



L'ENEA e la Ricerca di Sistema Elettrico

Risultati delle attività svolte nell'ambito dell'Accordo di Programma MSE / ENEA
“Attività di ricerca e sviluppo di interesse generale per il sistema elettrico nazionale”

Studi sulla produzione elettrica locale da biomasse e scarti

(Progetto 2.1.2)

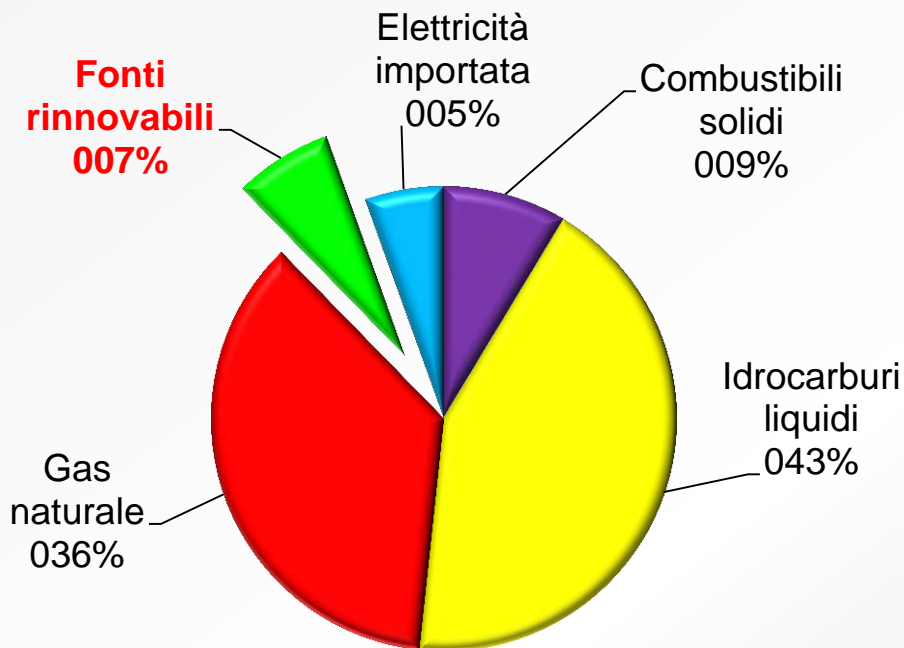
Vito Pignatelli

ENEA - Unità Tecnica Fonti Rinnovabili

Roma, 28 novembre 2012

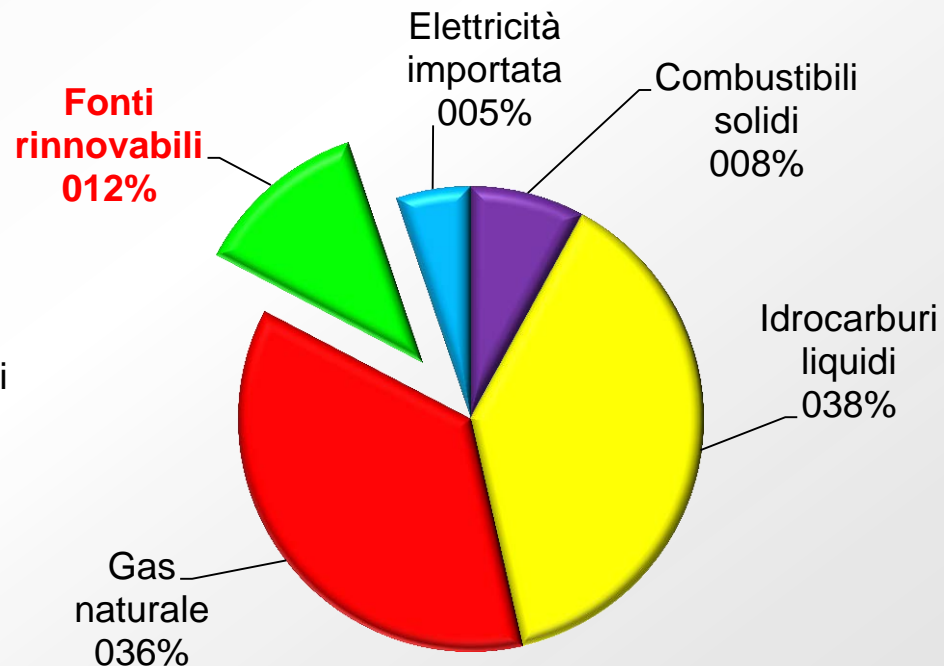
Domanda di energia primaria per fonte in Italia: confronto 2005 - 2010

2005



Consumo interno lordo di
energia primaria: 197,8 Mtep

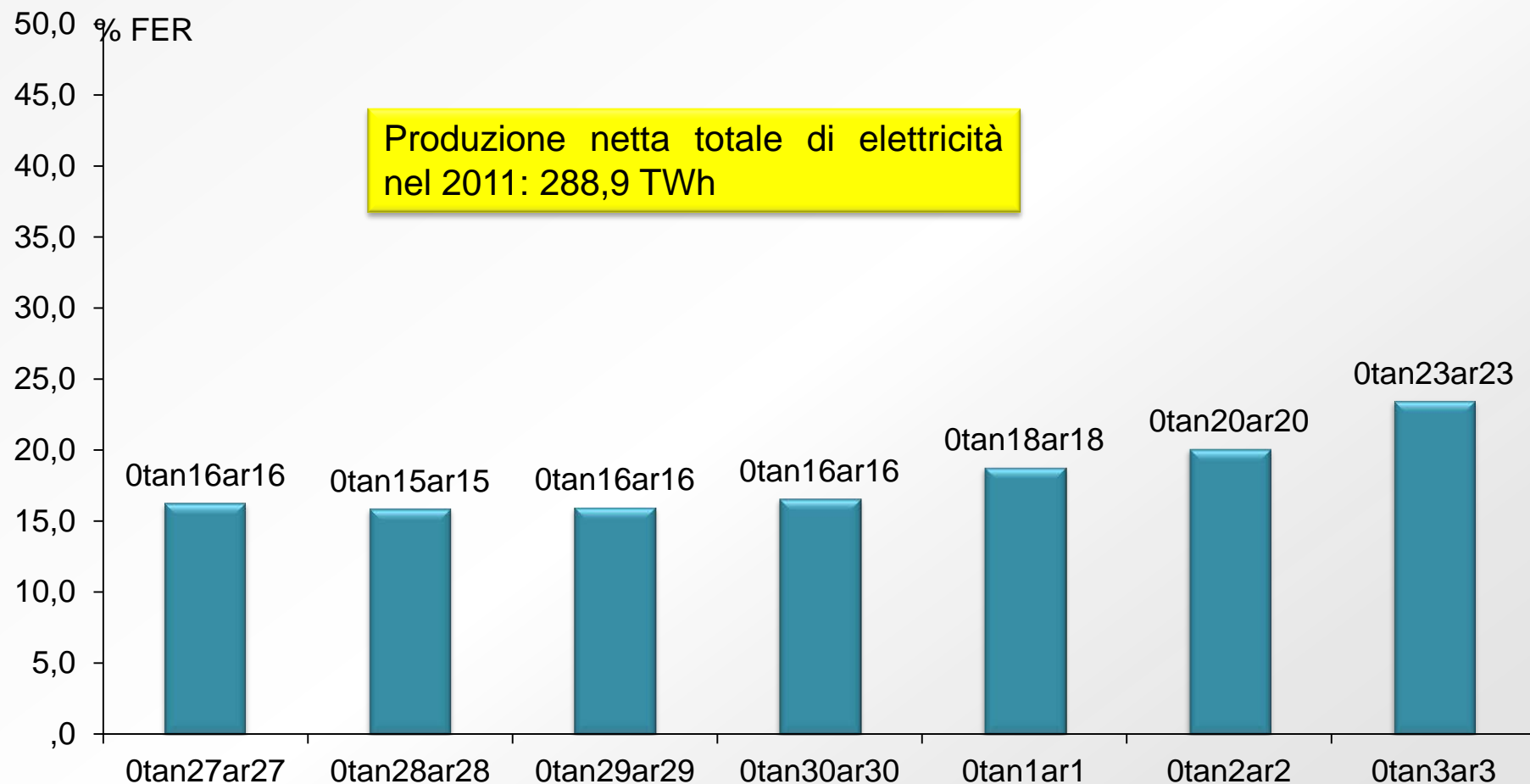
2010



Consumo interno lordo di
energia primaria: 187,8 Mtep

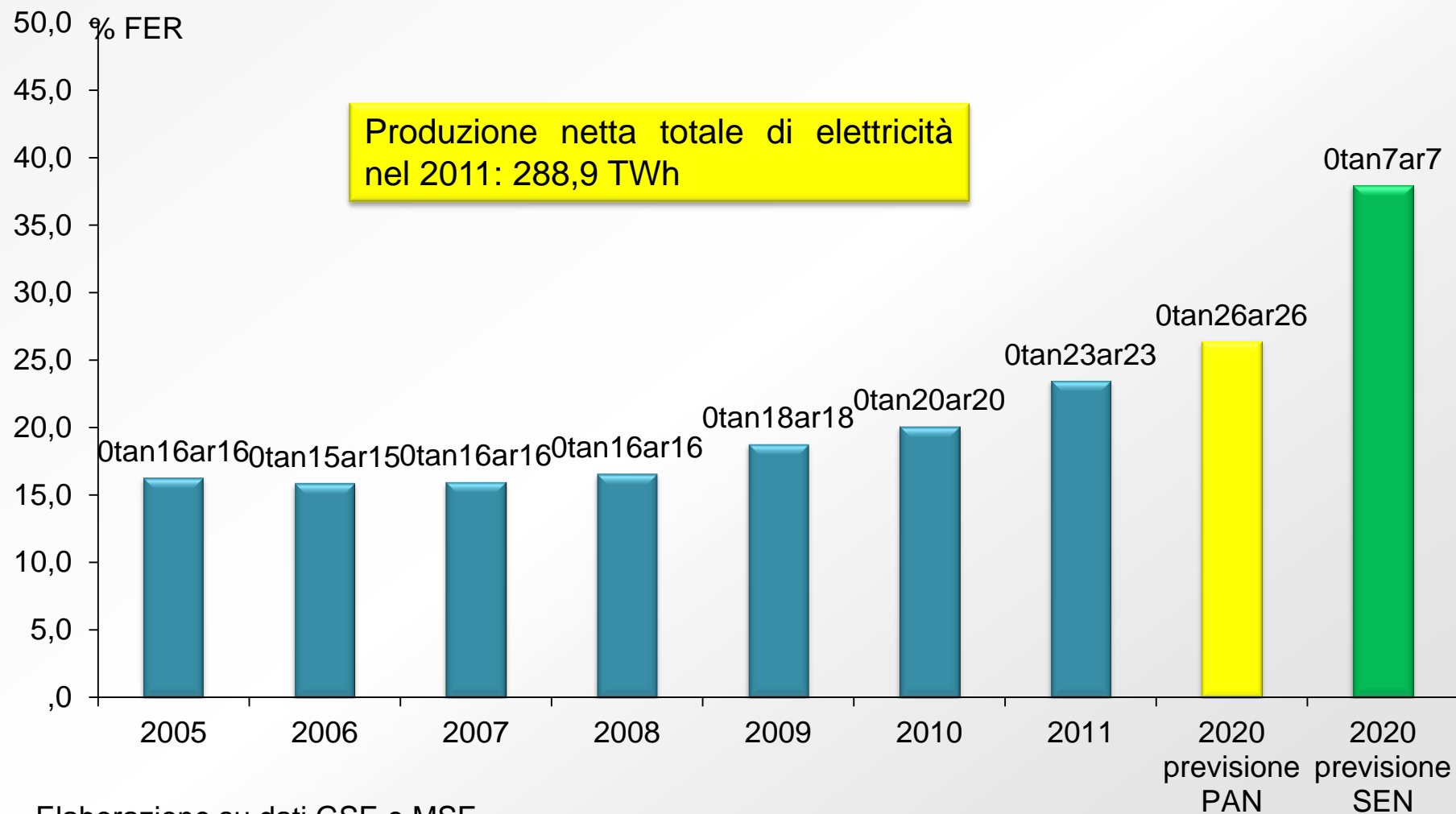
Fonte: Ministero dello Sviluppo Economico - Bilancio Energetico Nazionale 2010, dicembre 2011 / ENEA - Rapporto Energia e Ambiente 2006

