



Caro Associato,
il Paese sta attraversando una crisi pesante, che ha inciso sulla condizione di ciascuno di noi, e che ha provocato una caduta degli investimenti nel mondo, caduta dalla quale il mondo della chimica non poteva restare immune. Come conseguenza, il livello di attività dell'industria chimica nel mondo, e soprattutto in Italia, ha subito una brusca frenata.

In questo scenario, che certamente presenta molte ombre, sono orgoglioso di informarti che la nostra associazione, e la sua controllata AIDIC Servizi, ha continuato ad operare con un notevole livello di attività:

Sono stati organizzati 3 congressi internazionali su vari temi di interesse scientifico, con più di 700 partecipanti complessivamente. A questo proposito mi fa particolarmente piacere sottolineare che AIDIC è stata incaricata da EFCE (European Federation of Chemical Engineering) di organizzare per suo conto a Zurigo il simposio ISIC18, Industrial Crystallization, certificando così l'eccellente livello professionale della nostra associazione e le sue capacità organizzative.

Le sezioni territoriali hanno realizzato interessanti workshop e convegni che hanno avuto un notevole successo di partecipazione. I vari gruppi di lavoro hanno lavorato alacremente, realizzando riunioni, workshop ed eventi di notevole interesse.

Tutta questa impressionante mole di lavoro ha prodotto una serie di risultati altamente positivi, tra i quali è importante sottolineare l'iscrizione ad AIDIC di 7 nuove aziende in qualità di soci sostenitori. Come conseguenza, il bilancio economico dell'associazione e di AIDIC Servizi si presenta largamente positivo, dandoci la possibilità di incrementare le nostre attività istituzionali nel corso del prossimo anno.

In questo quadro, certamente roseo, l'unico aspetto che presenta una certa criticità è la diminuzione di iscritti individuali, soprattutto da parte degli studenti universitari; a questo proposito sono state individuate azioni specifiche per aumentare la visibilità della associazione presso gli studenti delle facoltà di ingegneria, che ne sono certo, non mancheranno di produrre gli effetti sperati nel corso del prossimo anno. Si è anche provveduto al rinnovo delle cariche del Consiglio Direttivo e della Giunta, con l'ingresso di nuovi colleghi, cosa che non mancherà di apportare un contributo prezioso di idee e forze nuove.

Come vedete, il futuro presenta opportunità di ulteriore sviluppo delle nostre attività e della nostra presenza.

Buon lavoro a tutti.

*Ing. Enzo Caetani
Presidente AIDIC*

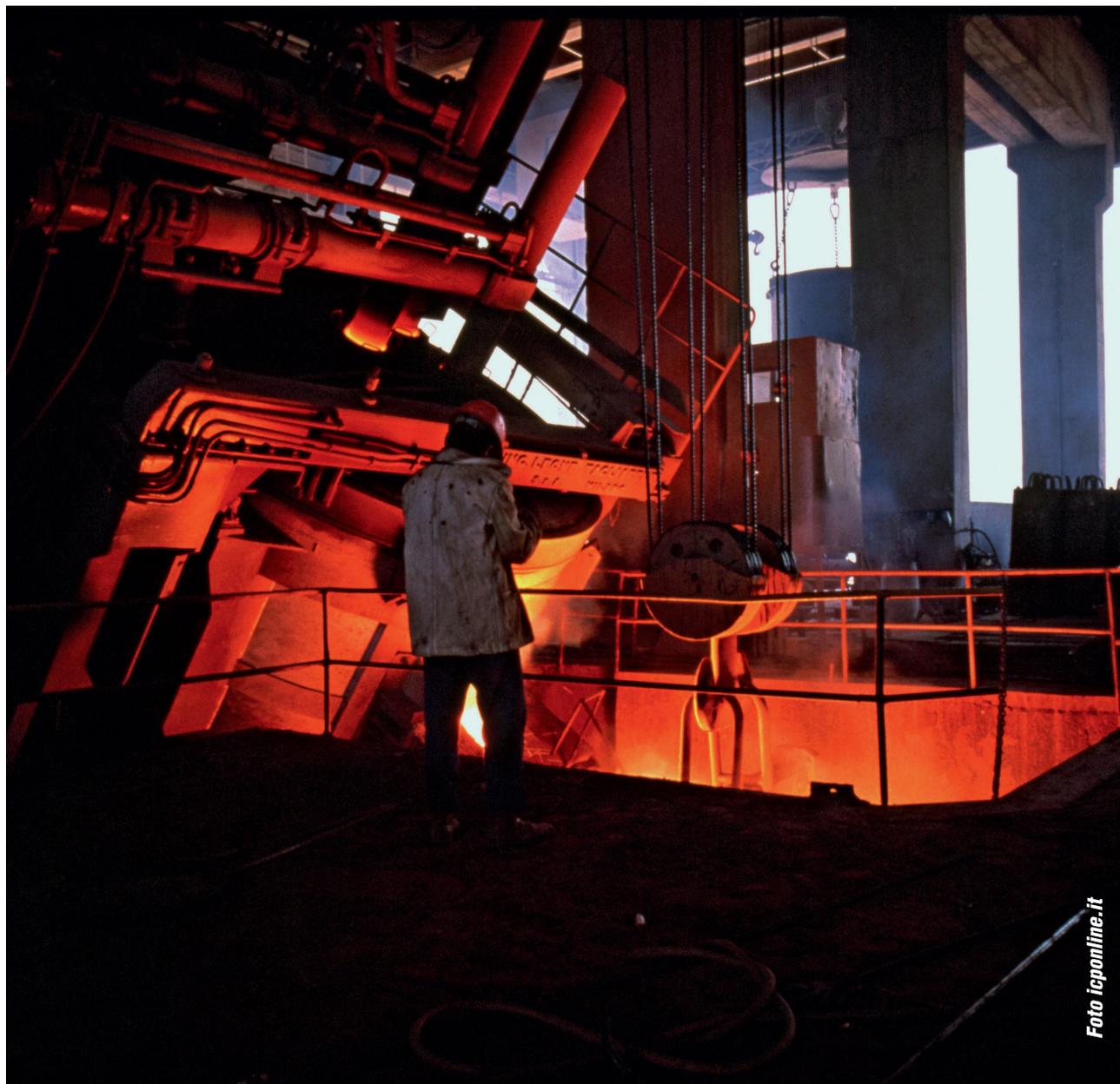
Pirolisi di biomassa

Uno studio su char e syngas

Nell'ambito del progetto GREENEAF, è stato effettuato un interessante studio sulla pirolisi di biomasse. Obiettivo primario del progetto è stato quello di dimostrare la convenienza della sostituzione del metano e del carbone, rispettivamente con syngas e char ottenuti dalla pirolisi di biomasse.

Il ricorso a fonti di energia rinnovabile unitamente alla sostenibilità ambientale, è un'esigenza sempre più sentita sia dell'industria energetica che di quella manifatturiera. In questo scenario le biomasse sono considerate una valida opzione per ridurre i consumi di combustibili fossili, e contribuire a raggiungere gli obiettivi strategici nazionali ed europei di riduzione dei costi energetici e di tutela dell'ambiente¹.

Una definizione precisa, e comunemente accettata, di biomassa non è stata ancora formulata². Generalmente col nome biomasse si indicano tutti i materiali organici non fossili a esclusione delle plastiche. Per l'uso industriale, le biomasse più importanti sono i materiali legnosi derivati da piantagioni appositamente coltivate e i residui delle lavorazioni agricole e dell'industria del legno. Questi ultimi sono infatti, di gran lunga, le biomasse più diffuse in Italia e in Europa^{3,4}.



L'uso, efficiente e pulito, di biomasse richiede la messa a punto di adeguate tecnologie di conversione, a freddo o a caldo^{5, 6, 7, 8}, della biomasse stesse in prodotti utilizzabili come sostituti di combustibili fossili.

In questo lavoro sono presentati alcuni risultati di attività di R&S finalizzate allo sviluppo di una tecnologia di pirolisi adatta a produrre da biomasse, char e syngas, da utilizzare in sostituzione di carbone e gas naturale in forno elettrico ad arco per la produzione di acciaio da rottame.

La siderurgia è un'industria fortemente energivora. Per ridurre i consumi di combustibili fossili e le emissioni di CO₂ è da tempo orientata a sviluppare tecnologie a maggiore efficienza energetica e l'uso di combustibili alternativi e rinnovabili. In quest'ottica, l'uso di char e syngas da biomassa è vista come una importante innovativa opzione tecnologica⁹. In particolare il char da biomassa ha già un impiego significativo in alcuni altoforni in Brasile, dove esiste la possibilità di piantagioni di alberi appositamente coltivati¹⁰.

In Italia più del 60% dell'acciaio si fabbrica a partire dal forno elettrico ad arco, con la fusione di rottame di acciaio. Per ridurre il consumo di energia elettrica, durante il processo di fusione si usano anche combustibili fossili. Il processo di fusione può essere schematicamente suddiviso in due fasi. La prima fase è finalizzata alla fusione del rottame solido. La seconda fase ha lo scopo di ottenere la temperatura e la composizione obiettivo. Nella fase di fusione è pratica comune utilizzare bruciatori a metano, di ausilio all'arco elettrico, per velocizzare la fusione e ridurre il consumo di energia elettrica. Nella seconda fase si utilizza invece carbone (normalmente antracite caricata in pezzatura insieme al rottame o insufflata in polvere) che, reagendo con ossigeno, produce CO favorendo lo schiumeggiamento dello strato di ossidi liquidi (scoria) che protegge il bagno di acciaio fuso. La schiu-

ma copre l'arco elettrico, riducendo le perdite termiche, aumentandone l'efficienza, e protegge i refrattari riducendo il costo totale del processo. Il CO prodotto può essere anche combusto con altro ossigeno (post-combustione) Nell'ambito del progetto internazionale GREENEAF, supportato del Fondo Ricerca Acciaio e Carbone, è stata investigata la possibilità di utilizzare char e syngas, ottenuti dalla pirolisi di biomasse residui agricoli, nel forno elettrico per la produzione di acciaio da fusione di rottame¹¹. L'obiettivo primario del progetto è di dimostrare la convenienza della sostituzione del metano e del carbone, rispettivamente con syngas e char ottenuti dalla pirolisi di biomasse.

L'uso di syngas e char in un forno elettrico richiede vincoli di qualità, di questi prodotti, inferiori a quelli richiesti per applicazione in caldaie industriali o in combustori a turbina, e riduce significativamente le emissioni di CO₂ da combustibili fossili. Oggi un tipico forno elettrico da 100 t/ora consuma tra 500 e 1500 kg/h di carbone e tra 500 e 1000 kg/ora di gas naturale, con una produzione corrispondente di 3-8 t/h di CO₂. Perché la sostituzione di combustibili fossili con prodotti da biomassa sia efficace è necessario che il syngas e il char abbiano prestazioni confrontabili con quelle dei corrispondenti combustibili fossili. Per questo è necessario caratterizzare e selezionare le biomasse più adatte, fra quelle disponibili, e mettere a punto il processo di pirolisi, in modo da ottenere rese che rendano la produzione conveniente e le appropriate caratteristiche qualitative dei prodotti.

