



I rifiuti rappresentano una delle caratteristiche tipiche della società contemporanea. L'aumento della popolazione e dei consumi ha prodotto una crescita esponenziale dei rifiuti che sono diventati uno dei problemi prioritari da risolvere nel perseguimento di uno sviluppo sostenibile. L'Unione Europea già nel 1975, con la direttiva-quadro 75/442/CEE, aveva gettato le basi per una gestione sostenibile dei rifiuti. Tale politica era stata poi aggiornata nel 1991 e, più di recente, con la direttiva-quadro 2008/98/CE, che ha posto l'accento innanzitutto sulla prevenzione e, in seconda istanza, sul riuso e il riciclaggio, individuando nella discarica l'opzione residuale.

Un ruolo fondamentale nella gestione dei rifiuti è rappresentato dalla tecnologia, sia quella relativa al controllo e gestione del sistema e del territorio, sia quella relativa ai cicli di gestione dei vari tipi di rifiuti. In questo campo l'ENEA è impegnata da molti anni, così come altri soggetti pubblici, in attività di ricerca applicata, sviluppata presso i propri centri.

In questo numero della rivista presentiamo diversi contributi sul tema dei rifiuti, affrontato dal punto di vista delle politiche europee e nazionali e da quello delle tecnologie. Poiché gli aspetti in gioco sono molteplici, continueremo ad occuparcene anche nel prossimo numero.

Un quadro generale delle strategie politiche europee e nazionali e dello sviluppo tecnologico nel settore dei rifiuti, in particolare in Italia, è fornito dall'articolo di apertura di Barni e Coronidi. Il fulcro di una strategia ambientale sostenibile, in tema di rifiuti, sostengono gli autori, consiste nella prevenzione e nell'adeguamento dei sistemi territoriali.

Nel secondo articolo, ENEA e Federambiente presentano i risultati dell'indagine relativa agli aspetti tecnici degli impianti di trattamento dei rifiuti, con recupero di materia ed energia, contenuti nel rapporto presentato nel maggio scorso. Ne emerge uno sviluppo adeguato, in linea con gli standard tecnologici europei, ma con notevoli ombre per quanto riguarda il Mezzogiorno.

De Stefanis affronta la formula dell'efficienza energetica per l'incenerimento. Si tratta di una novità della Direttiva 2008/98/CE, che consente di considerare l'esercizio degli impianti di incenerimento di rifiuti come recupero e non smaltimento, se le efficienze di recupero sono superiori a dei livelli minimi definiti.

Per quanto riguarda i rifiuti urbani, gli obiettivi delle norme nazionali prevedono una quota di raccolta differenziata pari al 65% entro il 2012, a fronte di una quota nazionale attuale pari al 36,6%, con un 45,5% al Nord, il 22,9% al Centro e il 14,7% nel Sud. Il raggiungimento degli obiettivi comporta la realizzazione di un sistema integrato basato su impianti tecnologicamente avanzati, le cui caratteristiche sono illustrate nell'articolo di Laboni e Landolfi.

La definizione di politiche adeguate di gestione dei rifiuti deve tener conto dell'evoluzione della loro produzione, di cui non è facile tracciare linee certe in quanto dipendente da fattori quali l'andamento demografico ed economico e l'evoluzione della normativa. La costruzione di scenari relativi alla tipologia di rifiuti e all'offerta impiantistica rappresenta tuttavia un esercizio obbligatorio se si vogliono effettuare scelte basate su analisi scientifiche valide. Nell'articolo di Musumeci tale analisi è applicata allo studio delle prospettive della produzione e della gestione dei rifiuti in Italia.

Il problema del fumo è in genere affrontato dal punto di vista dei danni che arreca alla salute. Molto meno conosciuto è l'aspetto relativo all'inquinamento indoor, agli incendi boschivi, agli incidenti stradali, e soprattutto all'impatto ambientale provocato dalle cicche di sigarette. Tre articoli di Lombardi, Di Cicco, Mangiaracina e Zagà, approfondiscono questi aspetti. Il primo fornisce un quadro degli effetti collaterali sanitari e sociali. Nel secondo viene affrontata la questione del fumo nei luoghi di lavoro e si suggeriscono proposte per una vantaggiosa politica aziendale sul fumo. Nel terzo articolo, infine, viene trattato il problema dell'impatto ambientale dei 72 miliardi di cicche che ogni anno in Italia vengono abbandonate nell'ambiente e che rappresentano dei rifiuti pericolosi, che occorre classificare come tali.

Chiudono questo numero la seconda parte dell'articolo sulle tecnologie veicolari del futuro di Di Mario, Mattucci e Ronchetti e uno studio sulle potenzialità autodepurative di una zona umida costiera di Pietrelli, Del Piano, Farabegoli e Battisti.

Il Direttore Responsabile
Flavio Giovanni Conti

primo piano

6

VERSO UNA GESTIONE SOSTENIBILE DEI RIFIUTI

HEADING TOWARDS A SUSTAINABLE WASTE MANAGEMENT

Ermanno Barni, Maurizio Coronidi

11

LE TECNICHE DI TRATTAMENTO DEI RIFIUTI URBANI IN ITALIA

MUNICIPAL SOLID WASTE TREATMENT TECHNIQUES IN ITALY

Pasquale De Stefanis, Farnoosh Farmand Ashtiani, Lorenzo M. Cafiero, Roberto Caggiano, Valentina Cipriano, Vito Iaboni, Riccardo Viselli

16

LA FORMULA DELL'EFFICIENZA ENERGETICA PER L'INCENERIMENTO

THE ENERGY EFFICIENCY FORMULA FOR MUNICIPAL SOLID WASTE INCINERATION

Pasquale De Stefanis

24

SCENARIO DI UN SISTEMA INTEGRATO DI GESTIONE DEI RIFIUTI URBANI CON LA RACCOLTA DIFFERENZIATA AL 65%

A SCENARIO OF AN INTEGRATED MUNICIPAL SOLID WASTE MANAGEMENT WITH A 65% SEPARATE COLLECTION

Vito Iaboni, Pier Giorgio Landolfo

32

I RIFIUTI NEL FUTURO

THE FUTURE OF MUNICIPAL SOLID WASTE

Fabio Musmeci

riflettore su

42

L'ALTRA FACCIA DEL TABAGISMO

THE OTHER SIDE OF TABAGISM

Carmine Ciro Lombardi, Giuliana Di Cicco, Giacomo Mangiaracina

segue **riflettore su**

49

IL FUMO NEI LUOGHI DI LAVORO: PROBLEMI E PROPOSTE PER UNA CORRETTA POLITICA AZIENDALE

SMOKE IN WORKPLACES: PROBLEMS AND PROPOSALS FOR A CORRECT COMPANY POLICY

Carmine Ciro Lombardi, Giuliana Di Cicco, Giacomo Mangiaracina

59

IMPATTO AMBIENTALE DELLE CICCHE DI SIGARETTA

THE ENVIRONMENTAL IMPACT OF CIGARETTE STUBS

Carmine Ciro Lombardi, Giuliana Di Cicco, Vincenzo Zagà

70

LE POSSIBILI TECNOLOGIE VEICOLARI DEL FUTURO: ANALISI DELLE PROSPETTIVE DELLE OPZIONI PIÙ INTERESSANTI

POSSIBLE FUTURE VEHICLE TECHNOLOGIES: PROSPECTS OF THE MOST INTERESTING PROPULSION OPTIONS

Francesco Di Mario, Antonio Mattucci, Marina Ronchetti

studi & ricerche

84

POTENZIALITÀ AUTODEPURATIVE DI UNA ZONA UMIDA COSTIERA E IPOTESI DI TRATTAMENTO TERZIARIO DEI REFLUI CIVILI

COASTAL WETLAND AS TERTIARY TREATMENT OF WASTEWATER

Loris Pietrelli, Giorgia Del Piano, Geneve Farabegoli, Corrado Battisti

cronache

94

DAL MONDO, DALL'ENEA, EVENTI

- dal Mondo
 - Energia da rifiuti organici: un mercato ad alto potenziale **94**
 - Fotovoltaico a concentrazione più economico. Studio californiano **94**
- dall'ENEA
 - L'ENEA alla Conferenza internazionale sulle fonti rinnovabili in Giappone **95**
 - Nuove idee per l'adeguamento sismico degli edifici storici **95**
- Eventi
 - *Fratello Sole Madre Terra*: energie rinnovabili, ambiente ed ecosistema **96**
 - Terzo convegno della Rete Italiana sulla metodologia di analisi LCA **96**

Bimestrale dell'ENEA
Anno 56, luglio-agosto 2010

Il contenuto degli articoli pubblicati è di esclusiva responsabilità degli autori.
La riproduzione di articoli o parte di essi deve essere autorizzata dall'ENEA.