Contributo % delle FER ai consumi finali di energia elettrica in Italia



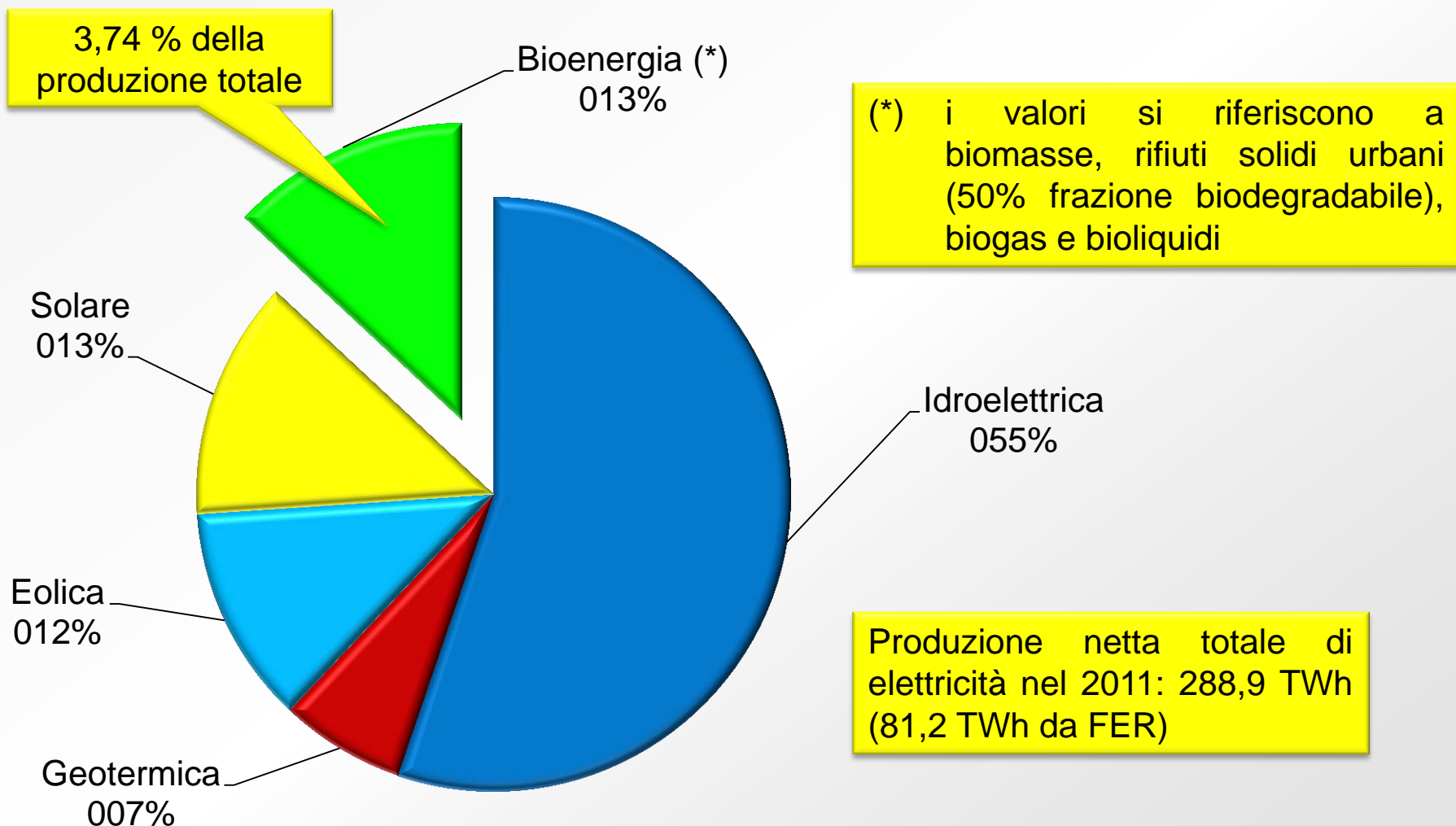
Elaborazione su dati GSE e MSE

Contributo % delle FER ai consumi finali di energia elettrica in Italia



Elaborazione su dati GSE e MSE

Contributo % delle diverse fonti rinnovabili alla produzione di elettricità in Italia nel 2011



Elaborazione su dati GSE, Rapporto Statistico 2011 - Impianti a fonti rinnovabili, 2012

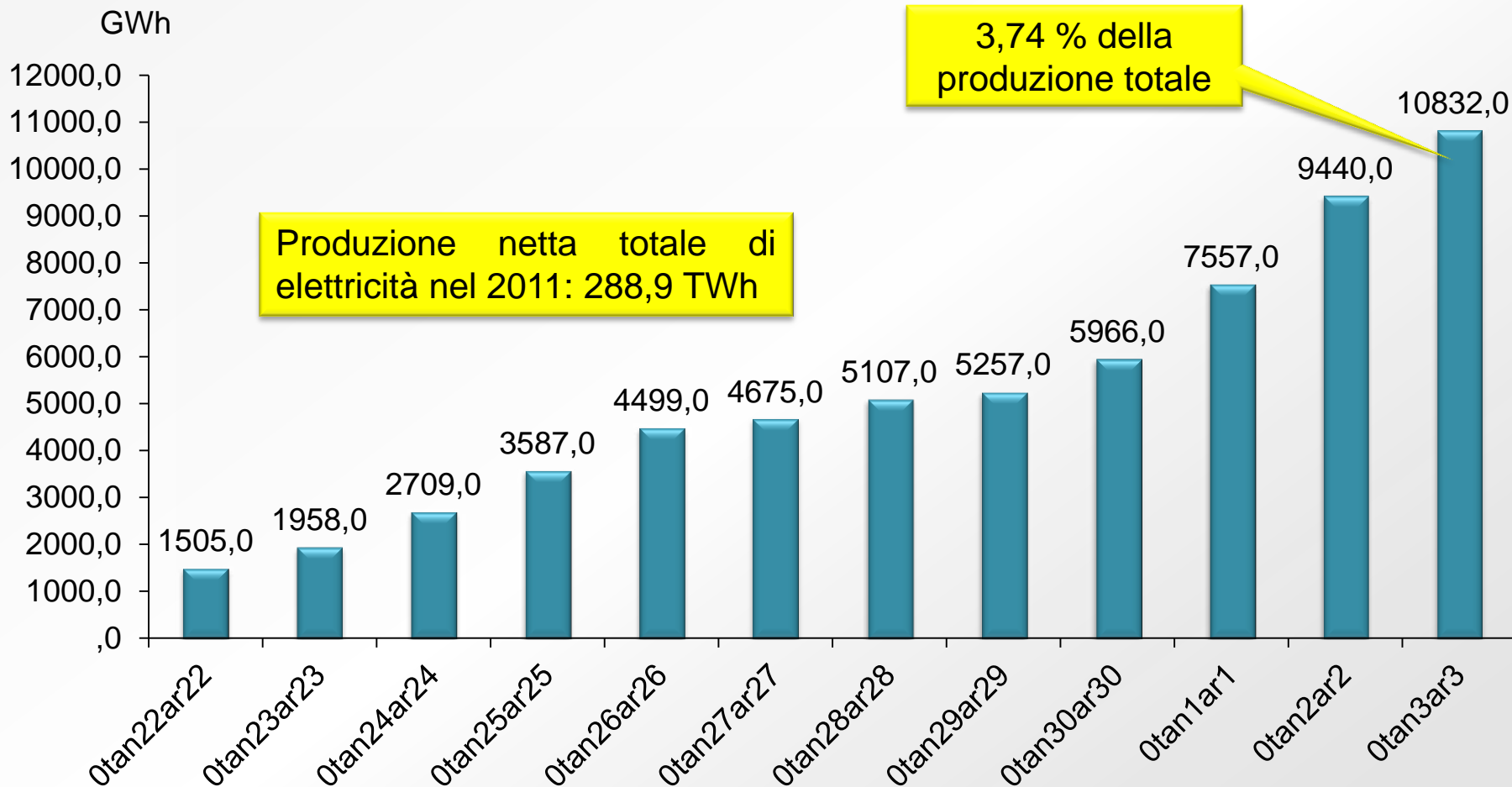
Attività ENEA sulla produzione di elettricità da biomasse e scarti (Progetto 2.1.2): obiettivi generali

- Contribuire alla messa a punto di sistemi di conversione energetica di biomasse di diversa natura mediante la produzione di biogas o syngas, da utilizzare in sistemi cogenerativi di piccola taglia o, dopo purificazione e upgrading, per l'immissione nella rete di distribuzione del gas naturale