Selezione delle biomasse

Le biomasse utilizzabili sono residui di lavorazioni agricoli e dell'industria del legno, di cui diversi studi indicano in Italia e in Europa una larga disponibilità e una distribuzione territoriale che ne consente l'uti-

Tabella 1 - Le tre classi di biomassa a maggiore disponibilità in Italia

| Tipo di biomassa | vantaggi | svantaggi |
|--|---|---|
| residui forestali e scarti della lavorazione del legno | grossi quantitativi e non legata a raccolti stagionali; ottima qualità | dispendio energetico elevato per raccolto e distribuzione; se tra i residui forestali ci sono grossi quantitativi di materiale di risulta del sottobosco la qualità è più bassa per l'alto contenuto di ceneri. |
| residui agricoli | grossi quantitativi e basso costo | grossi quantitativi di ceneri e azoto rispetto ad altre classi di biomasse |
| biomassa coltivata | produzione secondo necessità; buona qualità (azoto e fosforo in genere inferiori alla biomassa da residui agricoli) | necessità di coltivazioni dedicate; produttività significativa in genere a partire dal secondo anno. |

Tabella 2. Analisi chimica elementare di tre tipiche biomasse

| | residui forestali (tagli boschivi) | residui agricoli (potature di vite) | biomassa coltivata (sorgo) |
|-------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------|
| potere calorifico inferiore [kJ/kg] | 20.000 | 18.900 | 19.100 |
| materie volatili (%) | 80 | 78 | 78 |
| ceneri (%) | 1.1 | 3.9 | 3.5 |
| C (%) | 51.5 | 46.2 | 48.2 |
| H (%) | 6.7 | 5.5 | 5.4 |
| N (%) | 0.3 | 1.3 | 0.6 |
| O (%) | 39.7 | 37.7 | 42.1 |
| S (%) | 0.04 | 0.03 | 0.06 |
| Cl (%) | 0.05 | 0.05 | 0.2 |

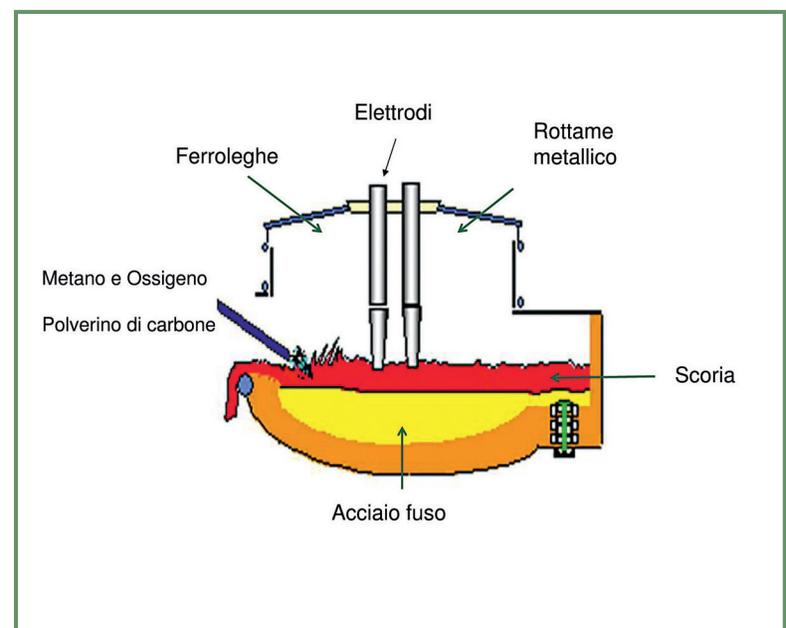


Figura 1. Rappresentazione schematica di un forno elettrico ad arco

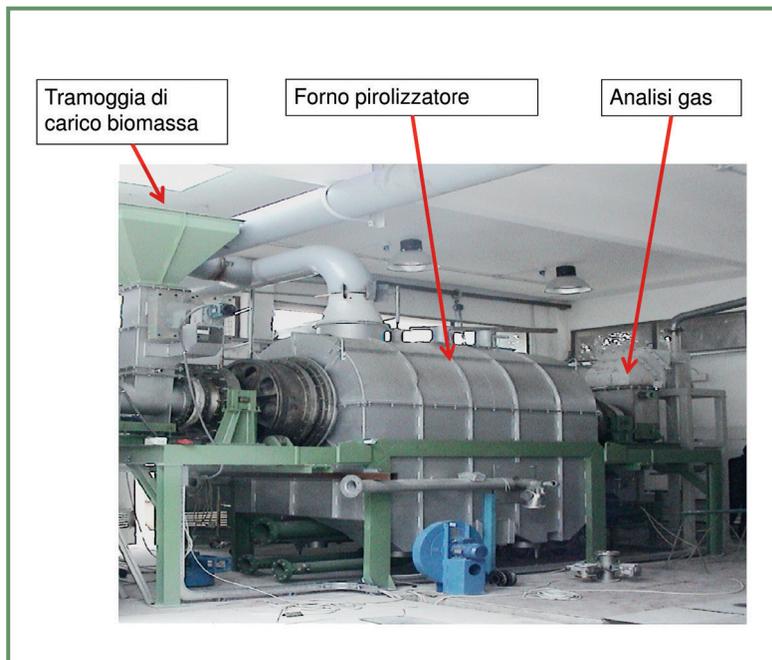


Figura 2. L'impianto pilota a tamburo rotante per la pirolisi di biomasse

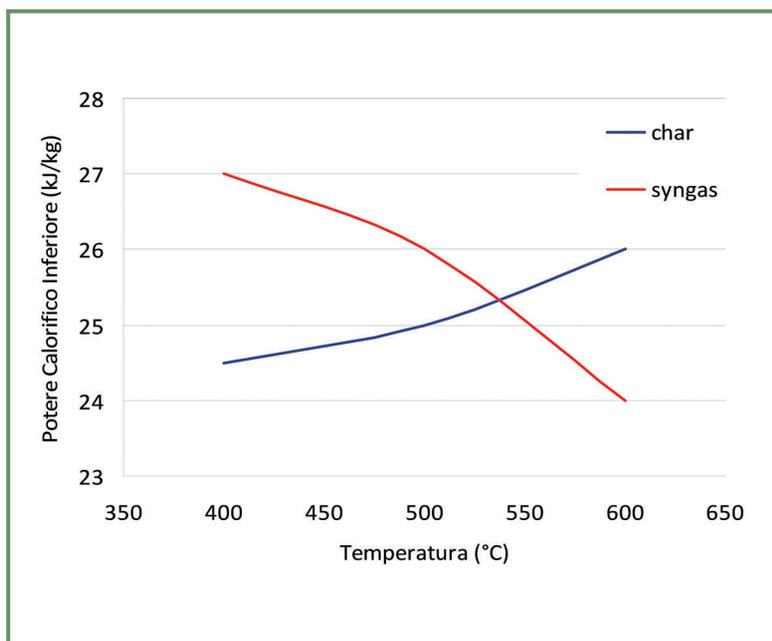


Figura 3. Potere calorifico di char e syngas ottenuti dalla pirolisi a diverse temperature di biomassa potature di vite

lizzazione industriale vantaggiosa, sia dal punto di vista economico sia dal punto di vista logistico^{12, 13}; cioè distribuzione abbastanza omogenea sul territorio e costanza di approvvigionamento nel corso dell'anno.

Le biomasse, da caratterizzare e utilizzare, sono state scelte in base alla disponibilità in una zona entro un raggio di 70 km dallo stabilimento siderurgico. Molti studi indicano che questa è la distanza massima per avere costi di raccolta e trasporto accettabili¹⁴.

Messa a punto del processo di pirolisi

La pirolisi è il più antico processo di decomposizione termochimica di biomassa, che sta vivendo un periodo di rinnovato interesse nel contesto della valorizzazione di combustibili rinnovabili¹⁵.

In linea teorica la pirolisi è condotta a temperature comprese tra 400 e 800°C, in atmosfera inerte. Nella pratica, tuttavia, un'atmosfera completamente inerte non esiste. Si può quindi considerare pirolisi un pro-

Tabella 3. Frazioni relative (in massa) delle pirolisi a 500 °C di tre tipi di biomasse

| Biomassa | Char (%) | Syngas (%) | Tar (%) |
|--------------------------------------|----------|------------|---------|
| residui forestali (tagli boschivi) | 71 | 21 | 8 |
| residui agricoli (potature di vite) | 29 | 49 | 22 |
| biomassa coltivata (pellet di sorgo) | 35.9 | 52.8 | 11.3 |

Tabella 4. Composizione del syngas ottenuto dalla pirolisi di potature di vite, a diverse temperature

| | C ₂ H ₆ | C ₃ H ₈ | CH ₄ | CO | CO ₂ | H ₂ | PCI MJ/Nm ³ |
|-------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------|----|-----------------|----------------|------------------------|
| 400°C | 10.0 | 10.0 | 21 | 21 | 23 | 15 | 27 |
| 500°C | 9 | 9 | 19 | 24 | 21 | 17 | 26 |
| 600°C | 9.0 | 8.0 | 17 | 27 | 19 | 20 | 24 |

cesso in cui il rapporto ossigeno/biomassa è inferiore a 0.015 mol/g¹⁶.

Schematizzando i prodotti sono¹⁷:

- char, un materiale solido, a matrice carboniosa, contenente anche le ceneri derivate dal materiale inorganico della biomassa
- idrocarburi di peso molecolare superiore a 80 g/mol, liquidi alla temperatura di pirolisi o che condensano come solidi o liquidi a temperatura ambiente. Il materiale condensato si chiama generalmente tar (anche in questo caso una definizione precisa e universalmente accettata, non è stata ancora formulata);
- syngas, una miscela di prodotti gassosi a temperatura ambiente, contenenti, come componenti maggiori, idrogeno, metano, idrocarburi leggeri, ossido di carbonio.

Le proporzioni relative delle tre classi di prodotti, la loro composizione e le caratteristiche fisiche del char dipendono dalle caratteristiche dei materiali trattati e dalle condizioni di processo: temperatura, velocità di riscaldamento, composizione dell'atmosfera¹⁸.

Schematicamente all'aumentare della temperatura aumentano le rese in prodotti liquidi e gassosi, l'incremento del tempo di trattamento favorisce la formazione del char a bassa temperatura e la formazione di gas ad alta temperatura¹⁹.

Caratteristiche importanti del char sono il potere calorifico, il contenuto in C, la quantità e la composizione delle ceneri inerti, la reattività con agenti ossidanti (aria, ossigeno, vapore d'acqua). Caratteristiche importanti del syngas sono la composizione, il potere calorifico e il contenuto di componenti minori (composti dello zolfo, dell'azoto, del cloro) in relazione alle esigenze di pulizia del gas.