Direttore responsabile
Flavio Giovanni Conti

Comitato tecnico-scientifico
Osvaldo Aronica, Paola Batistoni, Vincenzo Di Majo, Stefano Giammartini, Massimo Maffucci, Emilio Santoro

Responsabile editoriale
Diana Savelli

Coordinamento redazionale
Paola Molinas
ENEA – Lungotevere Thaon di Revel, 76 – 00196 Roma
Tel. 06-36272907 – e-mail: paola.molinas@enea.it

Collaboratori
Giuliano Ghisu

Promozione
Paola Crocianielli

Traduzioni
Carla Costigliola

Progetto grafico
Bruno Giovannetti



Lo staff della rivista

Da sinistra: Stefano Giammartini, Paola Molinas, Osvaldo Aronica, Paola Crocianielli, Massimo Maffucci, Giuliano Ghisu, Vincenzo Di Majo, Diana Savelli, Flavio Giovanni Conti, Paola Batistoni, Emilio Santoro, Bruno Giovannetti (foto di Roberta Francescone)

In copertina

Discarica di Montichiari (foto di Aprica SpA)

Stampa

Fabiano Group srl - Regione San Giovanni, 40 - 14053 Canelli (AT)

Registrazione

Tribunale Civile di Roma - Numero 148 del 19 aprile 2010 del Registro Stampa

Pubblicità

Fabiano Group srl - Regione San Giovanni, 40 - 14053 Canelli (AT)
Tel. 0141 827802 - Fax 0141 827830 - e-mail: info@fabianogroup.com

Abbonamento annuale

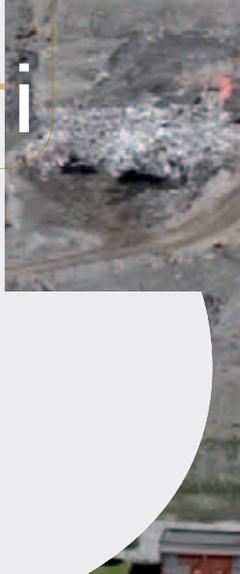
Italia € 21,00 + € 8,00 (spese di spedizione), Estero € 21,00 + € 15,00 (spese di spedizione);
una copia € 4,20 - C.C.P. n. 12439121 intestato a Fabiano Group srl
Tel. 0141 8278234 - Fax 0141 8278300 - e-mail: ordini@fabianogroup.com

Finito di stampare nel mese di agosto 2010

www.enea.it



Prodotto realizzato impiegando carta Symbol Freelifce certificata FSC



Ermanno Barni
ENEA, Unità Tecnica Tecnologie Ambientali

pag. 6



Corrado Battisti
Provincia di Roma, Uff. Conservazione Natura

pag. 84



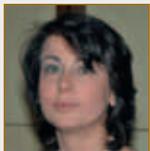
Lorenzo M. Cafiero
ENEA, Unità Tecnica Tecnologie Ambientali

pag. 11



Roberto Caggiano
Federambiente

pag. 11



Valentina Cipriano
Federambiente

pag. 11



Maurizio Coronidi
ENEA, Unità Tecnica Tecnologie Ambientali

pag. 6



Giorgia Del Piano
Provincia di Roma, Uff. Conservazione Natura

pag. 84



Pasquale De Stefanis
ENEA, Unità Tecnica Tecnologie Ambientali

pag. 11, 16



Giuliana Di Cicco
ENEA, Centro Ricerche Casaccia

pag. 42, 49, 59



Francesco Di Mario
ENEA, Unità Tecnica Fonti Rinnovabili

pag. 70



Vito Iaboni
ENEA, Unità Tecnica Tecnologie Ambientali

pag. 11, 24



Pier Giorgio Landolfo
ENEA, Unità Tecnica Tecnologie Ambientali

pag. 24



Carmine Cirio Lombardi
ENEA, Unità Tecnica Biologia delle Radiazioni e Salute dell'Uomo

pag. 42, 49, 59



Giacomo Mangiaracina
Università di Roma La Sapienza,
Dipartimento di Scienze di Sanità Pubblica
e Società Italiana di Tabaccologia (SITAB)

pag. 42, 49



Antonio Mattucci
ENEA, Unità Tecnica Fonti Rinnovabili

pag. 70



Fabio Musmeci
ENEA, Unità Tecnica Tecnologie Ambientali

pag. 32



Loris Pietrelli
ENEA, Unità Tecnica Tecnologie Ambientali

pag. 84



Marina Ronchetti
ENEA, Unità di Progetto Ricerca di Sistema Elettrico

pag. 70



Riccardo Viselli
Federambiente

pag. 11



Vincenzo Zagà
U.O. Pneumotisiologia Territoriale,
Dip. Medico dell'AUSL Bologna

pag. 59

Verso una gestione sostenibile dei rifiuti

Ermanno Barni
Maurizio Coronidi

ENEA, Unità Tecnica Tecnologie Ambientali

La gestione dei rifiuti riveste un ruolo importante nella definizione di una strategia ambientale sostenibile, che si traduce sostanzialmente in un impegno alla prevenzione e all'adeguamento dei relativi sistemi territoriali. In questo ambito, l'ENEA è impegnata sia nelle valutazioni di ciclo e di sistema che nelle attività di ricerca e sviluppo di processi e tecnologie per il riciclaggio ed il recupero dei rifiuti

Heading Towards a Sustainable Waste Management

Waste management plays a significant role in the definition of a sustainable environmental strategy, that definitely means a commitment to prevent waste production and to align the waste management systems with the territory needs.

ENEA is strongly involved in the institutional support relevant to cycles and systems assessment and in research and development of processes and technologies for waste recycling and recovery

Il quadro strategico

La gestione dei rifiuti riveste un importante ruolo nella definizione di una strategia ambientale sostenibile. I modelli di gestione integrata dei rifiuti si pongono come obiettivo non solo la prevenzione e la riduzione dell'impatto ambientale connesso al ciclo di gestione, ma anche il miglioramento complessivo del sistema "uomo-ambiente" ed un uso più sostenibile delle risorse. La riduzione della produzione dei rifiuti e della loro pericolosità costituisce un elemento fondamentale di una politica di produzione e consumo sostenibili, ma urgono in ogni caso azioni che incoraggino il riciclaggio e il recupero dei rifiuti.

La gestione dei rifiuti, al pari di altre grandi tematiche legate allo sviluppo sostenibile, si è infatti venuta configurando, essenzialmente a valle dalla Conferenza di Rio del '92, come un problema di dimensioni planetarie che i singoli paesi sono chiamati ad affrontare, a partire da una corretta gestione a livello territoriale locale, nel quadro delle proprie specificità economiche, strutturali, sociali ed ambientali.

È da queste considerazioni che l'Unione Europea ha sviluppato, nell'ambito del Sesto Programma comunitario d'Azione in materia di Ambiente, la linea di azione inerente all'uso sostenibile delle risorse naturali e alla gestione dei rifiuti. L'obiettivo generale di tale linea d'azione è di evitare che il consumo delle risorse, rinnovabili e non, travalichi la capacità di carico dell'ambiente, e di ottenere il disaccoppiamento dell'uso delle risorse dalla crescita economica mediante un significativo miglioramento dell'efficienza di utilizzo delle risorse stesse.

La Strategia tematica sulla prevenzione e il riciclaggio dei rifiuti, una delle sette strategie tematiche previste dal Sesto Programma d'Azione, stabilisce gli orientamenti dell'azione dell'Unione Europea e descrive le misure prioritarie per migliorare la gestione dei rifiuti. La Stra-

tegia tematica è volta alla riduzione degli impatti ambientali negativi generati dai rifiuti, dalla produzione fino allo smaltimento, passando per il riciclaggio. Tale approccio considera i rifiuti non solo come una fonte d'inquinamento da ridurre, ma anche come una potenziale risorsa da sfruttare.

In ambito europeo le "linee guida" per una gestione sostenibile dei rifiuti, tracciate dalla direttiva-quadro 75/442/CEE (come modificata dalla 91/156/CEE e riscritta dalla 2006/12/CE) e, da ultimo, sostanzialmente confermate dalla recente direttiva-quadro 2008/98/CE, sono tese ad assicurare un elevato livello di protezione dell'ambiente attraverso l'adozione di una gerarchia di azioni (*figura 1*) che assegna massima priorità alla prevenzione e si pone come finalità l'attuazione di una strategia di gestione volta ad incoraggiare il riuso, il riciclaggio dei rifiuti come materie prime secondarie ed il loro recupero come fonti di energia. Lo smaltimento, e quindi tipicamente la discarica, si configura come opzione residuale, da adottarsi per i flussi di rifiuti che non sono, o non sono ulteriormente, suscettibili di recupero.

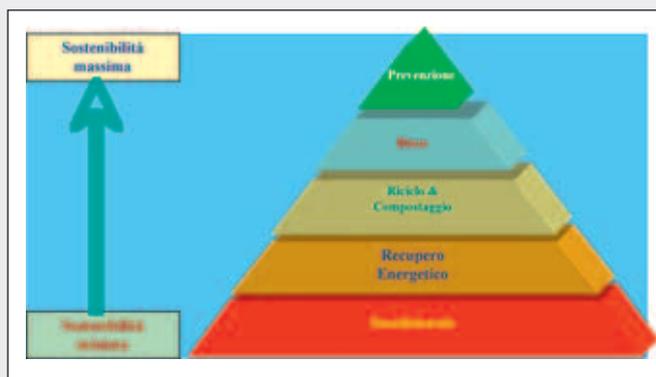


Figura 1
Gerarchia di gestione dei rifiuti
Fonte: ENEA

La strategia in atto persegue, dunque, la riduzione del rifiuto, agendo in tutte le fasi del ciclo di gestione dei rifiuti. Alla testa della "piramide" si trova la prevenzione, ovvero la riduzione alla fonte della produzione di rifiuti e della loro pericolosità. Questo obiettivo viene quindi perseguito mediante l'ottimizzazione dei cicli produttivi, l'applicazione di politiche integrate di prodotto (IPP, *Integrated Product Policy*), le valutazioni connesse al ciclo di vita (LCA, *Life Cycle Assessment*), l'introduzione in fase di progettazione dei beni di strumenti di progettazione quali il *Design for Disassembly* (progettazione finalizzata al disassemblaggio) ed il *Design for Recycling* (progettazione finalizzata al riciclaggio).

A valle delle politiche di prevenzione la priorità è data al riuso per la funzione originaria, che quando perseguibile rappresenta la Best Practicable Option (BPO), al riciclo di materia ed al recupero di energia. Considerato che un rifiuto deriva da un prodotto che in origine possedeva un elevato valore in termini di energia e materiali impiegati per la produzione, le problematiche relative alla gestione dei rifiuti sono strettamente correlate alla salvaguardia delle risorse.