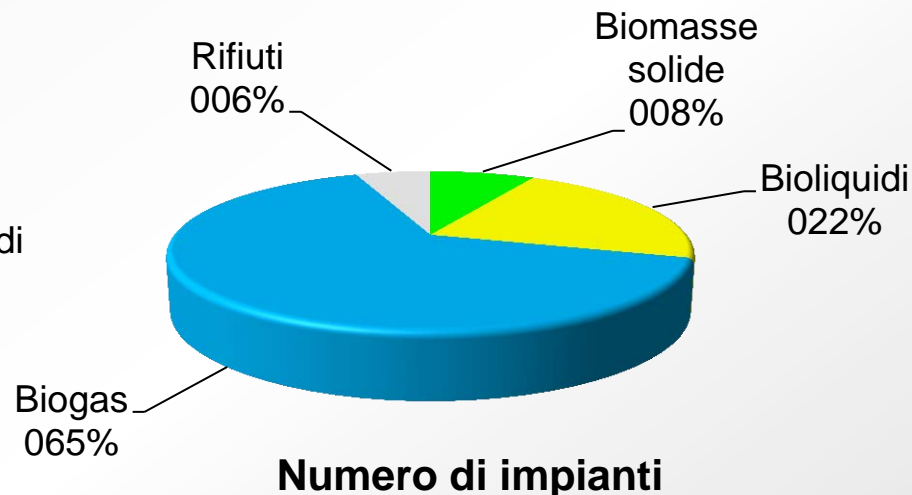
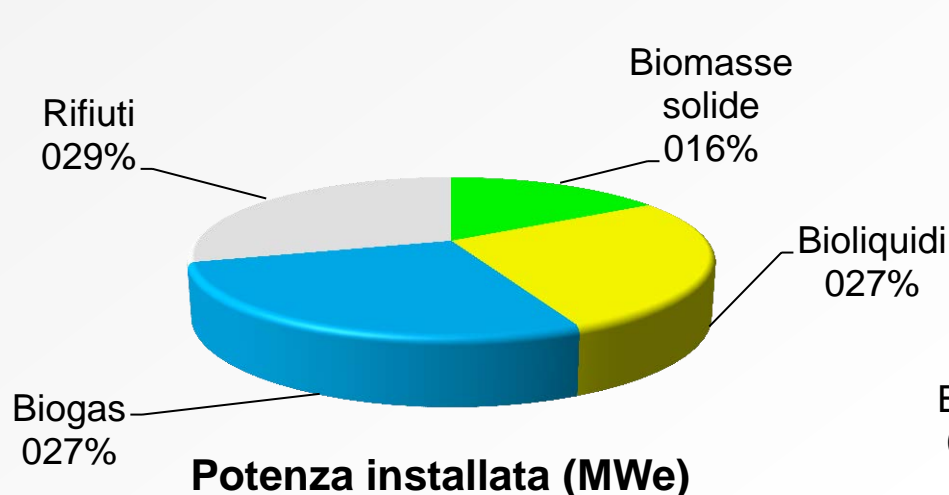
- Contribuire a ridurre l'impatto ambientale conseguente alla produzione decentralizzata di elettricità da biomasse tramite combustione diretta
- Fornire alla PA il supporto necessario per la definizione di programmi di sviluppo nel settore e per un'efficace partecipazione alle collaborazioni internazionali

Produzione di elettricità da bioenergie in Italia. Anni 2000-2011



Elaborazione su dati GSE, Rapporto Statistico 2011 - Impianti a fonti rinnovabili, 2012

Composizione parco impianti di potenza a bioenergie in Italia nel 2011



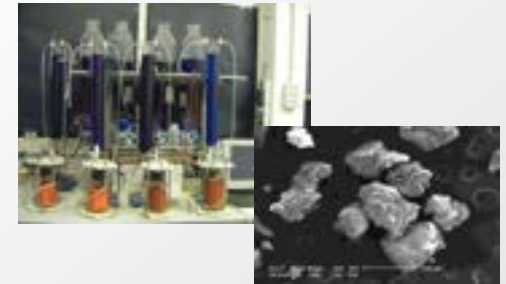
| Tipologia di biomasse utilizzate | Numero di impianti | Potenza Installata (MWe) |
|-----------------------------------|--------------------|--------------------------|
| Biomasse solide | 99 | 461,0 |
| Bioliquidi | 275 | 763,4 |
| Biogas | 819 | 773,4 |
| <i>di cui in aziende agricole</i> | 499 | 387,4 |
| Rifiuti | 71 | 827,5 |
| Totale | 1.264 | 2.825,3 |

Elaborazione su dati GSE, Rapporto Statistico 2011 - Impianti a fonti rinnovabili, 2012

Le attività del progetto sono incentrate sia sull'ampliamento e sull'efficienza dei sistemi di conversione, sia sui trattamenti dei gas prodotti per migliorarne le caratteristiche qualitative e quantitative o ridurre il contenuto di sostanze inquinanti nei fumi nel caso della combustione diretta delle biomasse

Principali risultati ottenuti:

- Studio, sviluppo e sperimentazione di processi e componenti innovativi
- Realizzazione di prototipi, apparecchiature di prova e impianti pilota
- Sviluppo, implementazione e validazione di software per analisi costi-benefici di impatto ambientale e modelli matematici predittivi



- A** Ottimizzazione del processo di digestione anaerobica
- B** Ottimizzazione di processi chimico-fisici di abbattimento degli inquinanti e di upgrading di biogas a biometano
- C** Analisi di sistemi di generazione/cogenerazione basati su biomasse
- D** Sviluppo di processi di gassificazione innovativi
- E** Supporto ai Ministeri e collaborazioni internazionali

Progetto 2.1.2: Collaborazioni con Università attivate nell'ambito del PAR 2011



| Università | Dipartimento | Obiettivo / Linea di attività |
|------------------------------------|--|---|
| Università di Roma "La Sapienza" | Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale | A.2 - Studi e sperimentazioni in laboratorio per il miglioramento dei processi di digestione e co-digestione di biomasse e rifiuti organici diversi |
| Università della Tuscia | Dipartimento di Scienze Ecologiche e Biologiche | A.2 - Studi e sperimentazioni in laboratorio per il miglioramento dei processi di digestione e co-digestione di biomasse e rifiuti organici diversi |
| Università di Salerno | Dipartimento di Ingegneria Industriale | B.1 - Sperimentazione di un prototipo per il clean up del biogas a valle del digestore |
| Campus Biomedico di Roma | Facoltà di Ingegneria | B.1 - Sperimentazione di un prototipo per il clean up del biogas a valle del digestore |
| Università di Roma "La Sapienza" | Dipartimento di Ingegneria Chimica, Materiali e Ambiente | B.2 - Studio dei processi di rimozione della CO ₂ da biogas per upgrading a biometano |
| Università della Calabria | Dipartimento di Modellistica per l'Ingegneria | B.4 - Test di membrane polimeriche commerciali e sviluppo di membrane innovative |
| Università di Bologna | Dipartimento di Ingegneria Chimica, Mineraria e delle Tecnologie Ambientali | B.4 - Test di membrane polimeriche commerciali e sviluppo di membrane innovative |
| Politecnico di Torino | Dipartimento di Scienza Applicata e Tecnologia (DISAT) | B.5 - Studio delle emissioni di inquinanti da impianti di combustione alimentati a biomasse solide |
| Università di Napoli "Federico II" | Dipartimento di Energetica, Termofluidodinamica Applicata e Condizionamenti Ambientali | C. - Analisi di sistemi di generazione / cogenerazione basati su biomasse |
| Università della Calabria | Dipartimento di Ingegneria Chimica e dei Materiali | D.1 - Sviluppo di processi ad elevata efficienza per la valorizzazione energetica di biomasse mediante gassificazione con acqua in condizioni supercritiche |
| Università dell'Aquila | Dipartimento di Ingegneria Chimica e dei Materiali | D.2 - Produzione di gas naturale sintetico SNG mediante processo di gassificazione di biomasse con tecnologia a doppio letto fluido ricircolante |

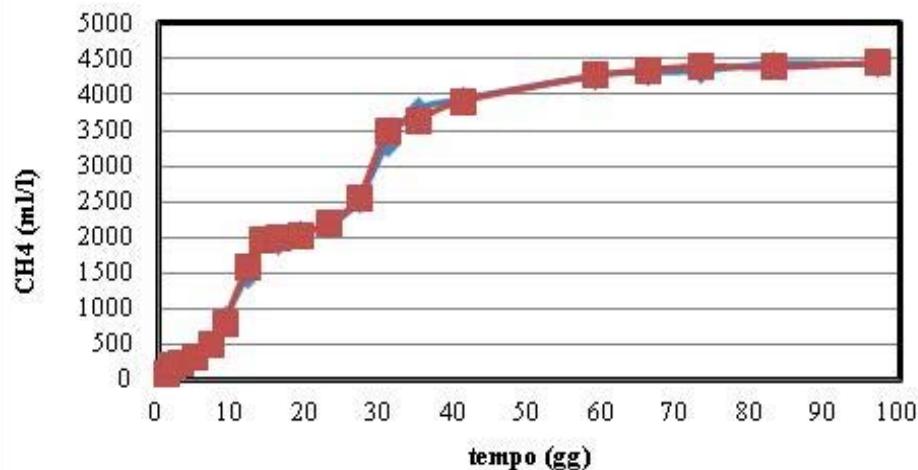
Ottimizzazione del processo di digestione anaerobica: importanza dell'inoculo

La selezione e l'acclimatazione degli inoculi aumenta le rese e la produttività di CH₄

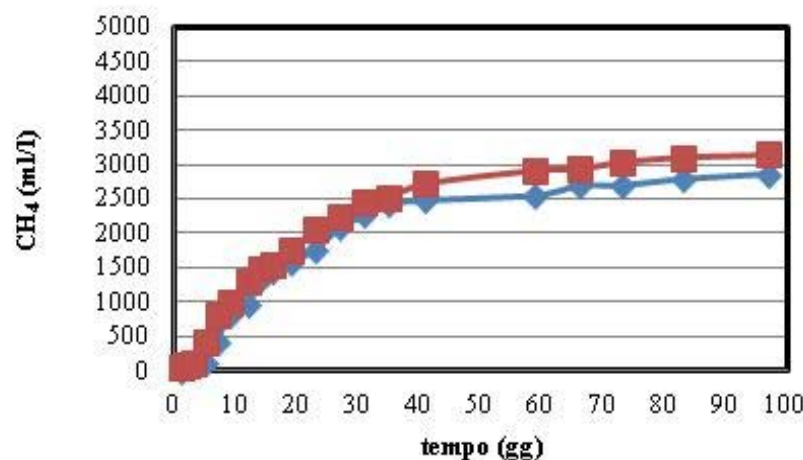
| Esperimenti di Codigestione e confronto Inoculi | | | | | | |
|---|-----|-----|--------------------|-----------------------|--------------------------|------|
| 33% scotta, 33% letame, 33% glicerolo | | | | | | |
| ACQUA DISTILLATA | | | | | | |
| INOCULO | T°C | ore | H ₂ (%) | H ₂ (ml/l) | ml H ₂ / g VS | pH |
| F210 | 28 | 47 | 28,67 | 921,86 | 45,57 | 4,60 |
| CONSORZIO da RIFIUTO VEGETALE | 28 | 47 | 32,67 | 741,39 | 36,65 | 4,30 |
| F210 | 37 | 46 | 36,34 | 935,71 | 46,25 | 4,76 |
| CONSORZIO da RIFIUTO VEGETALE | 37 | 46 | 44,95 | 837,76 | 41,41 | 4,69 |
| MIX GLICEROLO | 37 | 46 | 33,54 | 707,00 | 34,95 | 5,00 |