Il processo di pirolisi è stato messo a punto con una microreattore da laboratorio e con campagne sperimentali su un impianto pilota, mostrato in fotografia in Figura 2.

L'impianto pilota di pirolisi è un tamburo rotante, che può essere alimentato con una portata di biomassa fino a 200 kg/ora. L'energia per la pirolisi è fornita da un bruciatore a gas con potenza massima di 500 kW.

La concentrazione di O₂ all'interno del tamburo è dell'ordine di 1-2%. Per mezzo della variazione di potenza termica del bruciatore, è possibile variare la temperatura di pirolisi, monitorata in continuo da un pirometro. La velocità di rotazione del tamburo pirolizzatore è variabile. Durante le prove il syngas prodotto è campionato e analizzato in termini di componenti maggiori e per la misura del tar. Nell'impianto pilota il syngas viene purificato in una sezione di raffreddamento e la-

vaggio con acqua, e quindi inviato a una torcia. Il char è scaricato tramite un sistema a vite e pesato.

Le prove sono state condotte con portate di biomassa di 100 kg/ora, a temperature comprese fra 450 °C e 650 °C, e con tempi di pirolisi compresi fra 30 e 50 minuti.

Durante le prove, char, syngas prodotto e tar nel syngas sono stati campionati per analizzare l'influenza delle variazioni dei parametri di processo sulla loro percentuale in peso e sulle loro caratteristiche energetiche e composizione chimica. Il processo di pirolisi deve essere condotto per massimizzare la resa in syngas oppure la resa in char.

I risultati indicano che la biomassa coltivata è il candidato migliore per la produzione di syngas, mentre la biomassa da tagli boschivi è il più adatto a produrre char.

Se la pirolisi è finalizzata a produrre syngas, il processo deve essere progettato per ottenere il valore più alto possibile del potere calorifico, in modo da poterlo usare in un bruciatore in sostituzione del metano.

I risultati indicano che le potature di vite, pirolizzate a 500 °C, sono un buon compromesso, perché consentono di ottenere, con buone rese sia char che syngas di buona qualità. Questa biomassa è anche quella maggiormente disponibile nell'intorno del sito produttivo italiano che partecipa al progetto.

Syngas nel forno ad arco

Il syngas ottenuto dalla pirolisi di potature della vite ha un potere calorifico inferiore a quello del metano (26 MJ/m³ contro 34 MJ/m³). Per dimensionare i bruciatori in modo da ottenere con syngas prestazioni confrontabili con quelle del metano sono state eseguite simulazioni termofluidodinamiche di riscaldamento di rottame. In particolare sono state simulate diverse configurazioni di bruciatori con diverse portate e miscele metano/syngas. La figura 4 mostra

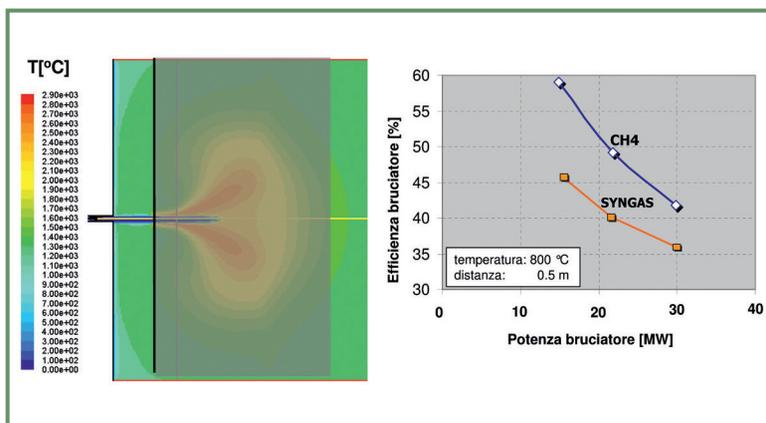


Figura 4. Esempio di simulazione termofluidodinamica del campo di temperatura nel gas e all'interno di rottame posto davanti a un bruciatore a syngas da biomassa (a sinistra)

Tabella 5. Grandezze operative nelle simulazioni e prestazioni calcolate, di bruciatori a metano e a miscele syngas/metano

| Grandezze | Gas naturale | Syngas addizionale di gas naturale | Syngas addizionale di gas naturale con aumento portata |
|---|--------------|------------------------------------|--|
| portata combustibile (Nm ³ /h) | 220 | 366 | 446 |
| rapporto CH ₄ / syngas (Nm ³ /Nm ³) | 0 | 0,4 | 0,4 |
| aggiunta CH ₄ (%) | 0 | 29 | 29 |
| potenza bruciatore (kW) | 2187 | 2187 | 2667 |
| efficienza | 0,49 | 0,40 | 0,40 |
| potenza su rottame (kW) | 1072 | 880 | 1072 |
| delta consumo CH ₄ (%) | 0 | -42 | -42 |
| delta tempo bruciatore (%) | 0 | +22 | 0 |

Tabella 6. Grandezze che caratterizzano carbone e char nel forno elettrico ad arco

| | carbone | char |
|------------------------------------|---------|------|
| carbonio totale (%) | 80 | 75 |
| ceneri (%) | 10 | 8 |
| potere calorifico (MJ/kg) | 30 | 23 |
| quantità utilizzata (kg/t acciaio) | 12 | 13 |
| scoria prodotta (kg/t acciaio) | 1,2 | 1,0 |

un esempio di campo di temperatura nel gas e nel rottame posto di fronte a un bruciatore a syngas e i grafici dell'andamento dell'efficienza (potenza fornita al rottame/potenza del bruciatore) in funzione della potenza del bruciatore, sia per un bruciatore a metano che a syngas.

La composizione ed il potere calorifico del syngas utilizzati nelle simulazioni sono stati ricavati dalla sperimentazione fatta sull'impianto pilota di pirolisi.

Le simulazioni in figura 4 si riferiscono a syngas ottenuto dalla pirolisi di residui della potatura della vite, pirolizzata a 500 °C (vedi Tabella 4):

I risultati hanno messo in evidenza che con i vincoli impiantistici imposti dal produttore non è possibile utilizzare 100% syngas. È stato quindi necessario individuare la miscela metano/syngas che consentisse di utilizzare la massima portata di combustibile ammissibile dall'impianto esistente ed ottenere le stesse prestazioni dei bruciatori a metano. Sulla base di ciò è stato possibile valutare il conseguente risparmio di metano.

I risultati in tabella 5 indicano che una miscela di syngas e metano di opportuna portata garantisce la stessa potenza fornita al rottame, quindi uguali tempi di trattamento, con un risparmio del 42% di metano. 446 Nm³ di syngas equivalgono a circa 500 kg: questo implica un fabbisogno di circa 1000 kg/h di biomassa per la sua produzione.

Char nel forno elettrico

Nel caso si voglia produrre principalmente char questo deve avere:

- una reattività con ossigeno confrontabile con quella del carbone in polvere, normalmente utilizzato, per produrre la scoria schiumosa e nel forno elettrico;
- quantità e composizione delle ceneri tali da non modificare significativamente le caratteristiche della scoria nel forno elettrico. Ciò al fine

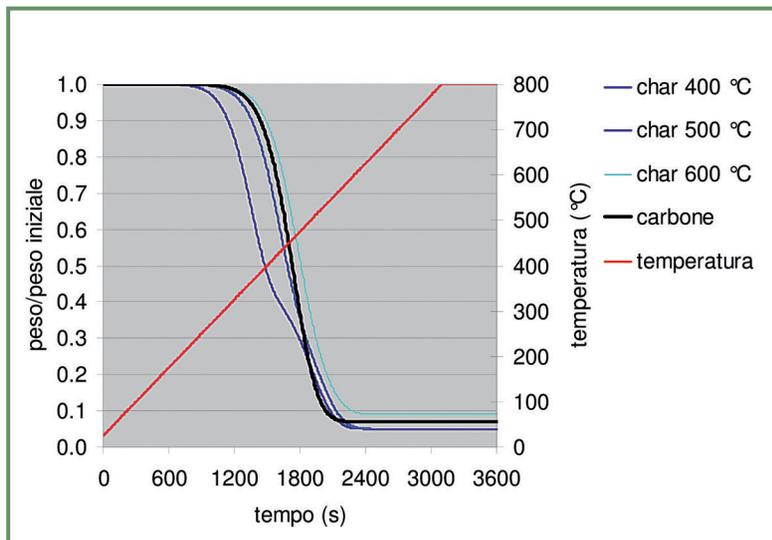


Figura 5. Curve termogravimetriche di char ottenuti da potature di vite a tre diverse temperature di pirolisi, e di un carbone utilizzato in forno elettrico. Ogni curva fornisce la velocità alla quale il materiale reagisce con aria in funzione del tempo e secondo un programma di riscaldamento

di sostituire il carbone senza modificare sostanzialmente i criteri di conduzione e controllo del processo.

La Figura 5 mostra curve termogravimetriche, in aria e con un definito programma termico, per un char da potature di vite, ottenuti a diverse temperature di pirolisi. Per confronto è riportata anche la curva termogravimetrica ottenuta, nelle stesse condizioni, con carbone. Le curve indicano la velocità di reazione del char e del carbone con ossigeno. I char ottenuti a temperature di 500 °C e 600 °C hanno un comportamento molto simile a quello del carbone usato nel forno elettrico.

I risultati indicano che il char prodotto a partire dalle potature della vite, con pirolisi a 500 °C ha la reattività con aria confrontabile a quelle del carbone in polvere e la frazione di ceneri prodotte quando usato in completa sostituzione del carbone non è tale da modificare significativamente le caratteristiche della scoria; 13 kg/t di char corrispondono per un forno elettrico da 100 t/ora, 1300 kg/ora di char, con un fabbisogno di circa 4500 kg/ora di biomassa.

Conclusioni

Il processo di pirolisi di biomasse consente di produrre char e syngas che possono essere utilizzati in sostituzione di combustibili fossili

con vantaggi ambientali e favorendo lo smaltimento di sottoprodotti di produzioni e lavorazioni agricole e dell'industria del legno.

Benché la pirolisi sia un processo noto da lungo tempo e relativamente semplice, l'uso efficiente e vantaggioso di char e syngas richiede una attenta selezione delle biomasse di partenza, la loro accurata caratterizzazione e la messa a punto della appropriata tecnologia di pirolisi. Queste sono le linee di sviluppo tecnologico su cui sta lavorando la ricerca. La tecnologia disponibile consente, comunque, già oggi la produzione di char e syngas che soddisfano requisiti qualitativi per alcune applicazioni industriali. Un esempio è la messa a punto di processi di pirolisi per l'ottenimento di prodotti da utilizzare in sostituzione di combustibili fossili nel forno elettrico ad arco per la produzione di acciaio.