A livello di UE e, in generale, di paesi industrializzati ad elevato PIL pro capite, la strategia di azione in materia di gestione dei rifiuti si traduce sostanzialmente in un impegno su due fronti tra loro interconnessi:

- da un lato, quello della riduzione della quantità e pericolosità dei rifiuti prodotti, che implica di fatto – sul lungo periodo – una profonda revisione degli stessi modelli di produzione-consumo;
- dall'altro, quello dell'adeguamento dei sistemi territoriali di gestione dei rifiuti comunque prodotti, comportante l'introduzione di cicli tecnologici integrati mirati – con riguardo sia ai rifiuti urbani che agli speciali – alla massimizzazione del riciclaggio e del recupero di materiali ed energia nonché alla minimizza-

zione del ricorso alla discarica come forma di smaltimento.

A livello nazionale, i principi e gli orientamenti indicati dalla legislazione europea sui rifiuti sono stati recepiti dal Decreto Legislativo 5 febbraio 1997, n. 22, noto anche come "Decreto Ronchi", che ha introdotto in Italia la strategia di gestione integrata dei rifiuti, sostanzialmente confermata dal recente Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152, il cosiddetto "Codice dell'ambiente".

Senza entrare nell'analisi delle motivazioni per cui, a distanza di oltre dieci anni dall'entrata in vigore del "Decreto Ronchi", sperimentiamo ancora un'Italia sostanzialmente a due velocità (nella quale, accanto ad esperienze largamente consolidate di gestione integrata dei rifiuti, si riscontrano ancora situazioni di dichiarata emergenza), rimane tuttavia chiaro il principio per cui attuare modelli di gestione integrata dei rifiuti significa soprattutto cogliere le opportunità di recupero delle risorse, in termini di materiali e di energia, in essi contenute. In tale ottica il riciclaggio e la valorizzazione energetica dei rifiuti sono da considerarsi tuttora come tematiche prioritarie, che richiedono non solo scelte politico-amministrative, ma anche soluzioni tecnico-economiche sostenibili e non differibili, per consentire una effettiva chiusura del ciclo integrato dei rifiuti.

Tanto la prevenzione che la corretta gestione dei rifiuti prodotti si configurano come problematiche eminentemente sistemiche, coinvolgenti cioè prioritariamente aspetti di politica economica, industriale, ambientale accanto a quelli prettamente amministrativi e socio-culturali. Va tuttavia evidenziato come la tecnologia costituisca comunque un elemento centrale e spesso dirimente nell'approccio e nella risoluzione dei problemi intrinseci della tematica. In particolare, se è vero che, con riferimento a vaste aree del nostro paese, il problema prioritario appare rappresentato dai ritardi nell'adeguamento dei cicli tecnologici di gestione, in prospetti-

va l'ulteriore sviluppo tecnologico si configura come fondamentale rispetto al raggiungimento degli avanzati obiettivi necessari ad una risposta realmente adeguata sul piano della sostenibilità.

Lo sviluppo tecnologico in Italia sulla tematica rifiuti

Come per altre grandi tematiche ambientali, la complessità delle problematiche connesse alla gestione dei rifiuti si traduce nell'estrema differenziazione delle tecnologie in campo.

Per semplicità, le potenzialità espresse dal sistema Paese possono essere distinte in due macro-categorie:

- tecnologie finalizzate al miglioramento del controllo complessivo del sistema e della governance ambientale del territorio;
- tecnologie finalizzate al miglioramento dell'efficienza economico-ambientale dei cicli di gestione di rifiuti sia urbani che speciali.

Sono ascrivibili alla prima categoria le tecnologie (prevalentemente di tipo metodologico) connesse all'analisi dei flussi (come ad esempio l'LCA ed il GIS), di monitoraggio delle matrici ambientali, di supporto alla pianificazione territoriale (tipico esempio è la localizzazione di impianti) o, ancora, di individuazione/caratterizzazione di siti abusivi di smaltimento.

Si tratta in genere di sviluppi e di applicazioni di metodi, tecniche e tecnologie utilizzate in origine in ambiti tra loro significativamente differenti e mutate da strutture di ricerca o da settori produttivi non direttamente impegnati nella problematica rifiuti.

La ricchezza e la frammentarietà proprie di questa categoria non ne permettono una trattazione organica in questo contesto. Va peraltro evidenziato come su tale terreno il sistema paese non presenti particolari specificità rispetto all'ambito europeo, anche in riferimento al posizionamento ed alle attività di una agenzia con spiccate competenze di ricerca come l'ENEA,

presente su gran parte delle tematiche sopra ricordate.

Sicuramente più significativa e vicina alla problematiche attuali appare la seconda macrocategoria, che è utile articolare ulteriormente in:

- tecnologie finalizzate al miglioramento della gestione dei sistemi di raccolta;
- tecnologie di recupero/riciclaggio, comprensive di quelle relative alla minimizzazione dei rifiuti prodotti dall'industria manifatturiera;
- tecnologie (ed impiantistica) di trattamento/smaltimento di rifiuti urbani e speciali, comprensive di quelle connesse ai sistemi di controllo/monitoraggio degli impianti.

Le tecnologie finalizzate al miglioramento della gestione dei sistemi di raccolta, anche a causa del generalmente scarso contenuto tecnico-scientifico, non sono di norma oggetto di attenzione da parte della ricerca.

In generale, l'attenzione maggiore dell'industria è rivolta alle tecnologie finalizzate al recupero/riciclaggio ed alla riduzione dei rifiuti nei processi produttivi, sollecitata e favorita in ciò da esigenze tecnico-economiche di settore e dalla approfondita conoscenza dei cicli di produzione. Va peraltro considerato che tale tipologia può essere – forse più correttamente – ricompresa nella dizione di "tecnologie pulite".

Per contro le istituzioni scientifiche tendono a privilegiare, almeno a livello programmatico, la R&S sulle tecnologie di trattamento dei rifiuti, rispondenti ad esigenze specifiche di gestione territoriale dei flussi. In realtà, l'attenzione alle problematiche relative alla gestione dei rifiuti è relativamente recente e in prima istanza i metodi e le tecnologie studiate e applicate risultano mutate da altri settori di intervento: un esempio su tutti è rappresentato dalle tecnologie di termoconversione del carbone, che sono state prima implementate, per esigenze energetiche, per la gassificazione delle biomasse e quindi applicate al trattamento dei rifiuti.

È il caso di evidenziare che trattamenti e tecnologie finalizzati al recupero/riciclaggio dei pro-

dotti a fine vita (diventati cioè rifiuti) sono “interne” ai sistemi territoriali di gestione, mentre la tipologia precedentemente analizzata (relativa al recupero/riciclaggio ed alla riduzione dei rifiuti nei processi produttivi) si riferisce ai processi di riciclaggio propri del sistema produttivo.

Con riferimento alle tecnologie di trattamento, si può affermare in generale che tanto a livello di istituzioni scientifiche che di industria, l'impegno italiano appare complessivamente modesto rispetto ad altri paesi dell'UE, soprattutto a causa della ridotta presenza dell'industria nazionale nel settore dell'impiantistica dedicata. Si ritiene che tale assenza sia principalmente riconducibile all'insufficiente sviluppo di un mercato nazionale per gli impianti di trattamento, soprattutto complessi, rappresentati tipicamente dagli inceneritori, ma anche dagli impianti di compostaggio e, paradossalmente, dagli stessi impianti di discarica. Probabilmente, una delle motivazioni principali di questo mancato sviluppo è da ricercarsi nell'elevato impatto degli impianti di trattamento e nella conseguente scarsa accettabilità da parte dell'opinione pubblica. In generale quello che si avverte è lo scollamento tra il mondo della ricerca, impegnato nello sviluppo di tecnologie di gestione in linea con i principi di sviluppo sostenibile e di compatibilità ambientale, ed il mondo imprenditoriale, scoraggiato ad investire nell'implementazione industriale delle soluzioni proposte a causa di un numero troppo elevato di fattori contingenti (l'opinione pubblica e la conformazione del territorio, fra tutti).

Coerentemente con la sua natura di agenzia multidisciplinare a vocazione spiccatamente tecnologica, l'ENEA è impegnato sulla tematica rifiuti a diversi livelli: sul complesso delle tecnologie connesse al controllo complessivo del sistema ed alle problematiche di recupero/riciclaggio dei rifiuti, attraverso il coinvolgimento delle varie strutture di competenza, e su problematiche sia di sistema che di ricerca e sviluppo, con particolare riguardo ai trattamenti end of pipe, con una struttura tecnica specifica.

Il panorama della ricerca in Italia si basa essenzialmente su un sistema pubblico, rappresentato da Enti di ricerca ed Università. Accanto all'ENEA, si occupano di rifiuti essenzialmente solo CNR ed ISS, enti che possono vantare elevate competenze professionali in settori specifici o di nicchia, con attività non propriamente strutturate a livello tecnico e programmatico.

Più complessa è la questione relativa alle Università, dove la numerosità dei gruppi di ricerca e le sollecitazioni rispetto ad una tematica di attualità, quale quella dei rifiuti, pongono le condizioni per un impegno diffuso e assai articolato. Va tuttavia sottolineato che sul terreno della sperimentazione su impianti pilota o dimostrativi le attività sono assai limitate e sono svolte prevalentemente attraverso la partecipazione o la consulenza di singoli ricercatori a programmi di soggetti terzi.

In quest'ambito, l'ENEA vanta un ruolo di eccellenza, grazie alla sua significativa capacità di condurre, attraverso le proprie facilities sperimentali, attività di ricerca applicata su scala significativa (pilota o superiore).