Effetto dell'aggiunta (a sinistra) di microrganismi idrogeno produttori a metanigeni

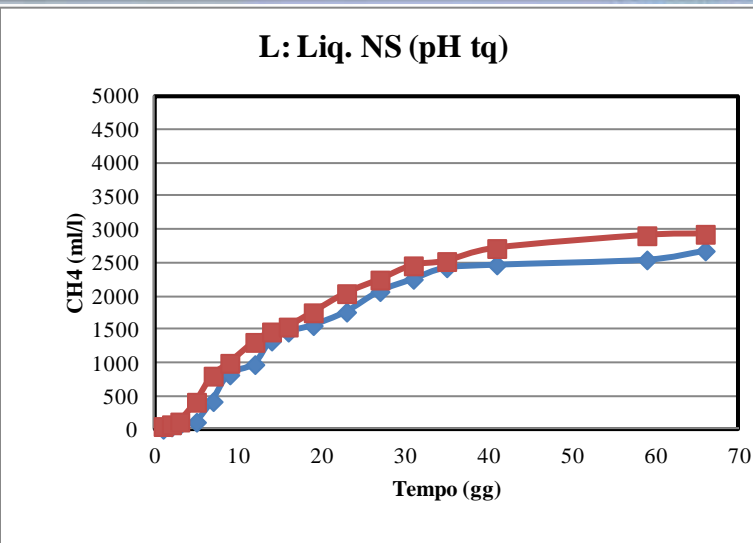
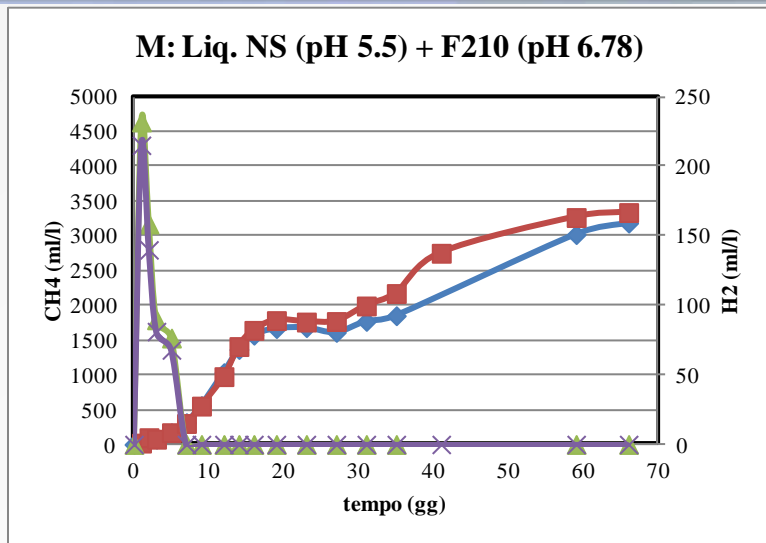
Liq. NS (pH 7,4) + F210 (pH 6,78)



Liq. NS (pH 7,4)



Produzione di metano da liquame non sterile: separazione delle fasi di idrogenogenesi e metanogenesi



Produzione di metano a singolo stadio

| pretrattamento liquame | inoculo H ₂ produttori | Reattore | Tempo fine produzione H ₂ (h) | H ₂ (%) | H ₂ (ml/l) | ml H ₂ / g VS | pH fine produzione H ₂ | CH ₄ (%) | CH ₄ (ml/l) | ml CH ₄ /g VS | pH fin |
|------------------------|-----------------------------------|----------|--|--------------------|-----------------------|--------------------------|-----------------------------------|---------------------|------------------------|--------------------------|--------|
| - | - | L | - | ≤ 0.02 | - | - | - | 56-59 | 2810 ± 168 | 351 ± 22 | 6.8 |

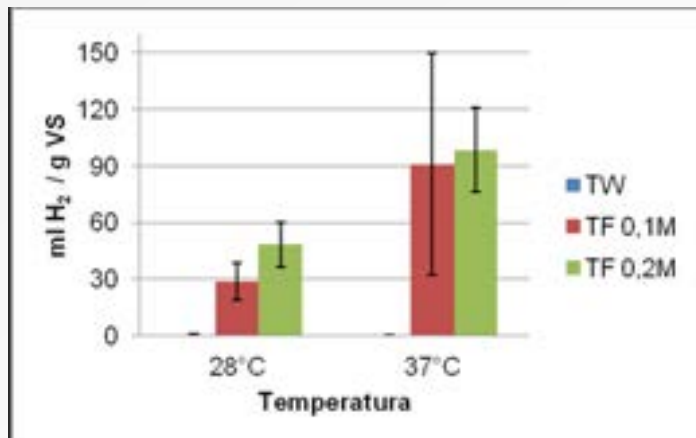
Produzione di metano a doppio stadio

| pretrattamento liquame | inoculo H ₂ produttori | Reattore | Tempo fine produzione H ₂ (h) | H ₂ (%) | H ₂ (ml/l) | ml H ₂ / g VS | | CH ₄ (%) | CH ₄ (ml/l) | ml CH ₄ /g VS | pH fin |
|------------------------|-----------------------------------|----------|--|--------------------|-----------------------|--------------------------|---------|---------------------|------------------------|--------------------------|--------|
| pH 5.5 | F ₂₁₀ | M | - | 11 ± 0.43 | 224 ± 12 | 24 ± 1.3 | 5.4-5.7 | 61-65 | 3261 ± 107 | 351 ± 14 | 6.8 |

- 1) Separazione delle due fasi attraverso il pH
- 2) Il pH 5.5 permette di separare le due fasi produttive e quindi di produrre **IDROMETANO**
- 3) Con la separazione delle fasi tramite pH si ottiene un incremento della produzione volumetrica di CH₄ e della % di CH₄ nel biogas

Studio di processi innovativi di digestione di biomasse lignocellulosiche

1. Idrolisi batterica in anaerobiosi e produzione di idrogeno da scarti vegetali :



Test di efficacia delle capacità idrolitiche e di produzione di idrogeno del pool microbico selezionato

| SUBSTRATO | H ₂ (%) | | H ₂ (ml) | | ml H ₂ / g VS | |
|-------------|--------------------|--------|---------------------|--------|--------------------------|--------|
| | media | dev.st | media | dev.st | media | dev.st |
| CELLULOSA | 17,65 | 0,23 | 24,71 | 0,45 | 109,84 | 2,00 |
| CMC | 17,9 | 0,59 | 25,29 | 0,74 | 112,40 | 3,31 |
| INSALATA TQ | 34,16 | 1,56 | 73,26 | 11,66 | 98,60 | 15,69 |
| INSALATA ST | 33,79 | 0,79 | 67,54 | 3,22 | 90,90 | 4,34 |

Selezione di un pool batterico dal rifiuto vegetale e dei parametri operativi ottimali per la produzione di idrogeno (TW = Tap Water; TF = Tampone Fosfato).

2. Idrolisi fungina in aerobiosi e produzione di idrogeno da scarti ligninocellulosici



| CEPPI | % H ₂ | | | | ml/l | | | | ml/g segatura | | | |
|----------------------------------|------------------|-----|-----|------|-----------|-------|-------|-------|---------------|------|------|------|
| | settimane | | | | settimane | | | | settimane | | | |
| | I | II | III | IV | I | II | III | IV | I | II | III | IV |
| <i>Trametes trogii</i> MEL | 0,5 | 8,8 | 6,2 | 28,5 | 19,1 | 307,2 | 232,6 | 312,5 | 1,8 | 34,4 | 26,1 | 21,2 |
| <i>Trametes versicolor</i> MEL | 0,1 | 5,1 | 1,3 | 16,6 | 4,2 | 189,6 | 44,4 | 147,1 | 0,4 | 21,2 | 5,0 | 10,0 |
| <i>Pleurotus pulmonarius</i> MEL | 7,3 | 3,6 | 1,8 | 13,2 | 339,7 | 122,9 | 57,4 | 112,1 | 32,6 | 13,8 | 6,4 | 7,6 |
| <i>Panus tigrinus</i> MEL | 1,5 | 2,4 | 0,9 | 0,3 | 63,5 | 82,3 | 29,7 | 1,9 | 6,1 | 9,2 | 3,3 | 0,1 |
| <i>Trametes trogii</i> ALL | 1,1 | 4,8 | 2,0 | 0,3 | 46,8 | 175,3 | 67,8 | 2,1 | 4,5 | 19,6 | 7,6 | 0,1 |
| <i>Trametes versicolor</i> ALL | 0,0 | 3,1 | 1,7 | 0,1 | 0,2 | 109,2 | 59,8 | 0,8 | 0,0 | 12,2 | 6,7 | 0,1 |
| <i>Pleurotus pulmonarius</i> ALL | 0,0 | 0,0 | 1,5 | 22,7 | 0,0 | 0,0 | 51,8 | 256,7 | 0,0 | 0,0 | 5,8 | 17,5 |
| <i>Panus tigrinus</i> ALL | 0,3 | 2,6 | 1,1 | 22,1 | 13,1 | 88,8 | 36,4 | 213,9 | 1,3 | 9,9 | 4,1 | 14,5 |

Parametri di processo relativi alla produzione di idrogeno dopo trattamento della lignina (segatura di Abete) con ceppi fungini in presenza di estratto di malto (MEL) o di acqua di lavaggio delle olive (ALL)