Il lavoro di ricerca svolto a questo fine ha portato all'identificazione delle biomasse più adatte e alla definizione di condizioni di pirolisi che consentono di scegliere il prodotto principale del processo: char o syngas, e di produrlo con caratteristiche tali da poterlo potenzialmente utilizzare nel forno elettrico senza modifiche significative né dell'impianto né delle condizioni di processo, ottenendo le stesse prestazioni di produttività

e abbassando significativamente le emissioni di CO₂.

In particolare dai residui di potature della vite si ottiene una biomassa che pirolizzata a 500 °C fornisce sia un syngas utilizzabile in parziale sostituzione del metano sia un char utilizzabile in sostituzione del carbone. Altri materiali e altre condizioni di pirolisi possono aumentare il grado di sostituzione del syngas, accettando di utilizzare carbone, oppure fornire rese maggiori di char.

La scelta ottimale dipende dalle condizioni di mercato (prezzi di metano, carbone, energia elettrica) e dalle condizioni operative del processo in forno elettrico. In ogni caso, le rese in syngas e char delle biomasse da residui agricoli e i consumi di un forno elettrico ad arco, indicano che il fabbisogno di biomassa per una produzione annuale dell'ordine di 500 000 t/anno di acciaio è dell'ordine di 50.000 t di biomassa. Questo fabbisogno è compatibile con la disponibilità territoriale in diverse regioni italiane. La valutazione globale dei costi e benefici richiede di tenere conto aspetti legati alla logistica di raccolta e trasporto e al costo sul mercato delle biomasse. Il risultato utile è che l'uso di biomassa si presta a rendere più sostenibile un processo manifatturiero ad alta intensità di energia, offrendo anche un alto grado di flessibilità, che consente di scegliere fra diverse soluzioni di utilizzazione. ■

Ringraziamenti

Parte di questo lavoro è stato condotto nel contesto del progetto GRE-ENEAF, col supporto finanziario del Reserach Fund of Steel and Coal (RFSC). RFSR-CT-2009-00004.

Gli autori ringraziano l'RFSC per il supporto finanziario.

Bibliografia

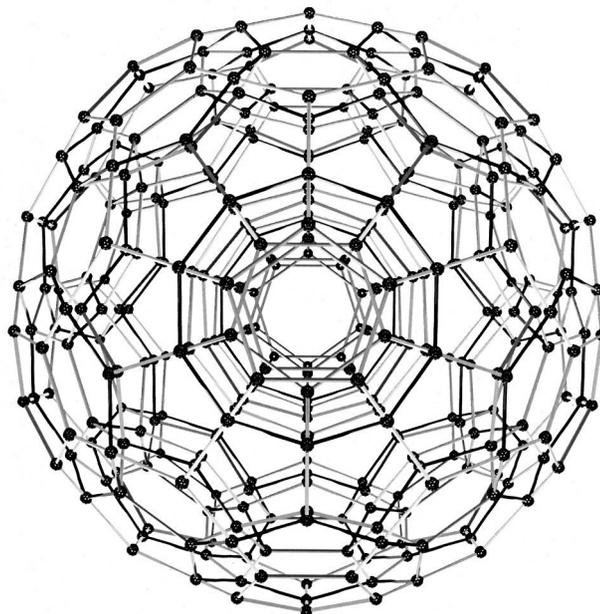
1. Ministero dello Sviluppo Economico; Piano di azione nazionale per le energie rinnovabili, giugno 2010.
2. Pagnoni G.A.; La definizione di biomassa nella normativa italiana. Edizioni ambiente, Milano, Aprile 2011.
3. Ericson, K., Nilson, L.; Assessment

of the potential biomass supply in Europe using a resource-focused approach. Biomass and Bioenergy, vol. 30, 2006, pp. 1-15

4. Alakankas, E., Heikkine, A., Lensu, T., Vesterinen, P.; Biomass Fuel Trade in Europe – Summary Report VTT-R-03508-07; Eubionet 2, March 2007.
5. Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare. Biomasse – Tecnologia, applicazioni, potenzialità.
6. Italian Biomass Association (www.itabia.it)
7. European Biomass Association (www.aebiom.org)
8. Pellerano, A., Pantaleo, A., Tenerelli, P., Carone, M.T.; Studio per la valorizzazione energetica delle biomasse agroforestali nella regione Puglia. Relazione conclusiva, Aprile 2007.
9. Cedric Briens, Jan Piskorz, Franco Berruti; Biomass Valorization for Fuel and Chemicals Production - A Review. International journal of chemical reactor engineering, Vol 6, January 2008
10. Di Donato, A. Buegler, T.; Biomass gasification for DRI production. Revue de Métallurgie. Paris, N. 10, October 2009, pp. 429-433.
11. Bain, R.L.; An Introduction to Biomass Thermochemical Conversion. DOE/NASLUGC Biomass and Solar Energy Workshops, August 2004.
12. G. Chen, J. Andries, Z. Luo, H. Spliethoff; Biomass pyrolysis/gasification for product gas production: the overall investigation of parametric effects. Energy Conversion and Management; Volume 44, Issue 11, July 2003, Pages 1875-1884
13. Evans R.J. The Relation of Pyrolysis Processes to Charcoal Chemical and Physical Properties.. Symposium on Black Carbon in Soils & Sediments; October 2008.
14. Sustainable EAF steel production (GREENEAF); RFSR-CT-2009-00004
15. Ultra-Low Carbon dioxide Steelmaking . ULCOS (www.ulcos.org)
16. Da Costa, T.R. Morais, M.F.; Charcoal, renewable energy source for steel-making process. Revue de Métallurgie, Paris, N. 5, May 2006, pp. 203-209
17. Fiorese, G., Gatto M., Guariso, G.; Una valutazione ambientale e economica dell'utilizzo di biomasse a scopo energetico: il caso della provincia di Cremona. XIV congresso della società italiana di ecologia, Siena, Ottobre 2004.
18. Zullo, L., Fiorese, G., Gatto, M., Guariso, G., Consonni, S.; Stima della disponibilità di biomassa e alternative di utilizzo energetico: un'applicazione alla provincia di Piacenza; XV congresso della società italiana di ecologia, Torino, 2005.
19. Ultra Low CO₂ Steelmaking Project-Subproject 7: Biomass Base Steelmaking, ULCOS/2006/SP7/D77; February 2006

Che cosa sono i quasicristalli?

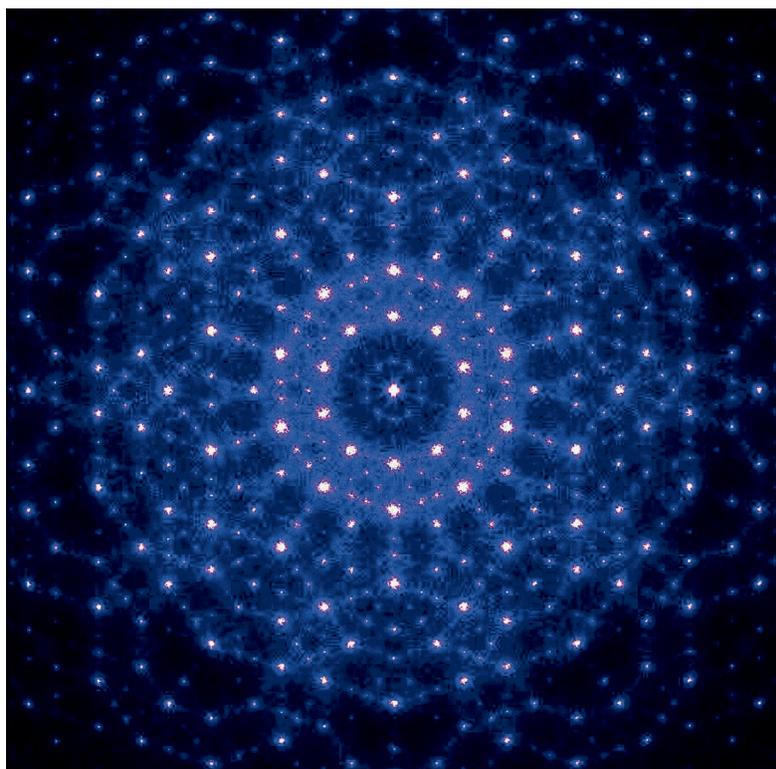
Lo spettro di diffrazione (*diffraction pattern*) di un campione costituito da una lega solidificata di alluminio con una percentuale del 10–14% di manganese sottoposto ad analisi col microscopio elettrico, mostrava una simmetria costituita da 10 atomi (tenfold). Si pensava che tale tipo di simmetria fosse impossibile da realizzarsi. In tutti i manuali di cristallografia, infatti, erano stati riportati modelli riproducenti una simmetria a 3 (threefold), 4 (fourfold), o 6 (sixfold) atomi, caratterizzati dalla eguaglianza della distanza tra gli atomi.



che i cristalli non sono più necessariamente caratterizzati da uno spettro di diffrazione simmetrico e regolare.

A questa interpretazione si arrivò studiando i mosaici che decorano alcune moschee, che sono stati realizzati mediante l'accostamento di solo 5 tipi di tessere. I matematici, infatti, scoprirono che era possibile realizzare un mosaico aperiodico partendo da solo due tipi di tessere, *thin* e *fat*. In questi tipi di mosaici, il rapporto tra il numero di tessere *thin* e *fat*, è pari proprio la golden ratio.

I quasicristalli sono molto efficienti nel condurre il calore, e potrebbero



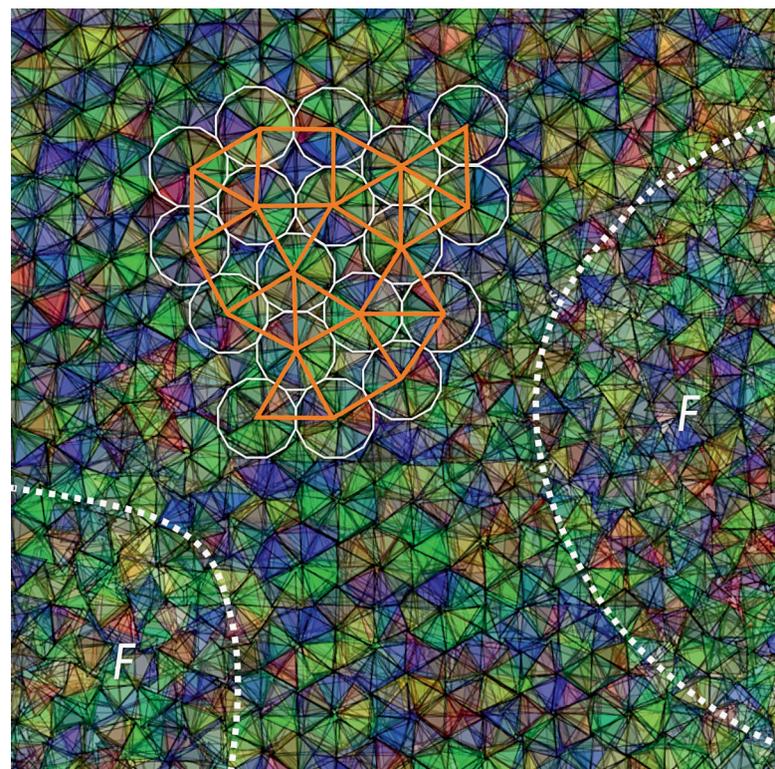
La simmetria tenfold osservata per diffrazione ai Raggi X

Una disposizione degli atomi riprodotte un modello a 5 atomi (fivefold), o 7 atomi (sevenfold), avrebbe necessariamente comportato una differente lunghezza dei legami tra gli atomi, e perciò, era stata sempre considerata impossibile a realizzarsi in cristallografia.