Le tecniche di trattamento dei rifiuti urbani in Italia

Pasquale De Stefanis*
Farnoosh Farmand Ashtiani**
Lorenzo M. Cafiero*
Roberto Caggiano**
Valentina Cipriano**
Vito Iaboni*
Riccardo Viselli**

* ENEA, Unità Tecnica Tecnologie Ambientali

** Federambiente

ENEA e Federambiente hanno pubblicato un rapporto¹ riguardante un'indagine conoscitiva degli aspetti tecnici di progetto e di esercizio dell'impiantistica di trattamento dei rifiuti urbani, con riciclo e recupero di materia ed energia, presente sul territorio nazionale, finalizzata al riciclaggio e al recupero di materia e di energia. Ne è emerso un buon livello di sviluppo, in linea con gli standard tecnologici adottati a livello europeo

Municipal Solid Waste Treatment Techniques in Italy

This article summarizes the results shown in the ENEA-Federambiente Report1. They refer to survey aimed at determining the state of the art of all technical aspects related to the design and management of plants for municipal solid waste (MSW) treatment. Only those plants dedicated to recycling and recovery of material and energy have been reviewed. The assessment shows a good technical level for almost all plants, in line with the EU standards

1. Rapporto sulle tecniche di trattamento dei rifiuti urbani in Italia, maggio 2010.

ENEA e Federambiente hanno condotto, a cavallo tra il 2008 e il 2009, un'indagine conoscitiva degli aspetti tecnici di progetto e di esercizio dell'impiantistica di trattamento dei rifiuti urbani² presente sul territorio nazionale.

L'obiettivo principale dell'indagine è stato quello di mettere a disposizione di quanti (istituzioni, operatori, tecnici, amministrazioni, cittadini ecc.) sono coinvolti o ripongono semplicemente interesse nello specifico settore, una serie di informazioni e dati, quanto più esaustivi ed attendibili riguardo alla situazione attuale delle tecniche³ di trattamento dei rifiuti urbani che vengono adottate in Italia, con particolare riguardo a quelle finalizzate al riciclaggio e al recupero di materia ed energia.

Seguendo un approccio ormai consolidato in precedenti indagini, focalizzate sul settore specifico del recupero energetico, anche in questo caso le attività sono state principalmente indirizzate ad acquisire ed analizzare informazioni e dati tecnici di progetto e di esercizio caratteristici dell'impiantistica nazionale di trattamento dei rifiuti urbani. Finalità, questa, che esula dagli obiettivi a fronte dei quali l'ISPRA pubblica annualmente il "Rapporto Rifiuti", nei confronti del quale il presente rapporto si pone non in forma alternativa, bensì complementare.

Le informazioni e i dati relativi al parco impiantistico nazionale di trattamento dei rifiuti urbani riguardano sia le caratteristiche progettuali (capacità di trattamento, apparecchiature e configurazioni adottate per le sezioni di pretrattamento, trattamento e post-trattamento, i sistemi di controllo delle emissioni ecc.), sia le condizioni operative (tipologia e quantitativi dei rifiuti trattati, recuperi effettuati, produzione e gestione dei residui ecc.).

Si precisa che le informazioni e i dati relativi alle caratteristiche progettuali sono aggiornati al 31 di-

cembre 2008. I dati operativi (quantitativi di rifiuti trattati, recupero di materia ed energia, produzione e gestione dei residui ecc.) sono invece riferiti all'anno 2007.

Metodologia adottata

L'indagine è stata condotta tramite l'invio, a tutti gli impianti individuati sul territorio nazionale, di appositi questionari integrati, se necessario, con opportune interviste telefoniche e richieste di ulteriori informazioni e/o chiarimenti.

È stato deciso di limitare il campo di indagine agli impianti aventi capacità di trattamento superiore alle 1.000 t/a. Ciò in considerazione del fatto che, in base alle informazioni ricevute, quelli al di sotto di tale taglia non risultano rappresentativi del parco impiantistico in quanto, anche se a volte abbastanza numerosi, coprono una percentuale molto ridotta in termini di capacità di trattamento, oltre a risultare di non agevole caratterizzazione a causa delle oggettive difficoltà di reperimento di informazioni e di dati tecnici.

Per quanto riguarda specificatamente gli impianti di digestione anaerobica, sono stati presi in considerazione solo gli impianti che trattano – in maniera esclusiva o come flusso anche non prioritario – rifiuti di origine urbana, tralasciando quelli dedicati esclusivamente al trattamento di altre tipologie di rifiuti quali i fanghi, i reflui zootecnici e/o gli scarti dell'industria agro-alimentare.

Il numero degli impianti oggetto dell'indagine ("impianti censiti"), e la loro capacità complessiva di trattamento, sono riportati nella *tabella 1*.

È da rilevare che la capacità di trattamento complessiva, riportata solo a titolo informativo sotto la

2. È da rilevare che la definizione di "rifiuti urbani" non risulta univocamente individuata a livello europeo, fatto che rende molto spesso assai arduo effettuare confronti sui dati di produzione e sulle modalità di gestione in atto nei diversi Stati membri. Ai fini del presente rapporto, con tale accezione si intendono i rifiuti che provengono da un circuito urbano di raccolta e che comprendono sia quelli di origine domestica, sia quelli che sono ad essi assimilati o meno, così come individuati dall'art. 184 del decreto legislativo n. 152/2006. A seconda delle modalità di raccolta, i rifiuti urbani possono essere classificati in due distinte categorie riconducibili a quelli che sono oggetto di raccolta differenziata (RD) e quelli che non sono oggetto di tale operazione, identificati come rifiuti urbani indifferenziati o residui (RUR).

3. In accordo al principio delle Migliori Tecniche Disponibili (Best Available Techniques, BAT), definite sia a livello comunitario che nazionale, il termine "tecniche" comprende le tecnologie impiegate e le modalità di progettazione, costruzione, manutenzione, esercizio e dismissione degli impianti.

Tabella 1 – Impianti di trattamento di rifiuti urbani censiti

Categoria d'impianto	N°	Capacità di trattamento
Trattamento meccanico post RD	33	n.d. ^[1]
Compostaggio	195	5.350.685
Trattamenti meccanico-biologici	135	14.539.369
Digestione anaerobica	10	487.000
Trattamenti termici	53	6.667.052
Totale	426	27.044.106 ^[2]

^[1] Dato non disponibile per tutti gli impianti individuati

^[2] Esclusi gli impianti di trattamento meccanico post RD

Fonte: elaborazione ENEA sui dati raccolti nel corso dell'indagine

voce "totale", non risulta direttamente correlabile alla produzione di rifiuti urbani in quanto si tratta di voci non omogenee. Alcuni flussi di rifiuti sono sottoposti a trattamenti successivi "in serie" nello stesso impianto o nello stesso sito o, nella maggioranza dei casi, in impianti diversi, per cui le rispettive capacità di trattamento non sono sommabili. È questo, ad esempio, il caso degli impianti di trattamento meccanico-biologico (TMB) che producono combustibile derivato da rifiuti (CDR) o frazione secca – che vanno successivamente a recupero energetico – o che inviano la frazione secca ad un impianto che produce CDR⁴. È inoltre da ricordare che negli stessi impianti vengono trattati anche rifiuti speciali, come ad esempio nel caso del recupero energetico⁵.

Benché i questionari siano stati inviati a tutti i contatti individuati, è stato possibile ottenere solo una risposta parziale tramite la ricezione degli stessi opportunamente compilati.

Per colmare questa lacuna ed aumentare la rappresentatività del campione esaminato, si è provveduto, per le voci più significative (capacità, stato

funzionale, anno di avviamento, sequenza dei trattamenti, dati di esercizio del 2007), ad integrare le informazioni e i dati ricevuti con quelli reperibili da fonti bibliografiche. In tale modo è stato possibile acquisire le informazioni e i dati – che sono stati oggetto delle successive elaborazioni – relativi ad un numero maggiore di impianti i quali hanno portato a definire l'insieme degli "impianti esaminati". Ciò ha permesso di conseguire, rispetto al totale degli impianti censiti, percentuali di copertura soddisfacenti, sia in termini di numero di impianti, sia di capacità di trattamento, che vanno da un minimo di circa il 55% nel caso del compostaggio fino al 100% per la digestione anaerobica e i trattamenti termici.

Entrando in dettaglio, sono stati raccolti ed analizzati le informazioni ed i dati relativi alle seguenti categorie di impianti:

- i trattamenti meccanici post RD;
- il compostaggio di frazioni selezionate;
- i trattamenti meccanico-biologici;
- la digestione anaerobica;
- i trattamenti termici⁶.

4. In realtà i rifiuti che escono da impianti di trattamento di rifiuti urbani sono classificati, di norma, come rifiuti speciali, per cui non sarebbero, a rigore, definibili come "impianti di trattamento di rifiuti urbani". Una distinzione in tal senso risulta praticamente impossibile (si pensi, ad esempio ad impianti di recupero energetico che trattano RUR/CDR o impianti di TMB che trattano RUR/sovvalli) se non per impianti che trattano unicamente residui da altri trattamenti quali, ad esempio, gli impianti di recupero delle scorie di combustione, non presi in considerazione in questa indagine.
5. Proprio per il caso del recupero energetico, è da sottolineare che la taglia è più correttamente individuata dal carico termico piuttosto che dalla capacità ponderale; quest'ultimo valore, specie per impianti di non recente costruzione, può non rispecchiare l'effettiva potenzialità dell'impianto, a causa dell'incremento subito nel tempo dal potere calorifico inferiore (PCI) dei rifiuti che comporta, conseguentemente, una riduzione delle effettive quantità di rifiuti trattabili.
6. Essenzialmente costituiti dall'incenerimento con recupero energetico, fatta eccezione dell'impianto di gassificazione installato presso la discarica di Malagrotta (RM), in fase di avviamento nel periodo dell'indagine.