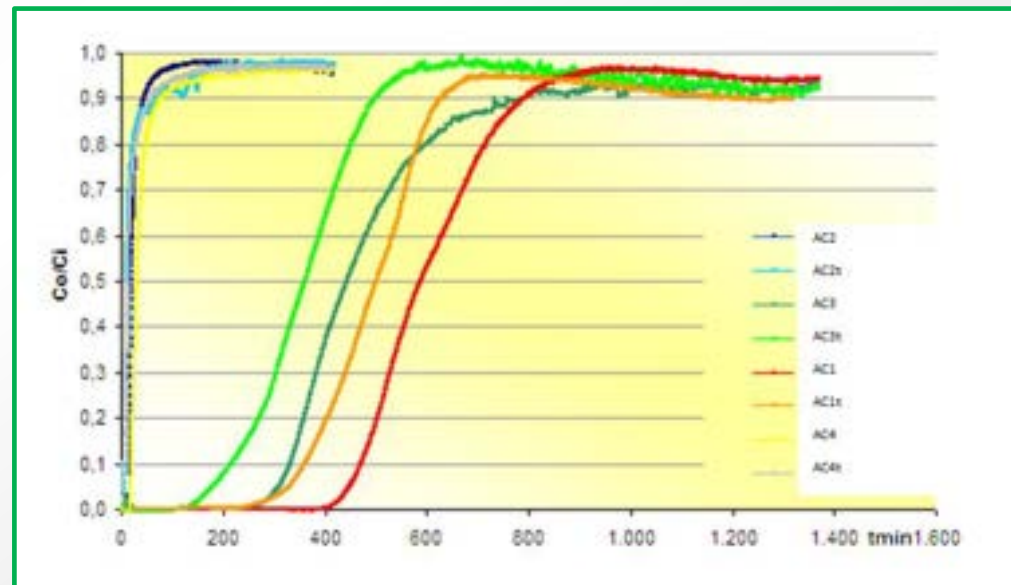
- B.1 Sperimentazione di un prototipo per il clean-up del biogas a valle del digestore
- B.2 Studio dei processi di rimozione della CO₂ da biogas per upgrading a biometano
- B.3 Sviluppo e caratterizzazione di membrane ceramiche
- B.4 Test di membrane polimeriche commerciali e sviluppo di membrane innovative
- B.5 Studio delle emissioni di inquinanti da impianti di combustione alimentati a biomasse solide

Composizione del biogas e del gas naturale

| | Biogas da discarica | Biogas da digestione anaerobica | Gas naturale del Mare del Nord | Specifiche per il gas naturale della rete italiana (*) |
|---|---------------------|---------------------------------|--------------------------------|--|
| Potere calorifico inferiore (MJ/Nm ³) | 16 | 23 | 40 | 35 – 45,3 |
| Metano (% vol.) | 45 (35 – 65) | 63 (53 – 70) | 87 | - |
| Idrogeno (% vol.) | 0 - 3 | - | - | - |
| Anidride carbonica (% vol.) | 40 (15 – 50) | 47 (30 – 47) | 1,2 | ≤ 3 |
| Azoto (% vol.) | 15 (5 – 40) | 0,2 | 0,3 | - |
| Ossigeno (% vol.) | 1 (0 – 5) | 0 | 0 | ≤ 0,6 |
| Idrogeno solforato (ppm) | < 100 | < 1.000 | 1,5 (1 – 2) | ≤ 6,6 |
| Zolfo totale (ppm) | | | | ≤ 150 |
| Ammoniaca (ppm) | 5 | < 100 | 0 | - |
| Cloro totale (mg/Nm ³) | 20 - 200 | 0 - 5 | 0 | - |

Fonte: Persson et al., 2006 - (*) DM 19/02/2007

- Dagli studi precedenti era emerso un effetto benefico dell'umidità intrinseca dei carboni attivi, che favorirebbe la dissociazione di H₂S e la sua conseguente trasformazione a zolfo elementare.
- Partendo da questo risultato e dalla considerazione della presenza di umidità nel biogas prodotto dalla digestione anaerobica, le successive attività sperimentali sono state indirizzate principalmente verso lo studio del processo di clean-up alimentando un gas a diversi valori di umidità controllata.

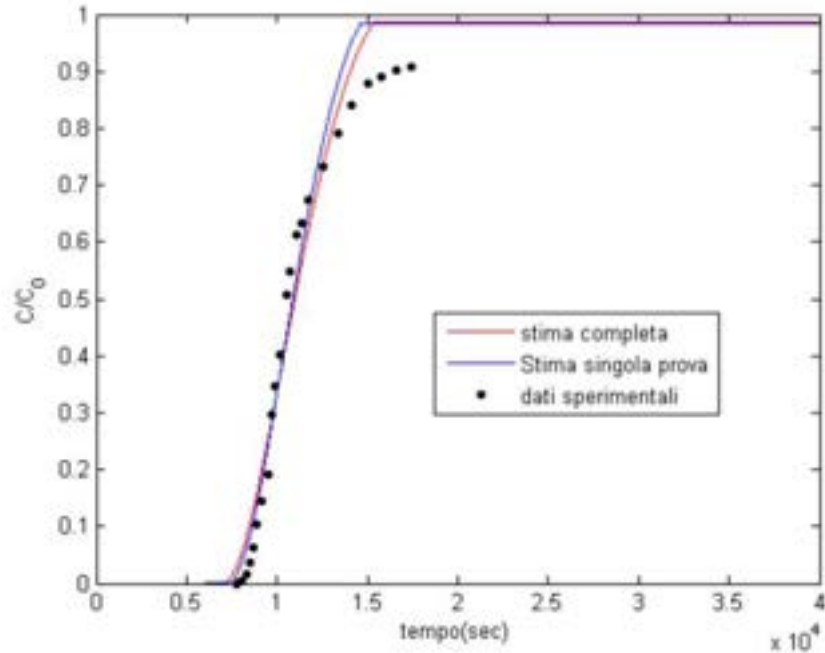


- **AC1 (RGM3)** - carbone attivo, in pellet di dimensioni 2-3 mm, attivato con vapore e impregnato con sali di Cu < 8 % e Cr < 4 % con un'area specifica BET pari a circa 1.000 m²/g indicato, secondo le specifiche tecniche, per lavorare sia in assenza che in presenza di umidità
- **AC2 (ROZ3)** - carbone attivo in pellet di dimensioni 3-4 mm impregnato con KI < 5 % indicato, secondo le specifiche tecniche, per lavorare con l'umidità compresa tra il 40-80%.

Il carbone AC2 aumenta la propria capacità di rimozione dell'H₂S all'aumentare del contenuto di umidità relativa nel gas da trattare. La capacità a rottura di questo campione migliora in modo notevole quando si aumenta il contenuto di umidità fino al valore di 80%

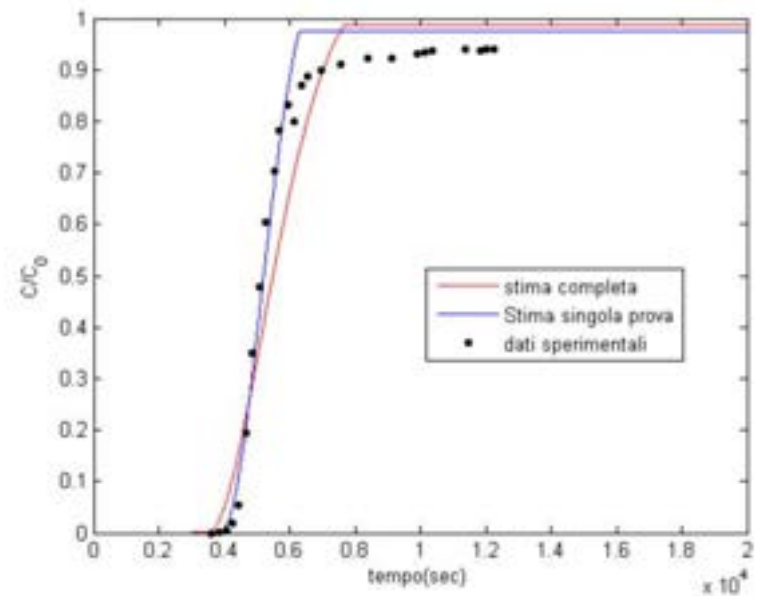


Modellizzazione del processo di desolfurazione in colonna a letto fisso



H_2S in = 350 ppm

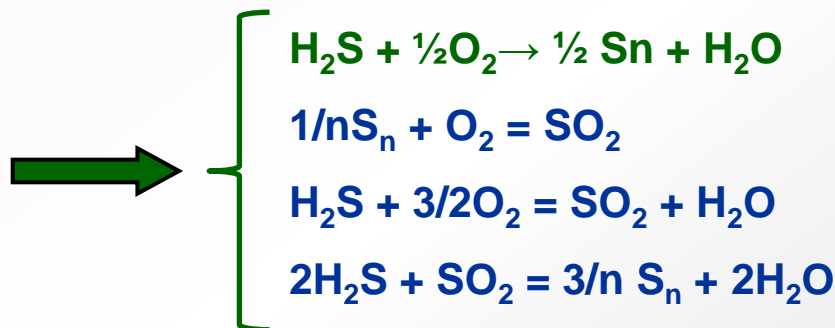
Confronto fra le curve di rottura calcolate con il modello SC ed i dati sperimentali per carbone RGM3 a due diversi valori di concentrazione iniziale di H_2S



H_2S in = 700 ppm

Preparazione di catalizzatori strutturati per l'ossidazione parziale selettiva di H₂S in biogas

La reazione di ossidazione catalitica selettiva può essere accompagnata da altre reazioni di ossidazione

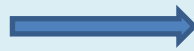


Temperatura e catalizzatore

influenzano il meccanismo di reazione e la selettività del processo

Catalizzatori a base di Vanadio sono tra i migliori in termini di attività e selettività

Per i catalizzatori a base di ossidi misti di V-Ce:

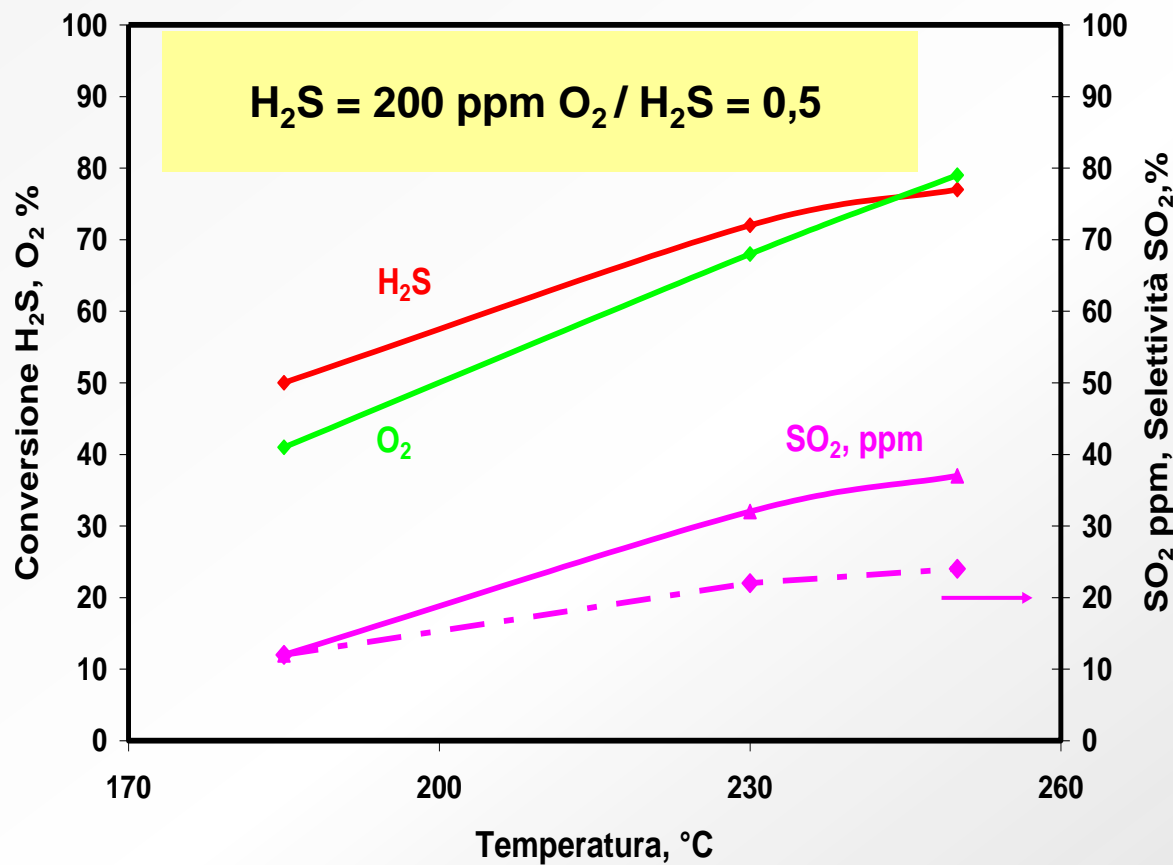


Formazione di SO₂

Resa elevata a zolfo

PROVE DI ATTIVITA' CATALITICA

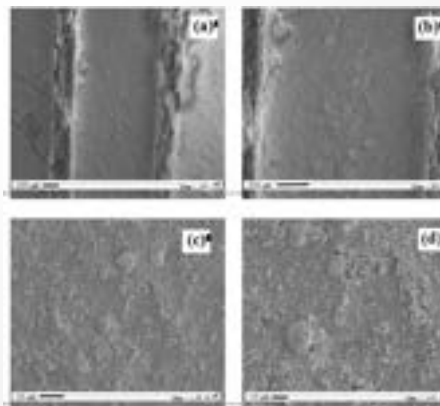
Catalizzatore 2.55 V₂O₅/ CeO₂



- Verificato l'effetto di:**
- **Temperatura**
 - **Concentrazione iniziale di H₂S**
 - **Rapporto di alimentazione**
 - **Tempo di contatto**

- Si è valutato sperimentalmente l'effetto del carico del vanadio e del rapporto di alimentazione (O_2 / H_2S) sull'attività catalitica e sulla selettività del sistema a zolfo elementare
- Attività maggiore osservata per il catalizzatore con carico di vanadio = 5% V_2O_5 alla T di 200 °C ($x H_2S = 91\%$) con selettività ad $SO_2 = 4\%$
- All'aumentare della concentrazione di ossigeno in alimentazione ($O_2 / H_2S = 1$), miglioramento dell'attività ($x H_2S = 98\%$), ma anche significativo aumento della selettività ad SO_2 con valori prossimi al 40% (a T = 250°C)
- Valori di selettività ad SO_2 trascurabili sono stati ottenuti soltanto lavorando in difetto di ossigeno ($O_2 / H_2S = 0,4$)

- Per la preparazione del catalizzatore strutturato sono stati selezionati come supporto, un monolite di cordierite, (struttura a nido d'ape, 400 cps), ed un washcoat commerciale a base di ceria e allumina
- Buone prestazioni sono state ottenute per i due campioni di catalizzatori strutturati a base di vanadio alla temperatura di 200 °C. Per entrambi i campioni la conversione di H₂S è risultata sempre superiore al 90% e la concentrazione di SO₂ inferiore sempre a 10 ppm. L'attività di questi campioni è stata inoltre caratterizzata un'elevata stabilità durante il corso della prova



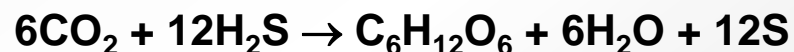
Immagini SEM di campioni di cordierite calcinata con washcoat



Chlorobium limicola

Obiettivo

abbattere H₂S e CO₂ tramite la fotosintesi anossigenica operata da *green* e *purple sulfur bacteria*



Marichromatium purpuratum

Attività in corso

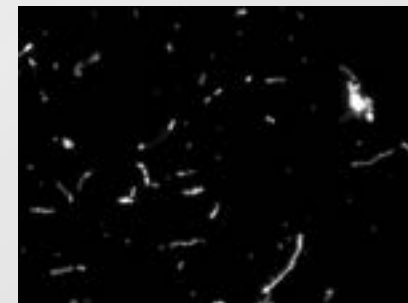
Sviluppo di colture batteriche a lunghezze d'onda specifiche in Illuminatore Spettrolux a LED monocromatici realizzato su progetto ENEA UTRINN-BIO:

- Prove preliminari in *batch*
- Messa a punto del fotobioreattore con monitoraggio in continuo dell' H₂S tramite GC
- Microscopia a epifluorescenza

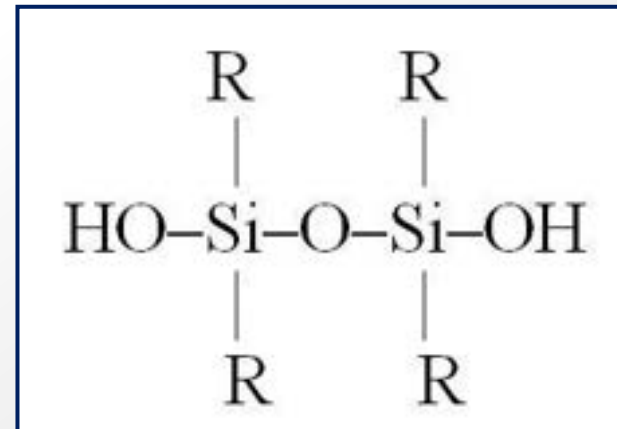


| nm |
|------|
| 400 |
| 720 |
| 800 |
| 900 |
| 1000 |

Fotobioreattore con illuminatore a LED



- Prova di adsorbimento su carboni attivi (e gel di silice)
- Individuazione del tempo di breakthrough di un flusso di L2 in N2 con concentrazioni analoghe a quelle attese nella realtà (20 - 100 ppm)
- Temperatura costante (ambiente)
- Test di rigenerazione con la temperatura (fino a 160 °C)



STUDIATI CAMPIONI DI POLVERE DI CARBONE ATTIVO E DI SILICA GEL

- **CARBONI:** Cinque diversi carboni sono stati misurati: RGM3, NORIT-RKJ, SICAV-SV40, SICAV-30K, MERK

I carboni differiscono sia per area superficiale, divisibile in superficie esposta in macropori e micropori, sia per il trattamento impregnante subito, che ha reso la loro superficie acida, basica o neutra

- **SILICA GEL**

| CARBONE | Impregnante | Area Superficiale Totale (m ² g ⁻¹) |
|------------|----------------|--|
| NORIT RKJ | KI | 890 |
| RGM3 | Sali Cu Cr | 978 |
| SICAV SV40 | Vergine basico | 923 |
| MERK | Vergine acido | 1100 |
| SICAV 30K | KOH | 691 |

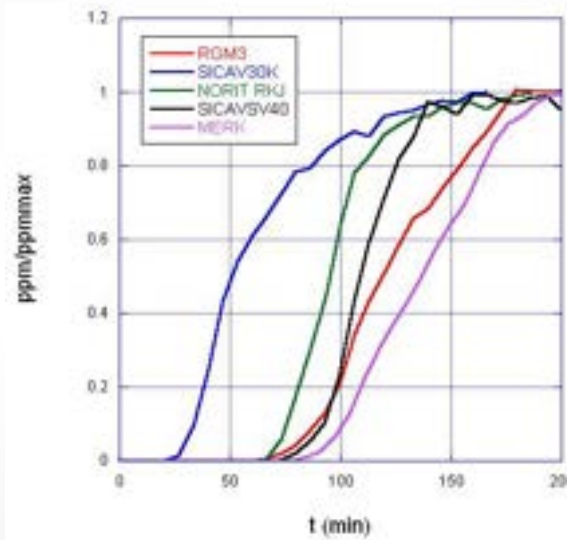
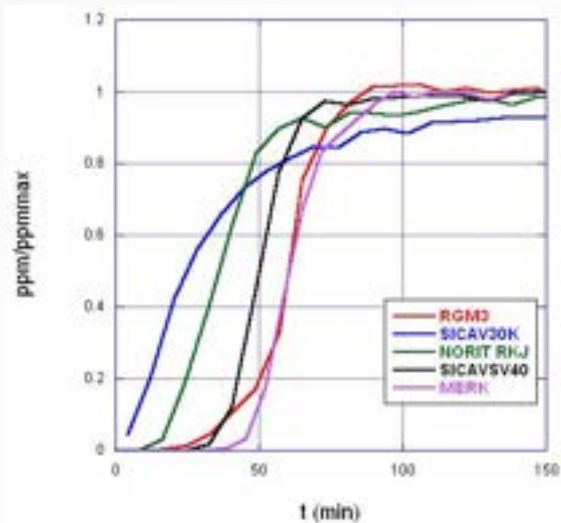
SCREENING DEI DIVERSI MATERIALI ADSORBENTI

Per ogni test di adsorbimento è stata graficata la curva di *breakthrough*: concentrazione L2 in uscita/concentrazione in ingresso vs tempo. Da queste curve sono stati ricavati:

TEMPO di *breakthrough* t_{rott} : tempo a cui si misurano in uscita 5ppm

CAPACITA' *breakthrough*: quantità di L2 adsorbito a t_{rott} per grammo di carbone adsorbente

Curve a rottura dei diversi carboni $m = 150$ mg



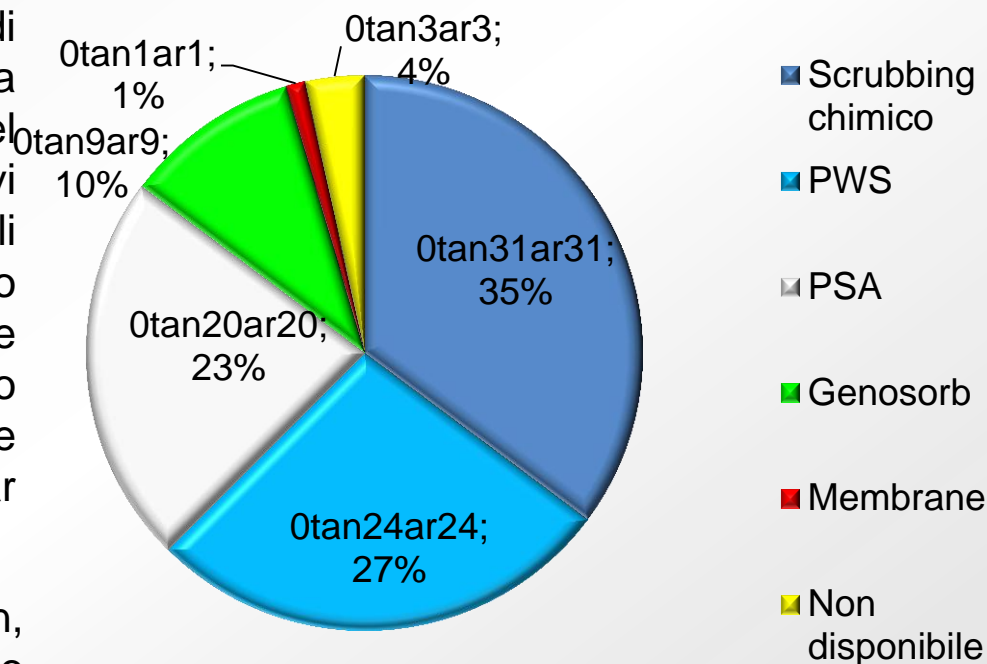
Curve a rottura dei diversi carboni $m = 300$ mg

