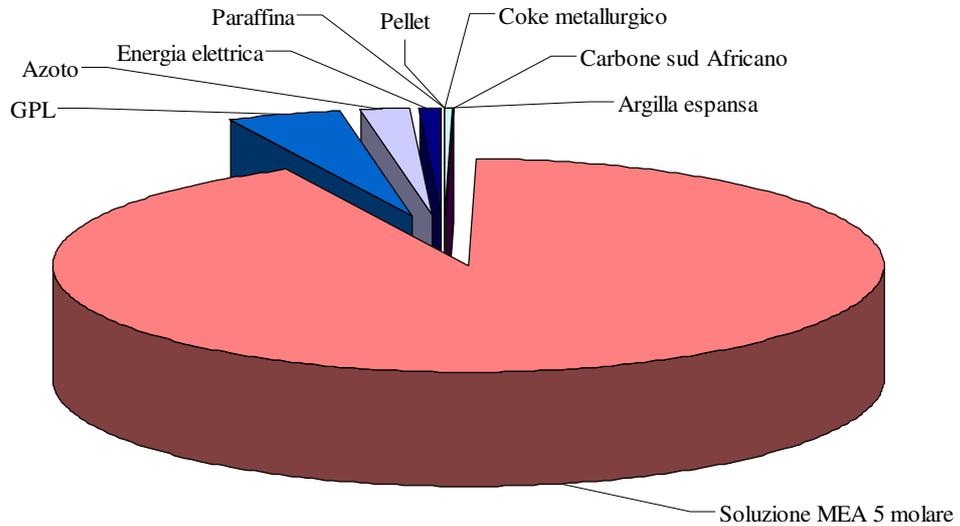
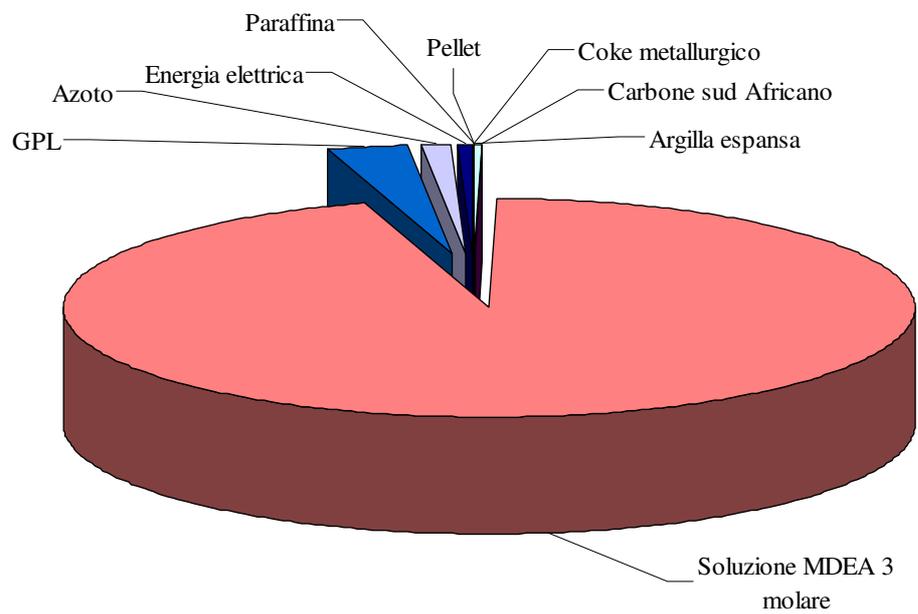


Figura 11. Incidenza media dei consumabili per prove di combustione con cattura CO<sub>2</sub> (MEA 5M)



*Figura 12. Incidenza media dei consumabili per prove di combustione con cattura CO<sub>2</sub> (MDEA 3M)*

## 9. Conclusioni

Dalle analisi effettuate è emerso che l'incidenza maggiore sui costi totali delle sperimentazioni effettuate: test di gassificazione, di generazione di energia, test di produzione di idrogeno, test di co-gassificazione e test di combustione è data dal costo del personale impiegato nell'esecuzione dei test e nelle analisi di laboratorio. Ciò in quanto è stato necessario impiegare gran parte del personale tecnico nelle sperimentazioni, poiché l'impianto necessita di una conduzione quasi completamente manuale, ma che permette una maggiore flessibilità nella gestione dei test.

E' stato rilevato che le prove in cui sono state utilizzate ammine sia per la desolforazione che per l'assorbimento della CO<sub>2</sub>. hanno presentato costi maggiori. Tale dato risulta però essere poco significativo, in vista di uno sviluppo di tali tecnologie in scala industriale, in quanto le ammine possono essere rigenerate tramite impianti appositi e quindi riutilizzate, con conseguente abbattimento dei costi; mentre l'utilizzo della soda, a fronte di bassi costi di approvvigionamento, implica costi elevati di smaltimento, non essendo rigenerabile.

Infine si evidenzia che non è stato possibile effettuare delle valutazioni economiche su test sperimentali che prevedono l'utilizzo dell'unità di rigenerazione ammine, acquistata e installata nel corso del progetto, in quanto sono ancora in corso test per la messa a punto della stessa unità.

Presumibilmente l'utilizzo di tale unità consentirà di abbattere i costi, di circa 25-35%, nelle prove sperimentali che prevedono l'impiego delle sezioni di desolforazione a freddo e cattura della CO<sub>2</sub> (produzione idrogeno e combustione).

E' importante sottolineare ancora una volta che tali valutazioni sono condizionate dalla natura sperimentale dell'impianto e non sono pertanto indicative se riportate su una possibile applicazione industriale delle tecnologie.