Oltre alle tecnologie di trattamento consolidate, che costituiscono l'ossatura dell'impiantistica di settore, sono state anche brevemente esaminate alcune soluzioni alternative. Di queste si è venuti a conoscenza nel corso dell'indagine, sia tramite incontri con i proponenti, sia a seguito di pressanti iniziative di promozione, alle quali è stata data ampia eco a livello mediatico. Si è cercato di evidenziare le loro potenzialità e i loro limiti, con l'unico intento di fornire un quadro informativo quanto più chiaro e corretto sul piano tecnico, nei limiti determinati dalla quantità e dalla qualità delle informazioni e dei dati di cui si è avuta disponibilità. In particolare, per ciascuna proposta è stata elaborata una scheda che illustra:

- le origini e le finalità;
- la descrizione della tecnologia;
- il grado di sviluppo raggiunto;
- alcune considerazioni tecniche.

Risultati ottenuti

I principali risultati conseguiti possono essere così riassunti:

- Per quanto riguarda l'analisi dei trattamenti meccanici post RD, il campione esaminato è risultato piuttosto limitato (33 impianti censiti), a causa delle oggettive difficoltà nell'individuare questa tipologia di impianti sul territorio. Si ritiene tuttavia che esso sia sufficientemente rappresentativo per quanto concerne le tecniche di trattamento adottate le quali risultano, nel complesso, abbastanza standardizzate. Sulla base dei dati relativi agli impianti esaminati (18) è possibile valutare, nel corso del 2007, un recupero di materiali avente una resa media superiore all'85%.
- Al 31 dicembre 2008 sono presenti sul territorio nazionale 393 impianti destinati al trattamento di rifiuti urbani, finalizzati al recupero di materia (compostaggio) e di energia (digestione anaerobica, incenerimento con recupero energetico), aventi una capacità nominale complessiva di oltre 27 Mt/a e che nel corso dell'anno 2007 hanno trattato circa 18 milioni di tonnellate di rifiuti. Tale capacità di trattamento non può essere direttamente correlata

alla produzione totale, in quanto si tratta di voci non omogenee. Infatti, con riferimento ai dati di consuntivo del 2007, a fronte di una produzione totale di rifiuti urbani pari a 32,55 milioni di tonnellate è possibile stimare che il quantitativo di rifiuti urbani trattati – inclusi gli impianti di trattamento meccanico post RD – sia stato pari al massimo a 20,66 milioni di tonnellate (63,5%), per cui almeno 11,89 milioni di tonnellate (36,5%) sono state smaltite direttamente in discarica senza subire alcuna forma di trattamento. A questi vanno sommati i quantitativi di rifiuti pretrattati e i residui di trattamento che fanno sì che l'incidenza della discarica sia ancora pari al 51,9%.

- Gli impianti di trattamento di frazioni organiche selezionate per la produzione di compost sono 195, con una capacità complessiva di trattamento pari a circa 5,35 Mt/a e una capacità media pari a circa 27.000 t/a. Questi impianti sono concentrati soprattutto nel Nord del paese (122 su 195, con una capacità di trattamento pari a circa il 56% del totale), dove sono inoltre caratterizzati da una taglia inferiore alla media, segno di una maggiore distribuzione sul territorio. Sono stati individuati anche 60 impianti di capacità inferiore alle 1.000 t/a che coprono solo lo 0,8% del totale in termini di capacità di trattamento. Nel corso del 2007, negli impianti di compostaggio sono stati trattati circa 3,1 milioni di tonnellate di rifiuti urbani, con una produzione di circa 930.000 tonnellate di compost.
- Gli impianti di TMB, ai fini della separazione secco-umido nonché della produzione di CDR e di frazione organica stabilizzata (FOS), sono 135, per una capacità complessiva di trattamento pari a circa 14,5 Mt/a e una capacità media pari a circa 108.000 t/a. Detti impianti, contrariamente a quelli di compostaggio, risultano abbastanza ben distribuiti a livello nazionale, con capacità di trattamento pressoché equivalente al Nord ed al Sud e solo lievemente inferiore al Centro. Anche in questo caso si registra al Nord un numero maggiore di impianti (58 su 135) di taglia mediamente inferiore, a conferma di una maggiore diffusione sul territorio. Nel corso del 2007, negli impianti di TMB sono stati trattati poco più

di 10 milioni di tonnellate di rifiuti, di cui circa la metà (4,9 milioni di tonnellate trattate in 60 impianti) destinate alla produzione di CDR. La produzione di quest'ultimo è stata pari a circa 1,45 milioni di tonnellate, alla quale vanno associate 1,25 milioni di tonnellate di FOS.

- Gli impianti di digestione anaerobica che trattano flussi di rifiuti di origine urbana sono solo 10, corrispondenti a una capacità complessiva di trattamento pari a 477.000 t/a. Di questi, 7 sono localizzati nelle Regioni settentrionali e rappresentano oltre l'80% della capacità complessiva. Nel corso del 2007, in questo tipo di impianti sono stati trattate circa 200.000 tonnellate di rifiuti che hanno dato luogo alla produzione di poco meno di 50.000 tonnellate di digestato, oltre a circa 25 GWh di energia elettrica, che costituisce la forma prevalente di recupero energetico.
- Gli impianti di trattamento termico sono 53 (di cui 51 operativi e 2 in avviamento nel corso del 2009), tutti costituiti da inceneritori, tranne un gassificatore, per una capacità complessiva di trattamento pari a circa 6,7 Mt/a e una capacità media pari a circa 125.000 t/a. Essi sono concentrati soprattutto al Nord (29 su 53), con una capacità di trattamento pari a circa il 66% del totale. Il recupero energetico viene effettuato nella quasi totalità degli impianti (51 su 53) tramite la produzione di energia elettrica, mentre la produzione di energia termica, effettuata nell'ambito di uno schema di funzionamento cogenerativo, riguarda solo 11 impianti, tutti situati al Nord. Tramite l'esercizio di questi impianti sono stati trattati, nel corso del 2007, 4,45 milioni di tonnellate di rifiuti, costituiti principalmente da RUR (59,2%), da flussi da essi derivati (frazione secca, CDR) provenienti da trattamenti di tipo meccanico-biologico (25,1%) e, in misura minore, da rifiuti speciali (15,7%). Dal trattamento termico dei rifiuti sono stati prodotti nel corso del 2007 circa 2.834 GWh di energia elettrica e 757 GWh di energia termica, nonché circa 800.000 tonnellate di scorie – il cui recupero ha raggiunto una quota superiore al 50% – e circa 220.000 tonnellate di residui dal trattamento dei fumi.

Considerazioni finali

L'esame delle tecniche adottate nelle varie tipologie di impianti prese in esame ha mostrato un buon livello di sviluppo, sicuramente in linea con gli indirizzi delineati dai BRefs a livello europeo e dalle linee guida a livello nazionale riguardo alla applicazione delle BAT, ovvero degli standard tecnologici adottati in altre realtà dell'Unione Europea.

Il sistema è da considerarsi sicuramente "maturo" nelle regioni settentrionali, ove si assiste ad una distribuzione generalizzata e abbastanza capillare delle varie tipologie di impianti di trattamento. Nel Centro-Sud, invece, appare evidente la carenza di impiantistica di trattamento di recupero energetico e, in misura minore, di compostaggio di frazioni selezionate. Oltre a ciò, è da sottolineare che l'impiantistica presente nel Centro-Sud, anche quando non penalizzata da una minore capacità complessiva di trattamento, risulta caratterizzata dalla presenza di un numero inferiore di impianti sul territorio. Questi sono di taglia mediamente maggiore e presentano inoltre un "fattore di utilizzo" (rapporto fra quantitativi di rifiuti trattati e capacità di trattamento dell'impianto) e una resa in materiali recuperati (CDR, compost) inferiori rispetto a quelli riscontrabili nelle Regioni settentrionali.

Sicuramente occorre riflettere sullo sviluppo dell'impiantistica di TMB finalizzata al trattamento dei RUR, alla luce del fatto che le frazioni in uscita presentano difficoltà di collocazione. Ancora oggi, secondo le informazioni e i dati raccolti, almeno una percentuale variabile tra il 15 e il 20% del CDR prodotto viene smaltita in discarica. Discarica che costituisce anche la destinazione principale della FOS, per la quale divengono sempre più pressanti le richieste di sbocchi alternativi, tra cui la più auspicabile risulta paradossalmente essere l'incenerimento con recupero energetico.

Proprio l'incenerimento con recupero energetico è la modalità gestionale più carente sotto l'aspetto della dotazione impiantistica, come confermato dall'ancora elevata incidenza della discarica per lo smaltimento di rifiuti non recuperabili altrimenti, nei confronti della quale esso si pone come unica alternativa sostenibile sotto l'aspetto ambientale, così come ribadito dalla direttiva 2008/98/CE.

La formula dell'efficienza energetica per l'incenerimento

Pasquale De Stefanis

ENEA, Unità Tecnica Tecnologie Ambientali

Tra le novità introdotte dalla direttiva 2008/98/CE (Direttiva quadro sui rifiuti) di sicuro interesse è la cosiddetta "formula R1" che consente di classificare l'esercizio degli impianti di incenerimento di rifiuti urbani come operazione di recupero e non di smaltimento, qualora le efficienze di recupero energetico siano superiori a dei livelli minimi prefissati

The Energy Efficiency Formula for Municipal Solid Waste Incineration

Directive 2008/98/EC has introduced the so-called "R1 formula" allowing to classify the activity of a Municipal Solid Waste Incinerator (MSWI) as waste recovery instead of disposal, when the level of energy efficiency is higher than the established minimum standards

La direttiva 2008/98/CE (Direttiva quadro sui rifiuti) ha introdotto interessanti novità in tema di gestione di rifiuti tra le quali di sicuro interesse sono quelle riguardanti la netta distinzione tra "rifiuti", "sottoprodotti" e "materie prime secondarie", nonché le nuove definizioni di "riciclaggio" e di "recupero".