ENTRAMBI I SET DI MISURE INDICANO COME I CARBONI SICAV SV40 e MERK ESIBISCONO CAPACITA' ADSORBENTI SUPERIORI AGLI ALTRI CARBONI

I CAMPIONI DI SILICAGEL SONO RISULTATI TOTALMENTE INADATTI, ESIBENDO UNA ROTTURA PRATICAMENTE Istantanea

- E' stato preso in esame il processo di Pressure Swing Adsorption (PSA), sviluppando un modello di simulazione dinamica idoneo a descrivere il funzionamento del processo con diversi cicli operativi e diverse tipologie di materiali adsorbenti. Il modello è stato utilizzato per valutare le performance del processo utilizzando il materiale adsorbente più diffuso (Carbon Molecular Sieve)
- Sono stati eseguiti diversi test run, modificando le variabili di progetto in modo da ottenere una specifica di purezza per il metano >97% (come richiesto attualmente per il gas naturale immesso nella rete gas italiana) con un recupero elevato (>85%) e consumi energetici ridotti

Distribuzione degli impianti di biometano in Germania in riferimento alla tecnologia di upgrading



PSA: Pressure Swing Adsorption
PWS: Pressurized Water Scrubbing

Fonte: German Energy Agency - DENA, maggio 2012

| Fase | Costo € |
|------------------|-------------|
| Pressurizzazione | 0,065 |
| Alimentazione | 0,52 |
| Blow-down | 0,03 |
| Spurgo | 0,55 |
| TOT | 1,17 |

Costi di produzione

| Tipologia di costo | Costo (€/anno) |
|---|----------------|
| Costo delle utilities (energia elettrica) | 131.664 |
| Costo materiale adsorbente CMS | 396 - 1.416 |

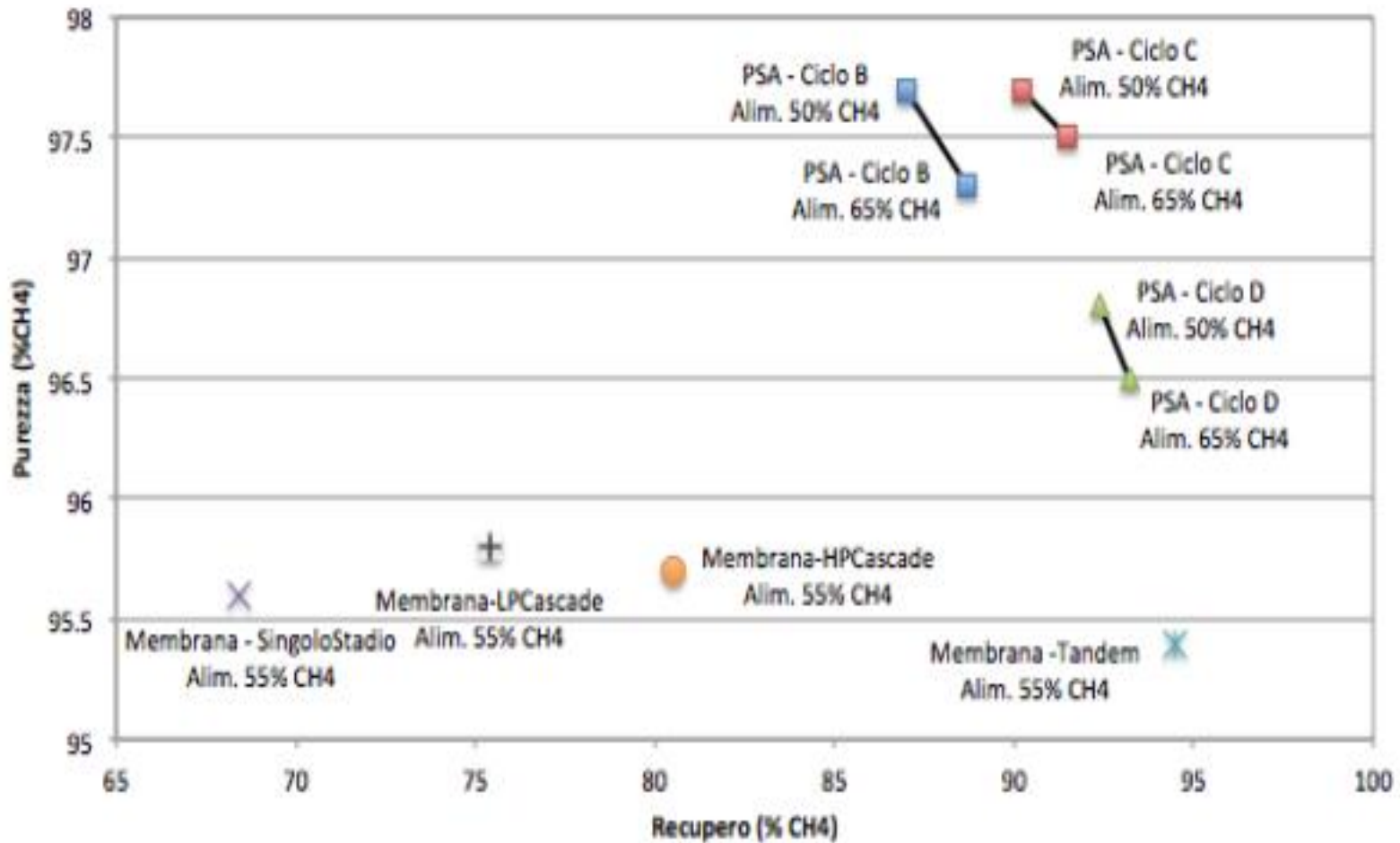
Costo upgrading
0,24 € / Nm³

Costo metano
1,03 € / Nm³

- Il costo dell'upgrading (senza considerare il pretrattamento del biogas, il trattamento dell'off-gas e i costi per l'immissione in rete) è dell'ordine di **0,25 € / Nm³ di biometano prodotto**, se si alimenta un biogas al 50% di metano, mentre scende a valori inferiori a 0,2 /Nm³ se si alimenta un biogas più ricco in metano (65% CH₄)

- Il confronto con processo a membrana (con particolare riferimento ai risultati ottenuti da ENEA Trisaia), indica che la PSA consente di ottenere recuperi elevati (> 85%) con consumi energetici più bassi (2,6 - 3,1% nel caso di biogas al 50% di metano, 1,5 - 2% nel caso di biogas al 60% di metano)
- Un recupero superiore al 94% può essere ottenuto con due moduli a membrana collegati secondo lo schema tandem, con una pressione operativa massima di circa 30 atm, ma in questo caso il consumo energetico è dell'ordine di 0,5 kWh / Nm³ (5,6%)
- Con la configurazione con due moduli in cascata, operante a pressione più bassa (pressione massima 17 bar), consente di ridurre i consumi energetici a 0,39 kWh / Nm³ (4,4%), ma il recupero del metano scende al 75%

Confronto fra processi di upgrading con PSA e membrane



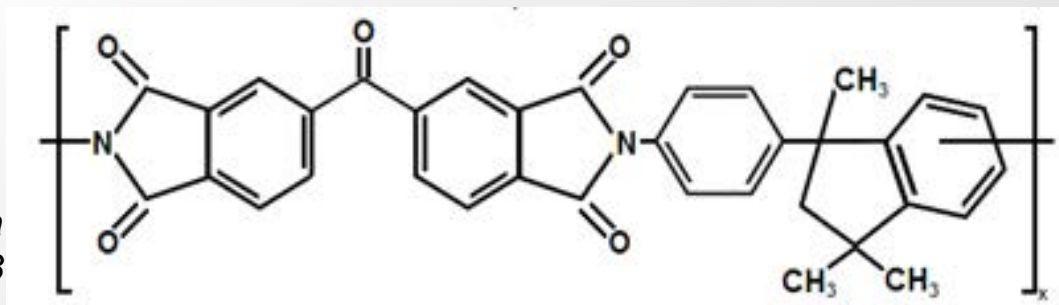
Confronto fra le performance ottenute con processi di upgrading PSA e basati sull'utilizzazione di membrane con diverse configurazioni di impianto

Dopo uno screening preliminare su diverse tipologie di membrane polimeriche commerciali (studio condotto nell'annualità precedente) è stata selezionata la **MATRIMID**, una poliimide commerciale, col fine di valutarne le potenzialità nell'ambito dell'arricchimento del biogas. In particolare si sono svolte prove sperimentali atte a valutare:

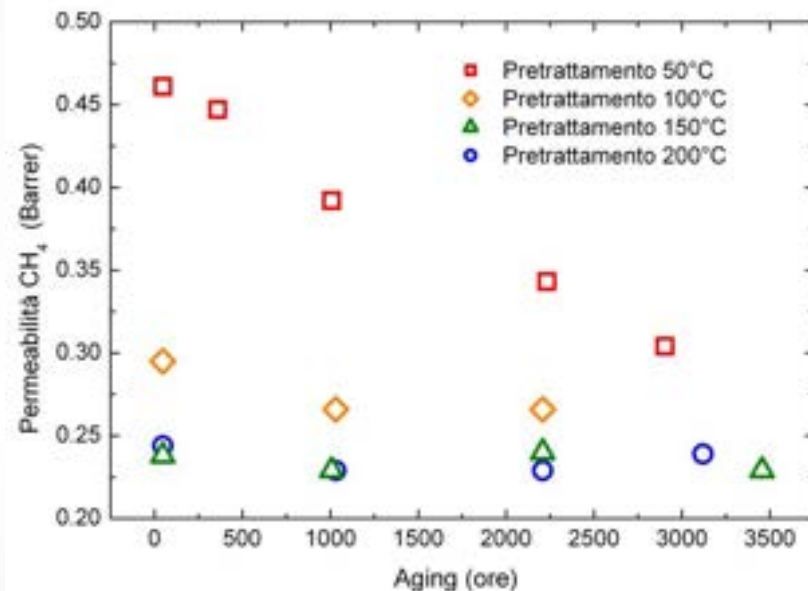
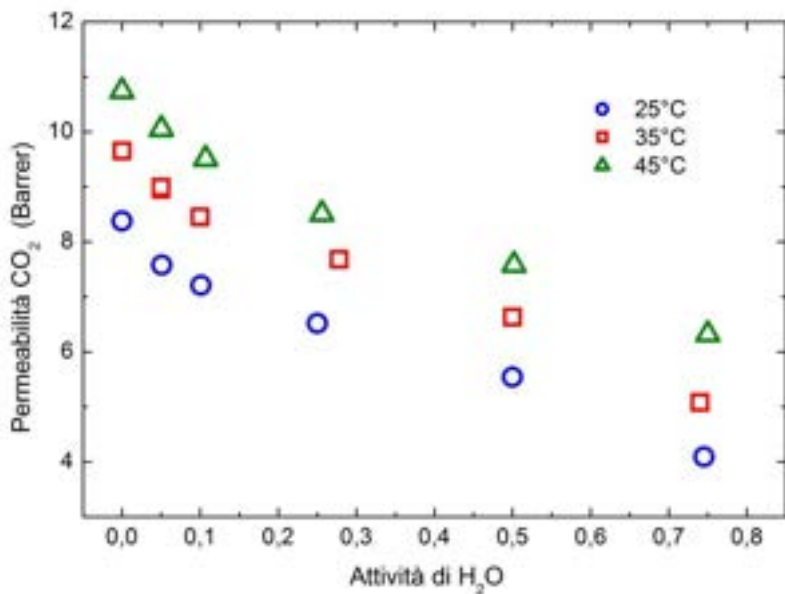
- l'effetto del protocollo di pretrattamento
- l'effetto dell'invecchiamento
- l'effetto della presenza di vapor d'acqua

sulle capacità di separazione della membrana.

Formula di struttura della
Matrimid® 5218

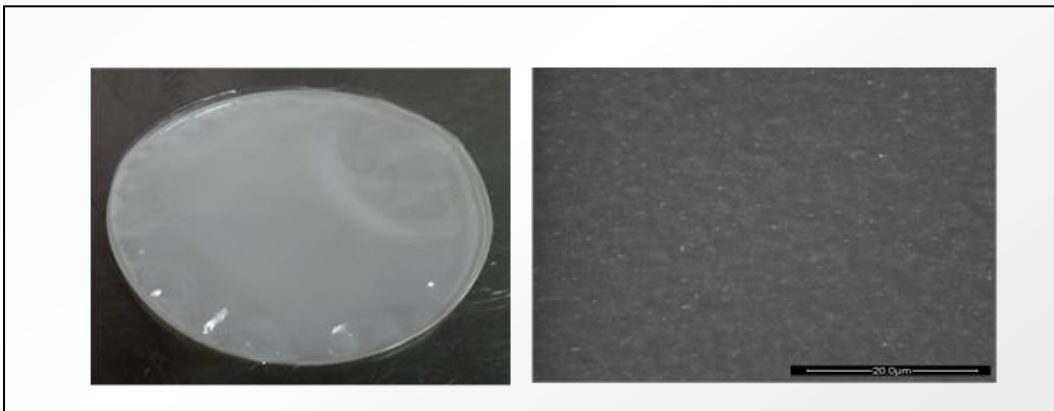


- L'analisi di campioni pretrattati a diverse temperature ha permesso di evidenziare come il pretrattamento a bassa T (50°C) consentisse di aumentare in modo rilevante la permeabilità del film, senza comprometterne la selettività
- Purtroppo tali campioni, sono risultati anche i più soggetti all'invecchiamento perdendo fino al 35% della loro capacità di permeazione dopo soli 5 mesi di test



- Anche l'acqua ha mostrato di avere un effetto importante sulla permeazione, provocando riduzioni fino al 40% nel flusso di gas alle più alte umidità testate ed aumentando quindi la superficie di membrane necessaria per trattare una determinata quantità di gas

- In generale la Matrimid® non risulta particolarmente interessante avendo proprietà simili se non inferiori ad altri materiali attualmente utilizzati per tale scopo siano essi proprietari (P84 Polyimide) che liberamente accessibili sul mercato (acetato di cellulosa)
- Lo studio su tale materiale proseguirà con l'obiettivo di migliorarne le caratteristiche tramite modifiche per via chimica o tramite l'addizione di nanofiller. In parallelo saranno presi in esame e sperimentati altri materiali, ancorché non propriamente commerciali, che possano risultare promettenti punti di partenza per la separazione in oggetto



Campione di membrana polimerica nanocomposita. Immagine SEM della superficie ed ingrandimento a 5000X

Risultati:

- Definizione dello stato dell'arte dei dispositivi filtranti e catalitici disponibili in commercio per l'applicazione su impianti cogenerativi di combustione a biomasse lignocellulosiche, utilizzabili a valle di sistemi di abbattimento tradizionali, che ha evidenziato la possibilità di ridurre ulteriormente gli inquinanti usando specifici catalizzatori su supporti ceramici a nido d'ape
- Realizzazione di un apparato sperimentale dedicato ai sistemi catalitici per il trattamento dei fumi prodotti dalla combustione di biomasse lignocellulosiche, costituita da una caldaia alimentata con pellet di legno, linea di prelievo dei suddetti fumi, dispositivo riscaldato per l'inserimento dei supporti ceramici e strumentazione analitica
- Studio, realizzazione e prove preliminari di supporti ceramici utilizzabili per dispositivi catalitici di abbattimento degli inquinanti dai fumi, con test sulla linea sperimentale



Matrice informativa dei materiali di supporto e principi attivi per il trattamento delle emissioni di particolato e VOC

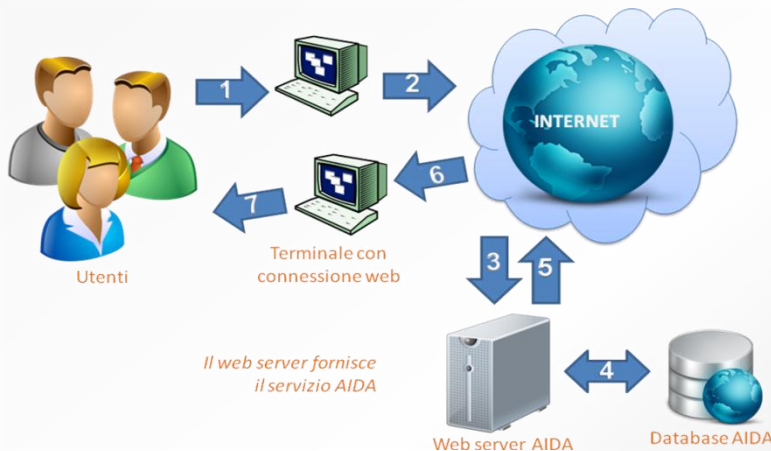
| | VOC | IPA | CO | PM | Avvelenanti |
|--|---|------------|--------------------------------|---|---|
| Honeycomb cordierite/Pt-g-Al₂O₃ | Conversione totale a seconda delle specie in un range di T = 150-250 °C | T > 200 °C | Conversione 90% per T > 150 °C | Conversione solo della frazione organica solubile per T di 150-300 °C | Sensibile allo zolfo, al cloro, ceneri e ad alto contenuto di metalli |
| Honeycomb cordierite/ossidi metallici | Conversione totale a seconda delle specie in un range di T = 150-350 °C | T > 250 °C | Conversione 90% per T > 250°C | Conversione solo della frazione organica solubile per T di 250-400 °C | Ceneri |
| Wall flow filter SiC/Pt-g-Al₂O₃ | Conversione totale a seconda delle specie in un range di T = 150-250 °C | T > 200 °C | Conversione 90% per T > 150°C | Filtrazione del 99,9% del PM e necessità rigenerazione a T > 400 °C | Sensibile allo zolfo, al cloro, ceneri e ad alto contenuto di metalli. Sinterizzazione durante la rigenerazione se non ben controllata |
| Wall flow filter SiC/ ossidi metallici | Conversione totale a seconda delle specie in un range di T = 150-350 °C | T > 250 °C | Conversione 90% per T > 250°C | Filtrazione del 99,9% del PM e necessità rigenerazione a T > 500 °C | Ceneri e sinterizzazione durante la rigenerazione se non ben controllata |
| Monoliti metallici/catalizzatore | Presentano le stesse caratteristiche degli Honeycomb in cordierite ma hanno un costo notevolmente maggiore senza vantaggi per questa applicazione | | | | |

Attività previste:

- Sviluppo ed utilizzo di modelli e software, in grado di effettuare analisi costi-benefici e di impatto ambientale di diversi sistemi di generazione a biogas/syngas ricavando i dati territoriali direttamente dall'Atlante delle Biomasse
- Realizzazione di analisi dettagliate, anche geo referenziate, per valutare le potenzialità di specifiche realtà territoriali in termini di taglia, numero e tipologia di impianti, di economicità delle soluzioni proposte e di contributo all'abbattimento della CO₂ e al risparmio energetico
- Validazione del software e messa a disposizione dello stesso di operatori del settore, amministratori pubblici e investitori per effettuare analisi territoriali dettagliate

Risultati:

- Implementazione e trasferimento della piattaforma WEB AIDA (Advanced and Innovative tool for Developing feasibility Analysis of biomass plants) su server ENEA, con adeguamento dei requisiti tecnici da sistema Windows 2003 Server SP1 a Windows 2008 Enterprise Server R2 (<http://aida.casaccia.enea.it/aida/default.asp>)



Schema semplificato di funzionamento della piattaforma WEB AIDA

- Aggiornamenti e ampliamenti delle informazioni archiviate nel database AIDA (Tabella elementi produttivi, tabella gassificatori) e modifiche tese a migliorare l'uso dello strumento (inserimento pagina di registrazione, controllo delle schermate per facilitare l'uso all'utente finale, rimodulazione dell'analisi energetica) e ad aggiornarlo anche in relazione alle recenti novità legislative sulle modalità di erogazione e l'entità degli incentivi

- **Rapporti tecnici** **20**
- **Publicazioni** **7**
- **Presentazioni a convegni** **2**



*I rapporti tecnici sono disponibili all'indirizzo:
http://www.enea.it/it/Ricerca_sviluppo/ricerca-di-sistema-elettrico/biomasse/produzione-di-energia-da-biomasse-e-scarti*



Grazie per l'attenzione



Dr. Vito Pignatelli

ENEA - Unità Tecnica Fonti Rinnovabili
Coordinamento Tecnologie Biomasse
e Bioenergie

C.R. Casaccia

Via Anguillarese, 301

00123 S.M. di Galeria, Roma

Tel. 0630484506

Fax 0630486514

e-mail: vito.pignatelli@enea.it