Anche provando a ruotare il campione di 1/10 di angolo giro (36°), la simmetria rimaneva la stessa, ma continuando a ruotare il cristallo, la simmetria mostrata diventava a 5 ato-

mi (fivefold). Il risultato era ripetibile, e la simmetria scompariva sottoponendo il campione a riscaldamento.

I quasicristalli sono caratterizzati, quindi, non dall'eguaglianza delle distanze tra gli atomi, bensì da una costanza del rapporto tra le distanze interatomiche, che risulta essere pari al rapporto di due numeri consecutivi



Simulazione di un quasicristallo dodecagonale da un flusso costituito da piccoli tetraedri (Foto BBC Science)

nella sequenza di Fibonacci (*golden ratio*; la sequenza è 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55, 89, 143).

In base a quest'ordine, rigorosamente matematico, nei manuali di cristallografia la definizione di cristallo è stata cambiata in "solido che ha essenzialmente un discreto spettro di diffrazione", volendo intendere, così,

essere utilizzati anche per convertire, in maniera molto efficiente, il calore in elettricità, in applicazioni rivolte al risparmio energetico.

Si è scoperto che alcuni tipi di quasicristalli sono presenti anche in natura. Recente è la scoperta di quasicristalli in un campione di meteorite custodito a Firenze.

Per approfondimenti:

areeweb.polito.it/didattica/polymath/htmlS/probegio/GAMEMATH/TassellaturePenrose/TassellaturePenrose.htm
www.ilsole24ore.com/art/tecnologie/2012-01-06/quasi-cristalli-esistono-anche-134515.shtml?uud=Aau8RjBE

Fonti alternative

SNG: sviluppo di una nuova tecnologia

L'interesse verso le fonti alternative a petrolio e gas è in crescita costante: Foster Wheeler Italiana ha collaborato con Süd-Chemie (gruppo Clariant) per lo sviluppo del processo VESTA, una nuova strategia per la produzione di SNG (Substitute Natural Gas).

La produzione di fuel e chemicals in molti Paesi si basa soprattutto su petrolio e, in misura minore, su gas naturale. È risaputo che la riserva di entrambe queste fonti fossili è limitata a un range di 40-60 anni. Al contrario, la disponibilità di carbone, considerando le riserve provate, è di circa 230 anni. Questo, unito alla possibilità di ridurre l'emissione di gas serra attraverso CCS (*Carbon Capture and Sequestration*) sta aumentando le possibilità di sfruttamento di tale risorsa che, ad esempio, costituisce già la prima fonte di energia per il mercato cinese. Tale sviluppo sta portando anche a un grande interesse nei confronti dei cosiddetti Alternative Fuels derivanti dalla gasificazione del carbone: CTL (*Coal To Liquid*) e SNG (*Substitute Natural Gas*).

In particolare quest'ultimo ha grandi possibilità di mercato nel mondo del refining (utilizzato come fuel gas) oppure dell'automotive (combustibile per autoveicoli di nuova generazione), ma soprattutto può essere

immesso direttamente nei gasdotti per il potenziamento delle reti di distribuzione.

Il Processo VESTA

In questo contesto Foster Wheeler Italiana con la collaborazione di Süd-Chemie (gruppo Clariant) ha sviluppato e ha messo a punto una nuova tecnologia per la produzione di SNG: il Processo VESTA.

Tale processo si trova a valle della gasificazione del carbone, i cui prodotti (syngas - CO, H₂, H₂O, CO₂, CH₄ e N₂ - con contaminanti organici - TAR, H₂S, ecc.) devono essere purificati prima del processo. L'obiettivo della purificazione è quello di eliminare tutti i contaminanti con particolare

attenzione alla rimozione di H₂S che porta alla disattivazione irreversibile dei catalizzatori usati nel processo. Al contrario non è richiesta la rimozione di CO₂ la quale viene alimentata al processo per essere rimossa solo dopo la sezione di produzione dell'SNG (Figura 1).

L'SNG Process prevede uno Sweet Shift Reactor in cui avviene la reazione di Water Gas Shift di alta temperatura su catalizzatore a base di Ferro/Cromo (1):



La corrente a valle dello Shift Reactor, previo raffreddamento, è inviata ai reattori di metanazione vera e propria dove la reazione (2) si sviluppa su letti catalitici a base di Nichel:



Tale reazione è fortemente esotermica; infatti non è condotta in un singolo reattore ma si sviluppa su una serie di reattori tra i quali sono previsti interstadi di raffreddamento. In ogni caso la possibilità che i metanatori possano arrivare in condizioni di runaway è molto forte.

Nel processo VESTA tale rischio è evitato anche dalla presenza della CO₂ che funziona come volano termico. Questo spiega il motivo per cui Foster Wheeler propone nel suo impianto la purificazione della CO₂ a valle della metanazione e non a monte.

Tale strategia permette infatti di evitare il riciclo dei gas di reazione

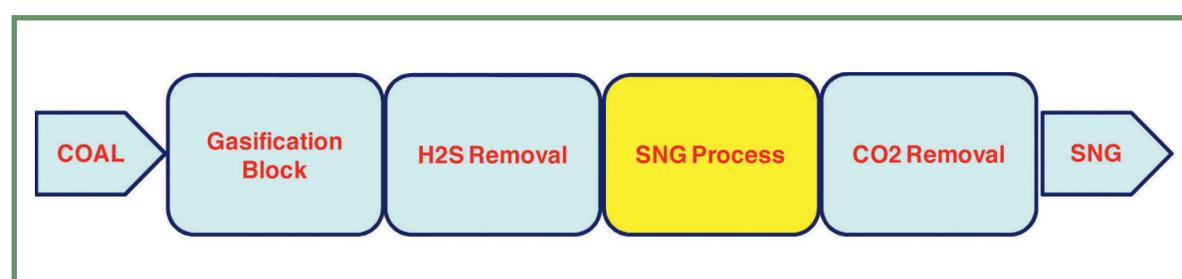


Figura 1 - Schema a blocchi dal carbone alla produzione di SNG

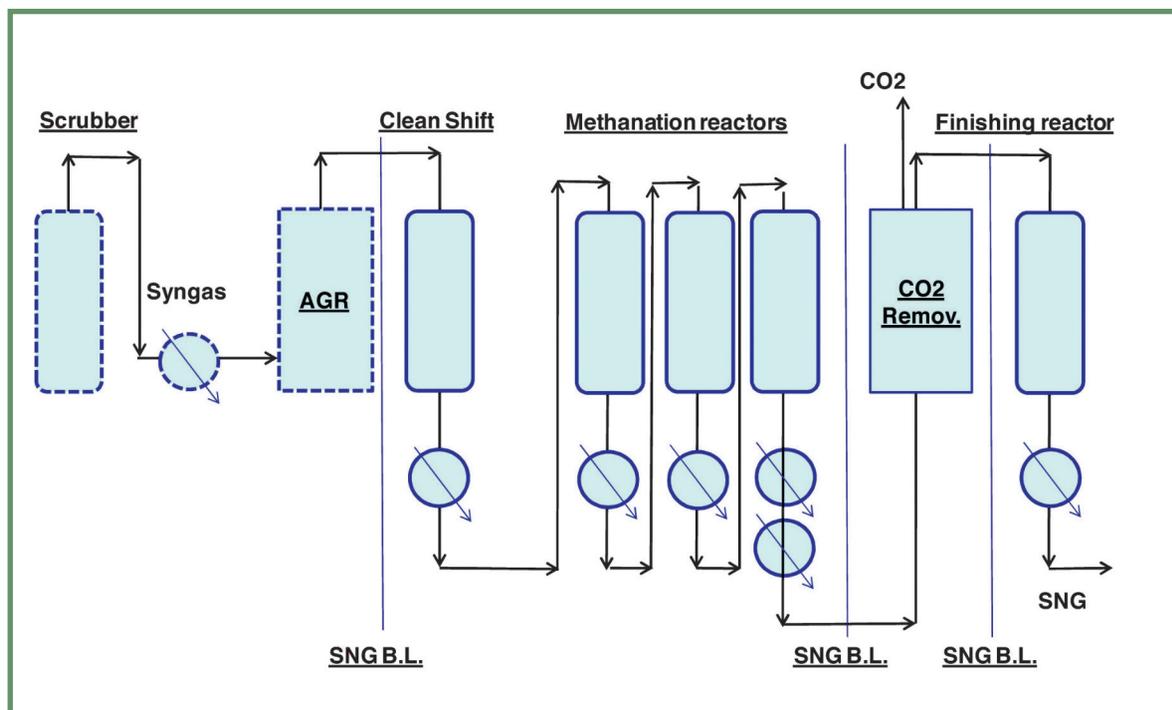


Figura 2 - Schema concettuale del Processo VESTA

(soluzione proposta e utilizzata dai concorrenti nel settore).

La scelta di Foster Wheeler consente quindi di ridurre gli elevati costi operativi legati al compressore di riciclo. Inoltre la CO₂ recuperata a valle dell'impianto SNG ha una purezza superiore rispetto a quella eventualmente recuperata simultaneamente alla purificazione dei syngas in ingresso al processo VESTA. Avendo una maggiore purezza, la CO₂ ottenuta potrebbe essere utilizzata per altri scopi industriali e non rientrerebbe nel computo delle emissioni in atmosfera. Nell'ottica di una sempre maggiore riduzione delle emissioni di CO₂, questo aspetto costituisce un vantaggio non trascurabile.

Descrizione del processo

Nel raffreddamento dei prodotti di reazione, il calore viene sfruttato per la produzione di vapore. Grazie all'integrazione termica, non solo si produce il vapore necessario al processo VESTA (Sweet Shift Reactor), ma una quota importante può essere esportata. Ovviamente l'integrazione termica viene studiata e ottimizzata sulle esigenze del cliente: mediamente si ha la possibilità di produrre vapore di media/alta pressione (sa-

turo o surriscaldato) contestualmente a vapore di bassa pressione.