In merito a quest'ultimo è da segnalare quanto riportato nell'Allegato II alla direttiva stessa, nel quale vengono descritte le operazioni di recupero da rifiuti. Nel definire le operazioni di tipo R1 ("Utilizzazione principale come combustibile o come altro mezzo per produrre energia") viene infatti precisato che l'incenerimento dei rifiuti urbani può essere ascritto a tale categoria, anziché a quella di tipo D10 ("Incenerimento a terra"), qualora la sua efficienza di recupero energetico sia superiore a dei livelli minimi, stabiliti sia per gli impianti nuovi, sia per gli impianti in esercizio.

Si tratta di una novità di notevole portata, finalizzata a dirimere una questione molto controversa sulla quale sono stati espressi nel tempo pareri molto variegati e spesso contrastanti. Questione che oltretutto coinvolge vari aspetti (normativi, autorizzativi, gestionali ed economici) che possono mettere persino in discussione il fatto che la pratica dell'incenerimento dei rifiuti risulti o meno realizzabile.

Negli ultimi anni, infatti, motivazioni di carattere non solo economico, ma anche di tipo energetico-ambientale, hanno fatto sì che la produzione di energia da rifiuti si sia sempre più sviluppata. Tuttavia la pre-vigente normativa, sia a livello europeo che nazionale, pur intendendo promuovere tale forma di recupero, non aveva mai definito dei criteri che consentissero di classificare le operazioni di incenerimento di rifiuti

tra quelle di recupero R1, anziché di smaltimento D10.

La formula per il calcolo dell'efficienza di recupero

Nell'Allegato II della Direttiva 2008/98/CE è riportata una formula per il calcolo dei livelli di efficienza di recupero del contenuto energetico dei rifiuti urbani, qualora essi siano destinati alla produzione di energia elettrica e/o termica.

Si tratta in pratica di un bilancio dell'energia in ingresso e in uscita dall'impianto, effettuato su base annua.

La formula è la seguente:

$$E_{min} = (E_p - (E_f + E_i)) / (0,97 \times (E_w + E_f)) [1]$$

dove:

E_{min} = efficienza minima richiesta pari a:

- 0,60 per impianti in esercizio ed autorizzati in accordo alla normativa comunitaria vigente prima del 1 gennaio 2009;
- 0,65 per impianti autorizzati dopo il 31 dicembre 2008.

E_p (GJ/a) = energia prodotta sotto forma elettrica e termica su base annuale, da calcolarsi moltiplicando l'energia elettrica prodotta per il fattore 2,6 e l'energia termica per il fattore 1,1.

E_f (GJ/a) = energia in ingresso all'impianto derivante dal consumo di combustibili tradizionali su base annua, destinati alla produzione di vapore.

E_w (GJ/a) = energia contenuta nei rifiuti trattati su base annua, calcolata sulla base del potere calorifico inferiore (PCI).

E_i (GJ/a) = energia importata nell'impianto su base annua, con esclusione di E_w e E_f .

È inoltre presente un fattore (0,97) che tiene conto delle perdite di energia nel corso del processo di combustione dei rifiuti, connesse principalmente a fenomeni di irraggiamento e al calore disperso con scorie e ceneri.

La formula ha validità generale e, in linea di principio, dovrebbe consentire una verifica puntuale dell'efficienza di recupero energetico conseguita in un impianto di incenerimento di rifiuti urbani, in qualsiasi forma esso venga effettuato, vale a dire tramite la produzione di:

- energia elettrica;
- energia termica;
- energia termica ed elettrica in combinazione ("cogenerazione").

Va da sé che la tipologia di recupero effettuato dipende solo in forma indiretta dalle caratteristiche dell'impianto, mentre risulta fortemente influenzata dalle condizioni locali del sito ove esso verrà a essere installato. In particolare, essa sarà condizionata dall'esistenza o meno di un mercato per l'energia termica che (contrariamente a quella elettrica che può essere comunque immessa sulla rete di distribuzione nazionale) risulta legato alla presenza in loco di utenze industriali e/o civili, quasi sempre caratterizzate da una forte variabilità temporale della richiesta su base stagionale o addirittura giornaliera.

È da sottolineare il fatto che la formula in questione stabilisce per la prima volta dei valori minimi per il recupero energetico dall'incenerimento di rifiuti, recupero che, seppure sempre promosso dalla normativa in vigore, non era mai stato quantificato in precedenza, né a livello europeo, né a livello nazionale¹.

Infatti la direttiva 2000/76/CE si è limitata ad affermare (articolo 6, punto 6) che: "Il calore generato dai processi di incenerimento o di coincenerimento è recuperato per quanto pos-

sibile". Su tale assunto il DLgs 152/2006 all'art. 182, comma 4 recita: "Nel rispetto delle prescrizioni contenute nel decreto legislativo 11 maggio 2005 n. 133, la realizzazione e la gestione di nuovi impianti possono essere autorizzate solo se il relativo processo di combustione è accompagnato da recupero energetico con una quota minima di trasformazione del potere calorifico dei rifiuti in energia utile, calcolata su base annuale, stabilita con apposite norme tecniche approvate con decreto del Ministro dell'ambiente e della tutela del territorio di concerto con il Ministro delle attività produttive, tenendo conto di eventuali norme tecniche di settore esistenti, anche a livello comunitario". Norme tecniche che nella pratica non sono state però mai definite.

Il campo di applicazione della formula

Una prima considerazione sorge proprio dalla lettura del testo della nota che introduce la formula: "Gli impianti di incenerimento dei rifiuti solidi urbani sono compresi (nell'operazione R1) solo se la loro efficienza energetica è uguale o superiore a...".

Per quanto riguarda la definizione di "impianto di incenerimento", si può fare riferimento proprio alla definizione data dalla normativa, vale dire quella riportata nella direttiva 2000/76/CE sull'incenerimento dei rifiuti (ripresa a livello nazionale dal DLgs 11 maggio 2005 n. 133), che vi identifica "qualsiasi unità e attrezzatura tecnica fissa o mobile destinata al trattamento termico dei rifiuti con o senza recupero del calore prodotto dalla combustione. In questa definizione sono inclusi l'incenerimento mediante ossidazione dei rifiuti nonché altri procedimenti di

1. Fatta eccezione per il DM 5 febbraio 1998 che regola le procedure semplificate per il recupero di materia ed energia da rifiuti che prevede (articolo 4) la definizione di livelli minimi di rendimento di conversione per le varie alternative di recupero energetico (produzione di energia elettrica, termica, cogenerazione). Nel caso di produzione di energia elettrica è prevista una specifica formula, di natura empirica, che tiene conto della taglia dell'impianto.

trattamento termico, quali, ad esempio, la pirolisi, la gassificazione o i processi all'arco plasma, sempre che le sostanze risultanti dal trattamento siano successivamente incenerite".

È chiaro quindi che la suddetta definizione di incenerimento fa riferimento alla sua funzione primaria che è quella di convertire delle sostanze comunque pericolose – o perché putrescibili e potenzialmente patogene (è il caso dei rifiuti urbani) o perché rivestono carattere di nocività (è il caso di alcuni rifiuti speciali di origine industriale) – in composti innocui (acqua, anidride carbonica), ovvero praticamente inerti ("ceneri"). In pratica sono impianti di incenerimento tutti quelli che hanno come funzione primaria il trattamento termico dei rifiuti ai fini del loro smaltimento; per questo scopo essi possono fare uso della combustione diretta come pure di altri processi (pirolisi, gassificazione arco-plasma). Il recupero energetico, sempre presente per motivazioni di carattere economico, viene effettuato tramite l'impiego di un ciclo termico a vapore che sfrutta come fonte energetica il calore generato dalla combustione diretta dei rifiuti o dei prodotti grezzi derivati da un trattamento termico alternativo. Questo schema di recupero energetico è quello adottato nella stragrande maggioranza degli impianti che fanno uso di processi diversi dalla combustione diretta dei rifiuti.

Per quanto riguarda invece il riferimento ai "rifiuti solidi urbani" la questione risulta un po' più complessa.

È da rilevare innanzitutto che la definizione di "rifiuti (solidi) urbani" non risulta univoca a livello europeo, fatto che rende spesso assai arduo effettuare confronti sui dati di produzione e sulle modalità di gestione in atto nei diversi paesi. Infatti, mentre a livello nazionale è previ-

sta una specifica categoria (i rifiuti speciali), che include tutti i rifiuti diversi da quelli urbani, tale distinzione non è presente nelle realtà estere, nelle quali molti flussi di rifiuti speciali confluiscono direttamente nel circuito di quelli urbani e in particolare negli impianti di trattamento termico.

Sebbene il riferimento ai rifiuti urbani non trovi una giustificazione sul piano meramente tecnico, appare chiaro che l'applicazione della formula debba essere circoscritta agli impianti la cui funzione primaria è finalizzata al trattamento di rifiuti di origine urbana, che costituiscono il settore più rappresentativo del recupero energetico sotto l'aspetto quantitativo, tralasciando quindi gli impianti, che pur effettuando il recupero energetico, hanno come funzione primaria la termodistruzione di rifiuti speciali e/o pericolosi.

L'applicazione pratica della formula

Senza entrare in una discussione di dettaglio riguardo alle tecniche² finalizzate all'incremento del recupero energetico, si vuole sottolineare che è sicuramente da apprezzare il principio di base della formula che tende a privilegiare gli impianti che riescono a conseguire efficienze di recupero energetico più elevate.

L'effettiva applicazione della formula necessita tuttavia di specificazioni e chiarimenti intesi ad evitare interpretazioni soggettive o suoi erronei impieghi.