Foster Wheeler è riuscita a mettere a punto un impianto dallo schema di processo molto semplice che porta ad avere delle ottime prestazioni sia in termini di SNG prodotto che di vapore esportato. Nel seguito un esempio rappresentativo del processo VESTA.

Considerando una tipica specifica del syngas in ingresso al processo VESTA (Tabella 1), l'impianto è costituito da un reattore di shift seguito da tre reattori di metanazione in serie. Previamente al terzo metanatore è inviata alla sezione di rimozione della CO₂ seguita da un ultimo metanatore (Figura 2). Quest'ultimo reattore è caratterizzato da un catalizzatore a base di Nichel (o Rutenio a seconda delle condizioni di reazione) che viene utilizzato per affinare la composizione del SNG.

Un processo versatile

L'impianto mostrato permette la produzione di SNG (composizione riportata in Tabella 2), pari a 160.000 Nm³/h. Da notare come l'impianto non solo sia termicamente autosufficiente, ma permet-

ta anche un'esportazione di vapore di alta e di bassa pressione come quantificato in Tabella 3.

I dati riportati sono a carattere puramente esemplificativo. Il processo VESTA è infatti estremamente versatile, compatibile con tutte le tec-

Tabella 3 – Produzione di vapore esportato

| | vapore bassa pressione | vapore alta pressione |
|-----------------------|------------------------|-----------------------|
| temperatura (°C) | Sat | Sat |
| pressione (barg) | 3,5 | 86,2 |
| portata massiva (t/h) | 230 | 214 |

nologie di gasificazione ad oggi presenti sul mercato. Foster Wheeler è in grado di produrre con un singolo treno fino a 250.000 Nm³/h di SNG senza la presenza di un compressore di riciclo dei prodotti e con reattori che non presentano rischio di Metal Dusting, permettendo anche di avere una ridotta formazione di coke.

Sicuramente tali aspetti portano a una riduzione del costo di investimento dei reattori che, per le caratteristiche sopra citate, non richiedono la presenza di un lining interno.

Il processo VESTA, di fatto, è caratterizzato da reazioni studiate e ben conosciute da anni. La novità della tecnologia proposta da Foster Wheeler sta nel modo di combinare tali reazioni: è lo schema di processo a

Tabella 1 - Condizioni e composizione della corrente di alimentazione al processo VESTA

| | |
|------------------------|---------------|
| temperatura | 41 °C |
| pressione | 31,5 barg |
| portata molare | 2745 kg mol/h |
| idrogeno | 32,06 % |
| CO | 38,73% |
| CO ₂ | 20,60 % |
| H ₂ O | 0,29 % |
| metano | 8,21 % |
| azoto | 0,07 % |
| argon | 0,04 % |
| H ₂ S + COS | 0,00 % |

Tabella 2 - Condizioni e composizione dell'SNG prodotto

| | |
|------------------------|---------------|
| temperatura | 41 °C |
| pressione | 23,5 barg |
| portata molare | 7136 kg mol/h |
| idrogeno | 0,36 % |
| CO | 0,00 % |
| CO ₂ | 0,14 % |
| H ₂ O | 0,00 % |
| metano | 99,06 % |
| azoto | 0,28 % |
| argon | 0,16 % |
| H ₂ S + COS | 0,00 % |

rendere competitivo l'impianto. Oltre ai vantaggi già citati, è bene ricordare che l'impianto ha un ingombro spaziale ridotto, le apparecchiature sono facilmente trasportabili su strada, è un impianto facile da operare e le procedure di start-up e shut-down sono semplici e veloci.

L'aspetto però molto importante, che lo rende unico, è l'essere intrinsecamente sicuro: non è possibile che si manifesti runaway. Tutte queste caratteristiche hanno reso molto appetibile la tecnologia proposta da Foster Wheeler, che ha saputo cogliere l'andamento del mercato ed è ora pronta alla commercializzazione del processo.

Per informazioni,

luigi_bressan@fwceu.com

GdL Bonifiche dei siti industriali

Prevenire la contaminazione

La bonifica di siti industriali, che sono prevalentemente di tipo chimico e petrolchimico, richiede l'utilizzo di diverse tecnologie, ciascuna mirata a raggiungere un obiettivo specifico. Una panoramica sullo stato delle bonifiche in Italia porta anche a riflettere sulla necessità di una costante prevenzione della contaminazione.



Foto SRR (Savannah River Remediation)

In questo articolo, che fa seguito ai precedenti lavori pubblicati su ICP di gennaio e ottobre 2011, gli autori intendono allargare il campo di osservazione dalle bonifiche di siti contaminati da idrocarburi, che costituivano il focus dei due precedenti articoli, alle bonifiche in generale, includendo impianti petrolchimici, chimici e industriali.

Aspetti normativi

I siti da bonificare sono in generale zone industriali dismesse, aree in cui l'attività industriale è ancora attiva, porti, ex miniere, cave, discariche non conformi alla legislazione, discariche abusive.

I relativi criteri di gestione e di bonifica sono stati inseriti nel generale riordino della normativa ambientale, in particolare nel D. Lgs. 152/06 Parte Quarta "Norme in materia di gestione dei rifiuti e di bonifica dei siti inquinati". Gli articoli di interesse sono il 196 "Competenze delle Regioni", il 251 "Censimento ed Anagrafe dei siti da bonificare" ed il 252 "Siti di Interesse Nazionale".

L'art.196 del D.Lgs. 152/06 prevede, al comma 1 lettera c), che è di competenza delle Regioni l'elaborazione, l'approvazione e l'aggiornamento dei Piani Regionali per la gestione dei rifiuti e per la bonifica di aree inquinate di propria competenza. Allo stesso comma, lettera h), inoltre viene previsto che è di competenza delle Regioni la redazione di Linee guida e di Criteri per la predisposizione e l'approvazione dei progetti di bonifica e di Messa In Sicurezza d' Emergenza (MISE), nonché l'individuazione delle tipologie di progetti non soggetti ad autorizzazione. Al comma 2 è previsto che, per l'esercizio delle funzioni di cui al comma 1, le Regioni si avvalgono anche delle Agenzie Regionali per la Protezione dell'Ambiente (ARPA).

L'art. 251 prevede che le Regioni predispongono l'Anagrafe dei siti oggetto di bonifica sulla base dei criteri definiti da ISPRA. L'anagrafe



Vista dal mare del Petrochimico di Brindisi

deve contenere le seguenti informazioni: a) elenco dei siti sottoposti a bonifica e ripristino ambientale, b) individuazione dei soggetti cui compete la bonifica, c) Enti pubblici di cui la Regione intende avvalersi, in caso di inadempienza dei soggetti obbligati, ai fini dell'esecuzione d'ufficio della bonifica. L'articolo prevede anche che, qualora all'esito dell'analisi di rischio sito specifica venga accertato il superamento delle concentrazioni di rischio, tale situazione viene riportata nel certificato di destinazione urbanistica

L'art.252 interviene sulla definizione dei Siti di Interesse Nazionale. Viene previsto che all'individuazione di questi si provvede con decreto del Ministro dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare d'intesa con le Regioni interessate, secondo i alcuni principi che caratterizzano la gravità del rischio sanitario e ambientale e l'impatto socio economico causato dall'inquinamento dell'area. La procedura di bonifica dei siti di interesse nazionale è attribuita alla competenza del Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare, sentito il Ministero delle attività produttive. Il Ministero dell'ambiente e della tutela

del territorio e del mare può avvalersi anche dell'ISPRA, delle Agenzie Regionali per la Protezione dell'Ambiente delle Regioni interessate e dell'ISS nonché di altri soggetti qualificati pubblici o privati.

Siti d'Interesse Nazionale (SIN)

La legislazione italiana definisce Siti d'Interesse Nazionale (SIN) quelle aree in cui l'inquinamento di suolo, sottosuolo, acque superficiali e sotterranee è talmente esteso e grave da costituire un serio pericolo per la salute pubblica e per l'ambiente naturale. La gravità della contaminazione in queste zone ha fatto sì che esse venissero prese in carico dallo Stato, con stanziamento di fondi ad hoc per la loro messa in sicurezza e bonifica. In Italia ci sono 57 SIN, perimetrati dal 1998 in poi sulla base di diverse leggi, ultima delle quali il Decreto Legislativo n.152 del 2006. Il totale della superficie interessata equivale a circa il 3% del territorio nazionale.

I Comuni inclusi nei SIN sono oltre 300, con circa 9 milioni di abitanti. Non c'è regione italiana che non abbia nel suo territorio almeno un sito

contaminato. Inoltre bisogna ricordare che oltre ai siti contaminati di interesse nazionale ci sono quelli di interesse regionale, che sono molto più numerosi. Per queste aree la bonifica è di competenza regionale.

Dai contaminanti la relativa tecnologia

Il Rapporto Bonifiche 2010 di Federambiente riporta un'analisi della situazione dei siti sottoposti a bonifica e ripristino ambientale fino a ottobre 2010. Da questo rapporto è possibile estrapolare alcuni dati di particolare interesse per quanto riguarda le caratteristiche della contaminazione e la conseguente tipologia dei trattamenti. Il numero totale di siti identificati come potenzialmente contaminati in Italia risulta essere pari a 12638. Circa il 25% di questi siti risultano avere interventi di bonifica in corso. In molti casi l'intervento di bonifica è fermo allo stadio preliminare della Messa in Sicurezza d'Emergenza (MISE) e della caratterizzazione del sito. Per quanto riguarda la tipologia dei contaminanti, i dati del rapporto Federambiente soltanto parziali e vanno pertanto considerati come dei sondaggi preliminari.

Fatte salve queste necessarie pre-



Foto National Remediation Services, Inc

messe, la grande maggioranza dei casi di contaminazione riportati riguarda idrocarburi e organici volatili, dichiarati in uguale misura come agenti inquinanti. Seguono i metalli pesanti e gli inorganici, pure dichiarati in maniera significativamente elevata. Fitofarmaci e amianto sono dichiarati in un numero inferiore di casi. Questo potrebbe indicare che le tecnologie di bonifica di maggiore interesse applicativo sono quelle che riguardano gli idrocarburi, gli organici volatili (aromatici, benzene, xilene, etilene, toluene, diossine, etc.) e i metalli pesanti. Da altre fonti risulta anche che gli IPA (Idrocarburi Policiclici Aromatici) rappresentano una delle cause più frequenti di contaminazione.

Dal rapporto Federambiente 2010 è anche possibile estrapolare quali sono le matrici ambientali (suolo, sottosuolo, acque superficiali, acque sotterranee) da bonificare. Anche questi dati sono soltanto parziali, rappresentando soltanto l'11% del numero totale di siti censiti. In ogni caso è possibile dedurre che è riscontrata una prevalenza di contaminazione simultanea di suolo, sottosuolo e acque profonde, anche se non è trascurabile l'incidenza dei casi in cui

risulta contaminato il solo acquifero. Questa prevalenza di contaminazioni multiple conferma che gli interventi di bonifica dei siti contaminati sono normalmente molto complessi e richiedono spesso di operare su tutte le matrici ambientali.

Principi generali della bonifica

L'analisi del livello residuo di contaminazione dell'area passa attraverso l'esecuzione di campionamenti ed analisi chimiche per ottenere una mappatura accurata delle concentrazioni di sostanze contaminanti a livello superficiale e sotterraneo, da confrontare con i limiti stabiliti dalla normativa di riferimento.

Questo processo di campionamento può risultare molto oneroso, specialmente per siti industriali di grandi dimensioni. Questo comunque è un primo passo di importanza fondamentale per la diagnosi sul livello di contaminazione, che guida i processi decisionali circa l'entità dell'intervento necessario e le tecnologie di bonifica più opportune. Un aspetto importante da considerare è l'eventuale presenza di amianto, per molti anni utilizzato come materiale di co-

struzione negli edifici industriali e per la fabbricazione di tettoie, guarnizioni, coibentazioni e fognature.

In base ai risultati delle analisi e della mappatura dei contaminanti è possibile stabilire quale tipo di trattamento sia più idoneo per riportare la contaminazione del terreno al di sotto dei valori ammessi dalla normativa. Fin dove è possibile si cerca di utilizzare trattamenti in-situ, che hanno una complessità e un costo notevolmente inferiori. Se necessario, si possono fare trattamenti ex-situ, che comportano il trasferimento del terreno in un'altra area, dedicata alla bonifica. Inoltre i procedimenti di bonifica possono essere di tipo non biologico oppure di tipo biologico (bioremediation). I trattamenti non biologici basano su sistemi fisici in grado di separare il contaminante dalla matrice solida o liquida, oppure su reazioni chimiche, generalmente di tipo redox, che trasformano gli inquinanti in composti meno tossici e meno mobili.

Le tecnologie di bonifica biologica invece utilizzano microrganismi per degradare i contaminanti presenti nei suoli, nei sedimenti e nelle acque. I trattamenti biologici possono

sfruttare i microrganismi già presenti nella matrice inquinata (bioenhancement), oppure utilizzare l'inoculazione di una popolazione batterica con specifiche proprietà fermentative (bioaugmentation). Il principio chimico della bioremediation consiste nell'induzione di una successione di reazioni complesse di tipo ossidativo che provocano la demolizione progressiva delle molecole inquinanti e si concludono con la liberazione di anidride carbonica e acqua.

Tecnologie di bonifica

Senza entrare nel dettaglio di tutti i possibili trattamenti, elenchiamo nel seguito alcuni dei procedimenti di bonifica più utilizzati. Per motivi di brevità sono stati volutamente omessi gli interventi di Messa in Sicurezza d'Emergenza (MISE) costituiti da barriere fisiche, sebbene questi costituiscano una importante fase preliminare dell'intervento di bonifica. È I trattamenti sono elencati in ordine crescente di complessità e costo.

A) Trattamenti del suolo contaminato

- Bioventing. È una tecnologia operante in situ che stimola l'azione degradativa dei microrganismi già presenti nel suolo contaminato fornendo loro ossigeno e, se necessario, nutrienti minerali. L'ossigeno è normalmente fornito attraverso lance infisse nel suolo, mentre i nutrienti vengono immessi nel terreno attraverso percolazione dalla superficie delle soluzioni che li contengono.
- Soil Vapor Extraction. La rimozione degli inquinanti viene realizzata in situ con un flusso forzato di aria indotto da una serie di pozzi tenuti sottovuoto. La frazione volatile dei contaminanti si trasferisce nella fase vapore, che viene poi estratto e inviato ad un impianto di trattamento.
- Phytoremediation. Consiste nell'impianto sui terreni contaminati di specie vegetali in grado di bonifi-

care il terreno in-situ. La phytoremediation fa leva sulla capacità naturale di alcune piante di accumulare biologicamente o degradare i contaminanti contenuti in terreni e falde acquifere. Laddove utilizzabile la phytoremediation rappresenta una tecnologia pulita, di basso costo e non invasiva da un punto di vista ambientale.

- **Stabilizzazione.** Nella stabilizzazione si provocano reazioni chimiche in situ che trasformano l'inquinante in una specie meno mobile o meno pericolosa. In questa tipologia di trattamento si può far rientrare anche l'ossidazione chimica ISCO (In Site Chemical Oxidation) particolarmente usata per la bonifica di terreni e falde inquinati da IPA e organici clorurati.
- **Ossidazione Elettrochimica (ECRT).** Consiste nell'applicazione in situ di una basso valore di corrente continua al terreno attraverso elettrodi (grafite, acciaio) in modo da produrre reazioni redox che consentono la decomposizione degli organici e la mobilizzazione elettrolitica dei metalli.
- **Landfarming.** È un trattamento a cielo aperto che consiste nello spargere il materiale contaminato su una superficie non permeabile, assicurando inoltre la presenza di componenti nutrizionali (fertilizzanti, fosforo) e il ripetuto mescolamento del materiale mediante macchine agricole.
- **Biopile.** Si basano su principi di bonifica analoghi al landfarming, con la differenza che l'ossigenazione del terreno e l'apporto di nutrienti avvengono per mezzo di tubi di alimentazione e non tramite mescolamento meccanico. Nella biopila strati di suolo vengono sovrapposti alternandoli con tubi forati di alimentazione di aria e nutrienti, fino a formare cumuli di altezza compresa fra 1 e 3 metri. La biopila può essere coperta da teli impermeabili con adeguate aperture per l'estrazione dei va-

pori, che possono essere inviati a trattamento.

- **Soil washing.** È un procedimento di bonifica che utilizza acqua, con l'eventuale aggiunta di additivi, e processi meccanici per rimuovere gli inquinanti dal suolo contaminato. Per aumentare l'efficienza del lavaggio è anche possibile utilizzare solventi. In questo caso il processo di lavaggio diventa un'estrazione con solventi.
- **Desorbimento termico / Incenerimento.** Nei trattamenti termici il materiale inquinato viene inviato a un forno rotante, oppure ad una coclea riscaldata. Nel desorbimento a bassa temperatura il suolo bonificato conserva in una certa misura la propria struttura chimico/fisica. L'incenerimento invece si produce in bruciatori che operano a temperature molto elevate, provocando la completa ossidazione di tutti i componenti organici del terreno.

B) Trattamenti dell'acquifero contaminato

- **Air sparging/Biosparging.** Per il

trattamento in-situ della falda contaminata si utilizza l'air sparging, in cui viene fatta gorgogliare dell'aria attraverso la zona satura della falda, provocando la volatilizzazione e il desorbimento dei composti organici volatili. Il biosparging è una tecnologia operativamente analoga all'air sparging, in cui si accelera l'azione degradativa della flora microbica autoctona mediante l'immissione diretta di aria e di adatti nutrienti nella zona da decontaminare. L'air sparging può anche essere accoppiato a soil vapor extraction (SVE).

- **Pump & Treat.** Nei casi in cui il trattamento della falda idrica in-situ non possa raggiungere i livelli di efficienza richiesti si può procedere all'emungimento di tutto il flusso idrico con pompe idrovore opportunamente posizionate in a valle della direzione di flusso, in modo da formare una barriera idraulica. L'acqua contaminata viene poi inviata ad un impianto di trattamento. Il Pump & Treat è anche uno dei trattamenti più frequenti di

messa in sicurezza d'emergenza della falda acquifera.

- **Barriera reattiva permeabile (PRB).** Consiste nello scavo di una trincea a valle della direzione di flusso della falda contaminata, che viene poi riempita con un materiale reattivo. Il flusso di falda porta l'acqua contaminata a transitare attraverso la barriera, nella quale avvengono le reazioni che riducono la concentrazione degli inquinanti. La scelta del materiale reattivo (ferro zerovalente, leghe bimetalliche, zeoliti, carboni attivi, carbonati / idrossidi di calcio, torba) dipende dal tipo di contaminazione presente nell'acqua di falda.
- **Nanoremediation.** È un particolare metodo di bonifica in-situ della falda acquifera contaminata attraverso l'iniezione di nanoparticelle reattive per la trasformazione degli inquinanti. Le nanoparticelle più utilizzate sono a base di ferro zerovalente (nZVI), caratterizzate da un'enorme superficie di contatto e da un'alta velocità di reazione, eventualmente in combinazione



Foto WCES



Distribuzione regionale dei siti di interesse Nazionale SIN (fonte: Rapporto Bonifiche 2010 di Federambiente)



con catalizzatori. Il rischio potenziale delle nano particelle è la loro capacità di attraversare le membrane cellulari degli organismi e di interagire con i sistemi biologici, con conseguenze che sono ancora in fase di studio.

Costi di bonifica dei siti petrolchimici

Da quanto illustrato si deduce che bonifica dei siti petrolchimici dismessi è un'attività complessa e di conseguenza molto onerosa. I costi da sostenere possono variare in un range minimo da 700-800 M euro/ettaro fino a superare i 2 MM di euro/ettaro per i casi di maggiore complessità. L'estrema variabilità dei costi dipende dal fatto che diversi fattori concorrono a formare il costo totale dell'intervento di bonifica: stato iniziale, tipologia di intervento (in situ/ex situ), tecnologie utilizzate, destinazione d'uso finale dell'area. Ciascuna tecnologia di bonifica comporta livelli differenti di costo e di efficienza della decontaminazione. Ovviamente i trattamenti ex situ che richiedono l'allestimento di processi dedicati ad alta energia (trattamenti termici, estrazione con solventi) hanno il costo più elevato, che può essere bilanciato da un'efficienza elevata della decontaminazione (prossima al 100%) e da minore utilizzo di tempo e spazio. Viceversa i trattamenti di bioremediation (bioventing, biosparging) tipicamente richiedono tempi molto più lunghi e garantiscono minori efficienze di decontaminazione.

Prevenire la contaminazione

Avendo parlato delle metodologie di bonifica è anche importante sottolineare che lo sviluppo di una cultura sempre più orientata alla prevenzione è importante in considerazione del rischio potenziale e dei costi elevati da sostenere per gli interventi di bonifica di aree contaminate.