In merito occorre ricordare che l'art. 39 della direttiva 2008/98/CE prevede specificatamente che *"...Se necessario l'applicazione della formula per gli impianti di incenerimento di cui all'allegato II, codice R1, è specificata. È possibile considerare le condizioni climatiche locali, ad esem-*

2. In accordo al principio delle migliori tecniche disponibili (*Best Available Techniques*, BAT), definite a livello comunitario e nazionale, il termine "tecniche" comprende sia le tecnologie impiegate, sia le modalità di progettazione, costruzione, manutenzione, esercizio e dismissione degli impianti.

pio la rigidità del clima e il bisogno di riscaldamento nella misura in cui influenzano i quantitativi di energia che possono essere tecnicamente usati o prodotti sotto forma di energia elettrica, termica, raffreddamento o vapore...". Tale misura, essendo intesa a modificare elementi non essenziali della direttiva, potrà essere adottata tramite la procedura della "comitatologia". È indubbio che occorre chiarire sia il suo campo di applicazione, sia il significato di alcuni termini che compaiono nella sua espressione e che possono avere un'influenza rilevante sui valori calcolabili per l'efficienza minima di recupero.

A tale scopo è stato costituito presso la Commissione Europea un gruppo di lavoro ristretto al quale partecipano esperti e *stakeholders* del settore, finalizzato a definire di linee guida per la sua applicazione pratica.

Verranno di seguito discussi alcuni aspetti che dovranno essere affrontati e chiariti nell'ambito dei lavori del suddetto gruppo di lavoro in modo che l'applicazione della formula risulti scevra da interpretazioni e non dia luogo a disparità di trattamento per le diverse realtà presenti all'interno dell'Unione Europea.

I limiti di batteria per l'applicazione della formula

Un primo aspetto da considerare è relativo alla definizione dei limiti di batteria dell'impianto al quale applicare la formula, che non necessariamente debbono coincidere con quelli riportati nell'atto autorizzativo.

Infatti, oltre all'unità di incenerimento possono essere presenti sullo stesso sito (ed essere oggetto della stessa autorizzazione) unità di pre-trattamento dei rifiuti e post-trattamento dei residui (scorie, ceneri), oltre ad altri sistemi che riguardano il trattamento di altri rifiuti (es.: trat-

tamento di fanghi tramite digestione anaerobica, unità di selezione destinate al riciclaggio ecc.), o la produzione di energia con combustibili tradizionali.

In linea con il BRef³ sull'incenerimento, i limiti del sistema devono essere ristretti unicamente alle apparecchiature e ai componenti asserviti al sistema incenerimento/recupero energetico. In altre parole, ciò equivale a dire che debbono essere presi in considerazione il sistema camera di combustione/generatore di vapore, il trattamento dei fumi, il gruppo turbina/generatore ed eventuali scambiatori per la produzione di energia termica, come pure tutte quelle apparecchiature ausiliarie (pompe, ventilatori, compressori, sistemi di controllo, riscaldamento ecc.) necessarie per un corretto funzionamento e che costituiscono le utenze elettriche/termiche asservite al processo di incenerimento.

I flussi di energia che costituiscono i fattori della formula

In accordo ai principi di un bilancio energetico, nel caso in esame **E_w**, **E_f** ed **E_i** costituiscono i flussi di energia in input al sistema. Non così è per il termine **E_p**, definito come l'"energia annua prodotta sotto forma di energia termica o elettrica."

Infatti, secondo l'interpretazione ormai affermata, che verrà sancita dalle linee guida in corso di elaborazione, **E_p** individua la produzione lorda dell'impianto e quindi non risulta direttamente correlata ai limiti di batteria del sistema.

Un'applicazione rigorosa del bilancio energetico porterebbe a riferire tale termine alla produzione netta, vale a dire all'energia effettivamente resa disponibile all'esterno, al netto dei consumi necessari per il funzionamento dell'impianto. Di quest'ultimi in effetti non se ne tiene con-

3. *Best available techniques REFERENCE document on waste incineration*, pubblicato dalla Commissione Europea nel luglio del 2006. Riporta le linee guida per l'applicazione delle BAT.

to o, per meglio dire, se ne tiene conto in maniera indiretta assumendo che essi costituiscono una percentuale abbastanza ben definita della produzione lorda. Ciò non toglie che, così come concepita, la formula metterebbe sullo stesso piano impianti che, a parità di energia elettrica prodotta, possono presentare consumi energetici molto diversi e quindi rendere effettivamente disponibile un surplus netto di energia in un caso molto minore, surplus che costituisce l'effettivo parametro che dà valenza al recupero in termini di risparmio di risorse e di contenimento di emissioni.

Un'altra voce di cui va chiarito il significato è quella relativa al termine E_i , vale a dire all'energia importata sotto forma di energia elettrica e/o termica nonché di eventuali combustibili ausiliari, ad eccezione di quelli che vengono utilizzati direttamente nella camera di combustione che, contribuendo alla produzione di vapore, vanno a costituire il termine E_f .

Essendo E_i un termine che si sottrae al numeratore della formula, esso dovrebbe essere minimizzato, cioè l'impianto dovrebbe, per quanto possibile, essere autosufficiente dal punto di vista energetico. Tenuto conto di quanto appena detto per E_p , questo equivale ad affermare che l'esercizio dell'impianto dovrebbe essere indirizzato verso il consumo dell'energia autoprodotta, senza ricorrere al prelievo di energia elettrica e/o termica (anche sotto forma di combustibili), la cui produzione deriva da fonti energetiche primarie di origine non rinnovabile. In altri termini, questo equivale a dire che il rispetto delle soglie minime di efficienza energetica potrebbe anche andare in contrasto con la piena adozione delle BAT⁴.

Un aspetto cruciale riguarda la definizione di E_w , cioè dell'"energia annua contenuta nei rifiuti trattati calcolata in base al potere calorifico netto⁵ dei rifiuti". Poiché anche questo è un termine che può influenzare notevolmente i valori di efficienza minima, dovrà essere specificato come valutarlo, vale a dire se in forma indiretta (attraverso un bilancio di materia ed energia dell'impianto, così come previsto dal BRef) o diretta, tramite determinazioni analitiche periodiche. Quest'ultima via risulta essere molto dispendiosa e oltretutto poco accurata a causa della scarsa rappresentatività del campione, conseguente alla inevitabile disomogeneità del materiale in esame.

E_w dovrà quindi essere determinato tramite un bilancio energetico del sistema forno/generatore di vapore per il quale l'input è costituito dal termine ($E_w + E_f$), mentre l'output è costituito da parametri misurati (portata e temperatura vapore, portata e temperatura fumi) ovvero stimati (perdite per irraggiamento, contenuto energetico delle scorie).

I fattori di equivalenza

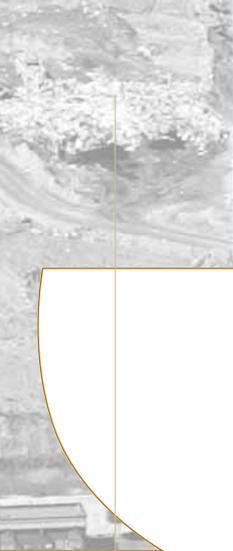
Il termine E_p viene testualmente definito come l'"energia annua prodotta sotto forma di energia termica o elettrica. È calcolata moltiplicando l'energia sotto forma di elettricità per 2,6 e l'energia termica prodotta per uso commerciale per 1,1".

Tali valori, ripresi dal BRef sull'incenerimento dei rifiuti, si basano sulle seguenti assunzioni:

- l'efficienza media per la produzione di energia elettrica (principalmente da centrali termoelettriche di tipo convenzionale) è pari a 38%;

4. Si pensi, ad esempio, ad un impianto che impiega uno stadio di riduzione SCR posto in coda al sistema di trattamento dei fumi, per il funzionamento del quale è necessario il preriscaldamento della corrente di fumi da trattare, di norma ottenuto tramite l'impiego di un combustibile ausiliario (gas naturale). Il relativo apporto energetico influenza negativamente il valore dell'efficienza minima di recupero.

5. Il riferimento è sicuramente al potere calorifico inferiore (PCI); è da rilevare che il testo in italiano della direttiva risente negativamente di una non corretta traduzione della definizione inglese *net calorific value*.



- l'efficienza media di produzione dell'energia termica è pari a 91%⁶.

In pratica ciò equivale a dire che si assume che un rendimento del 38% di conversione in energia elettrica equivale ad un'efficienza di recupero energetico pari a 1, mentre nel caso di produzione di sola energia termica tale livello di efficienza viene raggiunto per un rendimento termico del 91%.

Allo stato attuale i livelli di rendimento lordo per un impianto di incenerimento di rifiuti urbani di ultima generazione e di taglia medio-grande destinato alla produzione di sola energia elettrica è dell'ordine del 30-32%, vale a dire che i livelli di Emin conseguibili sono dell'ordine di 0,8-0,85. È facile dimostrare che gli stessi livelli di Emin possono essere conseguiti con efficienze di recupero dell'ordine dell'80-85% nel caso di produzione di sola energia termica, valori questi facilmente conseguibili allo stato attuale anche in impianti di taglia medio-piccola.

Ciò consente di affermare che la migliore configurazione di funzionamento possibile è quella che prevede l'assetto cogenerativo (produzione combinata di energia elettrica e termica), in quanto permette di conseguire, a parità di altre condizioni, i valori più elevati di *Emin*.

In alternativa è possibile trarre le seguenti conclusioni:

- gli impianti di taglia medio-piccola dovrebbero essere localizzati in corrispondenza di aree industriali e/o urbane ed essere asserviti principalmente alla produzione di energia termica⁷ da cedere ad utenze sotto forma di acqua calda, vapore di processo e/o fluido motore per sistemi di refrigerazione/condizionamento dell'aria;

- gli impianti di taglia medio-grande possono essere localizzati anche lontano da aree urbane e/o industriali in quanto, grazie alla fattibilità tecnico-economica dell'adozione di soluzioni tecniche avanzate per la configurazione del ciclo termico, sono in grado di conseguire elevati livelli di efficienza energetica tramite la produzione di sola energia elettrica, che può essere immessa sulla rete nazionale.