La prevenzione della contaminazione passa attraverso alcune scelte

fondamentali: a) gestione corretta degli effluenti dal processo industriale, b) progettazione degli impianti orientata alla prevenzione e c) manutenzione preventiva. Per tutti questi aspetti i criteri di base sono relativamente semplici, salvo per il fatto che la loro applicazione può comportare un significativo impegno economico e quindi presuppone una leadership progettuale e gestionale orientata alla prevenzione. Per quanto riguarda la gestione degli effluenti, è noto che molti casi di contaminazione gravissima si sono verificati per la gestione non corretta e il conseguente accumulo dei residui di lavorazione, reflui e fanghi industriali, con sistemi di stoccaggio non idonei e sversamento in aree non impermeabilizzate. Sulla parte progettuale, per motivi di brevità, ci si limita all'esempio dei bacini di contenimento dei serbatoi potenzialmente soggetti a perdite di liquido contaminante. In questo caso un definitivo aumento dei margini di sicurezza si può ottenere con l'installazione di serbatoi a doppio fondo. Inoltre tutta la pavimentazione del bacino ed il lay out dei collettori di fogna devono assicurare l'effettivo contenimento dei potenziali agenti inquinanti. Il terzo elemento chiave nel controllo della contaminazione è la manutenzione preventiva, che può fare uso delle diverse tecnologie disponibili per la verifica dell'integrità di serbatoi e tubazioni (raggi X, telecamere robotizzate, etc.). Infine, tra gli esempi di manutenzione preventiva è opportuno citare anche il rilevamento delle perdite in condotte a pressione e oleodotti, che possono essere evidenziate monitorando l'evoluzione della pressione in condizioni di flusso fermo. Tutti questi esempi richiamano l'attenzione sugli aspetti di progettazione e di gestione dei siti industriali che dovrebbero essere sempre basati su solidi criteri di sicurezza e garanzia di qualità, possibilmente corroborati da una certificazione ambientale di tipo EMAS. ■

Iscrizione ad AIDIC per il 2012

Anche per quest'anno si sono aperte le iscrizioni ad AIDIC per l'anno solare 2012. L'iscrizione ad AIDIC non è aperta esclusivamente agli ingegneri chimici, ma a tutti gli interessati alla diffusione ed allo sviluppo del settore dell'ingegneria chimica in senso lato. Tra gli Associati si annoverano infatti: studenti, tecnici, manager, docenti e consulenti. AIDIC offre ad ogni suo Associato numerosi strumenti che gli consentono:

- di tenersi aggiornato sulla situazione delle attività industriali del settore chimico,
- di entrare in un circuito di formazione permanente, grazie ai corsi, ai convegni e alle manifestazioni che l'Associazione organizza e segnala,
- di entrare in un circuito di contatti tecnico-scientifici a livello italiano ed europeo.

Ogni Associato ha diritto alla tessera annuale AIDIC comprendente EFCE-passport che dà la possibilità di essere equiparati a tutti i soci delle altre associazioni europee federate nell'EFCE per gli sconti e le facilitazioni nella partecipazione a manifestazioni organizzate in Europa e nel mondo; all'abbonamento per un anno al

mensile ICP – Rivista dell'Industria Chimica e al periodico AIDICnews; all'accesso gratuito alla consulenza presso gli Sportelli AIDIC e al ritiro di persona di un volume omaggio a scelta tra i seguenti:

- "Handbook Of Chemistry and Physics" - Edizione 2008 CRC
- "Hydrogen from Waste and CO₂ Sequestration" di M. Tellini
- "Valutazione di impatto odorigeno" di P. Centola et. alt.
- "Guida al dimensionamento delle valvole di sicurezza" di G. Mulè
- "Value of Innovation" di A.F. Marsala et al.
- "Prontuario dell'Ingegnere" di A. Guadagni
- "L'era del Petrolio" di L. Mauger
- "Profilo storico dell'Industria Chimica" di G. Pagano
- "La Simulazione Dinamica di Processo" di S. Signor et al.
- "L'Analisi dei Rischi" di N. Piccinini e. al.
- "Fasi della Realizzazione" di G. Zerboni
- "Sicurezza nella Realizzazione" di G. Zerboni

Per iscriversi all'AIDIC basta scegliere dove depositare la domanda di iscrizione, compilare il modulo e versare la quota annuale che anche per quest'anno è stata fissata in € 90.

Iscrizioni biennali 2012/2013

Per il 2012 è stata istituita, per gli Associati "Persone Fisiche", l'iscrizione ad AIDIC Biennale 2012-2013. Dietro versamento di una quota unica di € 180 l'Associato biennale riceve per il 2012 la Tessera, le Pubblicazioni sociali (ICP, AIDICnews) e può ritirare il volume "Handbook of Chemical Engineering" Perry - ultima ediz. McGraw-Hill, mentre per il 2013 riceverà soltanto la Tessera e le Pubblicazioni sociali. Per gli studenti la quota unica biennale scontata è di €120 (anzichè € 180).

Ricordiamo inoltre che con il mese di aprile 2012 decadrà la posizione di Associato per gli iscritti del 2011. Verrà quindi sospeso l'invio delle pubblicazioni a chi, entro marzo, non avrà rinnovato l'iscrizione per il 2012.

Per informazioni:

www.aidic.it/italiano/iscrizioni/iscrizioneaidic.htm

Nasce il portale AIDICPedia

Sta nascendo in questi giorni AIDICPedia, iniziativa finanziata e promossa da AIDIC con scopo di realizzare un sito sulle tecnologie chimiche in continua evoluzione, con il coinvolgimento dei Professori Universitari, dei Professionisti e delle Società che operano nel campo dell'Ingegneria Chimica.

Obiettivo del nuovo GdL è quello di costituire un portale di alto livello scientifico e applicativo, elaborato col supporto di Accademici, società di ingegneria, produttori di equipment e professionisti di settore. Il GdL produrrà la documentazione da inserire nel sito, valutandone anche la qualità dei contenuti.

AIDICPedia offre uno strumento agli operatori del settore per comunicare le loro idee e realizzazioni, per coinvolgere i Soci e i rappresentanti scientifici di AIDIC nell'attività dell'Associazione e per rendere disponibili agli studenti di ingegneria quanto sviluppato dai professionisti senior e dalle aziende. In questo ultimo senso si pensa che AIDICPedia possa rendere disponibili le esperienze del passato coprendo in modo utile per il futuro un eventuale gap generazionale. In via sperimentale è stato costituito un gruppo di lavoro che ha operato in modo autonomo con il contributo di alcuni professionisti volenterosi e con il titolo di

Process Engineering Manual (PEM).

Questo sito costruirà la base di AIDICPedia, che non vuole emulare quello più noto di Wikipedia e che non si sostituisce a quanto è possibile recuperare sul web, ma che si propone di stabilire una piattaforma di dialogo fra quanti partecipano o vogliono dare il loro contributo alle iniziative di AIDIC.

Il successo del Process Engineering Manual (www.processengineeringmanual.it), che ha raccolto i contributi resi disponibili dall'Ing. Ciampitti e da vari altri tecnici e aziende e ha coinvolto ormai migliaia di visitatori, ha spinto AIDIC a sponsorizzare l'iniziativa con il suo nome e con il contributo dei responsabili delle sue Divisioni scientifiche e dei Gruppi di Lavoro. Va da sé che la lista finale dei contenuti scientifici dovrebbe comprendere tutte le tematiche presenti nelle Divisioni e Gruppi di Lavoro di AIDIC e di conseguenza dei Working Parties di EFCE (European Federation of Chemical Engineering) rappresentata da AIDIC per quanto riguarda l'Italia. La parte scientifica dovrebbe essere bilanciata dai contributi delle società che operano nella realtà industriale del nostro Paese. Le pubblicazioni accettate per l'inserimento nel sito riporteranno il nome dell'autore ed un suo curriculum.

Inoltre, chi si iscrive ad AIDIC riceverà, se lo desidera, una chiavetta USB che contiene tutti i contenuti del Process Engineering Manual. Tali contenuti saranno poi aggiornati con cadenza annuale.

Alcuni componenti del GdL AIDICPedia

Ing. Luigi Ciampitti, coordinamento e processo
Ing. Gianni Donati, ricerca applicata
Ing. Giovanni Pieri, ricerca e innovazione
Ing. Fabrizio Logli, processo
Ing. Cesare Marchetti, processo
Ing. Lorenzo Centemeri, macchine
Ing. Paolo Falchi, strumentazione
Ing. Emanuele Malfatti, processo e anticorrosione
Dott. Carlo Farina, anticorrosione
Ing. Francesco Masu, metodi di calcolo
Ing. Renato Paludetto, processo e software
Dott. Roberto Paron, software house
Ing. Giorgio Repetti, metodi di calcolo
Ing. Alberto Calloni, webmaster

Per informazioni, contattare Luigi Ciampitti all'indirizzo luigi.ciampitti@fastwebnet.it

Calendario congressi AIDIC del 2012

3 - 6 giugno 2012, Milano
CISAP5
5th International Conference
on Safety and Environment
in Process Industry
www.aidic.it/cisap5
 email: cisap5@aidic.it

24 - 27 giugno 2012, Palermo
IBIC2012
3rd International Conference
on Industrial Biotechnology
www.aidic.it/ibic2012
 email: ibic2012@aidic.it

11 - 14 settembre 2012, Roma
BOSICON
3rd International Conference
on Polluted Sites Remediation
www.aidic.it/bosicon
 email: bosicon@aidic.it

23 - 26 settembre 2012, Palermo
NOSE2012
3rd International Conference
on Environmental Odour
Monitoring & Control
www.aidic.it/nose2012
 email: nose2012@aidic.it

Gruppi di lavoro di AIDIC

| | | |
|--|-----------------------------|--|
| Biotechnologie tradizionali ed avanzate | Ing. Enrico Bardone | enricobardone@yahoo.com |
| Bonifiche dei siti industriali | Ing. Oreste Mastrantonio | o.mastro@libero.it |
| Carbon Capture and Storage (CCS) | Ing. Ezio Nicola D'Addario | ezio.daddario@libero.it |
| CISAP | Ing. Simberto Senni Buratti | simbertosenniburatti@ymail.com |
| Nanotecnologie Chimiche | Prof. Ing. Angelo Chianese | angelo.chianese@uniroma.it |
| Process Engineers Manual e AIDICPedia | Ing Luigi Ciampitti | Luigi.Ciampitti@fastwebnet.it |
| Pubblicazione "Collocazione ingegneri chimici sul mercato del lavoro" | Ing. Angelo Chianese | angelo.chianese@uniroma1.it |
| Recupero e valorizzazione dei residui industriali | Prof. Paolo Centola | paolo.centola@polimi.it |

Trimestrale dell'Associazione Italiana di Ingegneria Chimica

AIDIC news

è una pubblicazione di
AIDICservizi s.r.l.
 via G. Colombo, 81/A
 20133 Milano
 tel. +39 02 70608276
 fax. +39 02 59610042

Registrazione presso il Tribunale
 di Milano n. 300 del 4 maggio 1996

DIRETTORE RESPONSABILE
Sauro Pierucci

COMITATO DI REDAZIONE
Alessandro Gobbi
 (coordinamento editoriale)
Raffaella Damerio
Renato Del Rosso
Manuela Licciardello

STAMPA
Tipolitografia Trabella s.r.l.
 via Liberazione, 65/7
 20068 Peschiera Borromeo (MI)

Gli indirizzi di AIDIC sono
aidic@aidic.it e www.aidic.it

È consentita la riproduzione di parte o di tutti gli articoli di AIDICnews a condizione che ne venga citata la fonte.