Le specificità locali

Uno dei limiti della formula [1] è insito proprio nel fatto che essa è unica e presenta un unico valore di soglia per tutti i vari Stati membri dell'Unione Europea. È logico aspettarsi che i paesi del Nord continuino a privilegiare la produzione di energia termica, quelli dell'Europa centrale potranno adottare l'assetto cogenerativo, mentre quelli del Sud Europa si assesteranno quasi esclusivamente sulla produzione di energia elettrica. Questa disparità di condizioni, legata essenzialmente a motivazioni di tipo geo-climatico, potrebbe condurre, per assurdo, a favorire la spedizione di rifiuti nei paesi del Nord Europa, nei quali l'incenerimento dei rifiuti urbani raggiunge più agevolmente lo status di operazione di recupero.

Un approccio più appropriato alla questione, che dovrà essere sicuramente discusso in sede di comitatologia, sarebbe quello di prevedere dei coefficienti correttivi che tengano conto delle specificità locali o, in alternativa, prevedere due formule distinte da applicarsi rispettivamente alla produzione di sola energia elettrica ed ai casi nei quali è presente la produzione di energia termica (in forma esclusiva o in assetto cogenerativo).

6. È da sottolineare che questi fattori di equivalenza non costituiscono dei coefficienti prefissati o dei fattori di conversione. Essi costituiscono solo una stima dell'energia primaria necessaria per la produzione di energia (termica e/o elettrica) in impianti industriali tradizionali.

7. Va da sé che, a livello nazionale, la produzione di energia termica andrebbe quantomeno incentivata al pari di quanto avviene per la produzione di energia elettrica attraverso il meccanismo dei certificati verdi.

Le procedure di qualifica e controllo

Un ulteriore aspetto da chiarire riguarda la standardizzazione di procedure da applicare sia per la qualifica degli impianti, sia per il monitoraggio del rispetto della classificazione, con particolare riguardo a quella di impianto di tipo R1.

A riguardo possono essere fornite solo delle linee guida, fermo restando che l'applicazione ed il controllo dovrà essere a cura dei singoli Stati membri.

In linea generale si può solo affermare che il calcolo dovrà essere effettuato su base annuale, in condizioni di normale funzionamento, in modo da tenere conto dell'influenza delle variazioni stagionali (richiesta di energia termica, temperatura della sorgente fredda ecc.). Per i nuovi impianti la classificazione dovrà essere effettuata in base ai dati di progetto e confermata tramite prove prestazionali da effettuarsi a valle della loro messa in esercizio.

Per ottenere la classificazione R1 il gestore dell'impianto dovrà fornire all'autorità competente i dati necessari per il calcolo e i risultati ottenuti. Eventuali verifiche dovranno essere effettuate in caso di modifiche sostanziali dell'impianto (ristrutturazione del generatore di vapore, della turbina, del sistema di trattamento dei fumi, modifiche a contratti di fornitura di energia a terzi ecc.) o entro un periodo massimo prefissato (es.: 10 anni).

La verifica dello status di un impianto sarà a cura dell'autorità competente, che potrà richiedere i dati necessari al suo calcolo, ovvero disporre anche ispezioni sul campo.

In caso di mancato conseguimento di status R1 o di sua perdita, sarà facoltà dell'operatore ripetere il test a seguito di intervenute modifiche impiantistiche, operative o contrattuali.

È da ricordare infine che della qualifica dell'impianto dovranno anche tenere conto le autorità competenti nel caso di trasporti transfrontalieri di rifiuti.

Conclusioni

La direttiva 2008/98/CE ha introdotto una formula per il calcolo dei livelli minimi di efficienza degli impianti di incenerimento di rifiuti urbani sulla base dei quali tale forma di gestione può essere classificata come operazione di recupero (R1) anziché di smaltimento (D10). Tale criterio è finalizzato a superare una questione annosa che ha portato all'insorgere di numerose controversie che hanno richiesto, a più riprese, un'interpretazione in merito da parte della Corte Europea di Giustizia.

È sicuramente da apprezzare il principio di base della formula che tende a privilegiare gli impianti che riescono effettivamente a conseguire elevate efficienze di recupero del contenuto energetico dei rifiuti, superando i limiti evidenziati da altre proposte fatte in passato che, facendo riferimento alle sole caratteristiche dei rifiuti, erano inficiate dall'arbitrarietà connessa con la fissazione di valori limite per il parametro chiave costituito dal potere calorifico inferiore.

Va tuttavia rilevato che esistono ancora molti aspetti da chiarire riguardanti sia la valutazione di alcuni termini che compaiono nella formula, sia l'influenza di alcuni fattori quali, ad esempio, la localizzazione e la taglia dell'impianto; aspetti che potranno e dovranno essere chiariti all'interno della procedura di comitatologia, così come previsto dall'articolo 39 della direttiva stessa.

Si può comunque ritenere che, al di là di questi aggiustamenti "tecnici", il principio introdotto possa costituire un utile strumento ai fini della classificazione degli impianti di incenerimento, in quanto basato su dati tecnici oggettivi, in grado di tenere conto sia dello sviluppo tecnologico del settore, sia dei risvolti positivi sull'ambiente che tale pratica ha in termini di risparmio di risorse e di contenimento delle emissioni di inquinanti e di gas serra.

Scenario di un sistema integrato di gestione dei rifiuti urbani con la raccolta differenziata al 65%

Vito Iaboni
Pier Giorgio Landolfo

ENEA, Unità Tecnica Tecnologie Ambientali

Il raggiungimento degli obiettivi della raccolta differenziata fissati dalla legge 152/2006 e sua evoluzione, rafforzato dalle priorità indicate nella nuova direttiva quadro sui rifiuti, richiede la realizzazione di un sistema integrato sostenuto da tecnologie e impianti che dovranno dare il miglior risultato ambientale complessivo. Lo scenario di gestione integrata è stato elaborato in modo che la varietà delle tecniche di trattamento e la chiusura del ciclo di gestione dei rifiuti siano in pieno accordo con quanto previsto dalla normativa

A Scenario of an Integrated Municipal Solid Waste Management with a 65% Separate Collection

The achievement of the separate collection objectives laid down in Law no. 152/2006, and the priorities specified in the new Waste Framework Directive cannot prescind from an integrated system supported by technologies and facilities that are best environmentally friendly. An integrated management scenario has been worked out so that the various treatment techniques and the closure of the waste management cycle are perfectly in line with the laws and regulations currently in effect

Produzione e gestione dei rifiuti urbani in Italia

In Italia la produzione dei rifiuti urbani (RU) nel triennio 2006-2008, dopo la continua crescita dei precedenti anni, si può considerare stazionaria e, per la prima volta, nel 2008 si manifesta una leggera contrazione, come riportato nell'ultimo "Rapporto rifiuti urbani" del 2009 elaborato dall'ISPRA^[1]. Questa tendenza può essere attribuita oltre che alla riduzione dei consumi derivante dal perdurare della negativa congiuntura economica e agli effetti dell'applicazione del DLgs n. 4 del 2008, che dà delle limitazioni all'assimilazione dei rifiuti speciali agli urbani, anche all'avvio di politiche di prevenzione in diverse realtà territoriali. Si stanno sviluppando sempre più sul territorio approcci virtuosi nei sistemi produttivi, nei modelli di consumo e nella gestione dei rifiuti che tendono ad ottimizzare lo sfruttamento delle risorse ed a ridurre la produzione di rifiuti urbani.

In questo contesto l'utilizzo della discarica, pur rappresentando tuttora la forma di smaltimento principale, si riduce negli ultimi anni in maniera progressiva.

Dall'ultimo rapporto rifiuti ISPRA in relazione alle diverse tipologie di gestione dei RU si rileva nella loro gestione, rispetto ai 32,5 milioni di tonnellate dei rifiuti prodotti nel 2008, la seguente situazione:

- il 49% viene smaltito in discarica;
- il 12,7% viene incenerito con recupero energetico;
- il 23% viene indirizzato ai trattamenti meccanico-biologici;
- il 7%, derivante da frazioni selezionate, è avviato al compostaggio;
- la percentuale rimanente viene indirizzata ad altre forme di recupero.

I sistemi tecnologicamente maturi e/o innovativi finalizzati al recupero energetico e di materia alternativi alla discarica (trattamenti termici e trat-

tamenti di tipo meccanico-biologico) fanno registrare tuttora percentuali di utilizzo contenute, sono ancora distribuiti in maniera fortemente disomogenea sul territorio nazionale e sono in stretta correlazione alla presenza di sistemi di gestione integrati e ai risultati positivi raggiunti nelle stesse aree dalla raccolta differenziata (RD) e dalla frazione biodegradabile in particolare. Nella *figura 1*, in relazione alla produzione dei RU, viene rappresentato l'andamento nel tempo della RD che, come evidenziato, risulta strettamente correlata alla riduzione dei quantitativi smaltiti in discarica. La RD interessa attualmente il 30,6% del totale dei RU prodotti a livello nazionale (*figura 2*), ma non riesce ancora ad assumere il ruolo preminente per le modalità di trattamento e smaltimento.

Dall'analisi della *figura 2* si osserva che la RD è rispettivamente pari: al Nord al 45,5%, al Centro al 22,9% ed al Sud al 14,7%. Nelle Regioni del Nord, dove sono presenti sistemi di gestione integrata con impianti a tecnologia complessa, si osserva che per la RD continua, anche nel 2008, il trend di crescita, mentre al Centro-Sud per motivi culturali, strutturali e gestionali ancora non riesce a decollare, anche se in alcune Regioni è stata raggiunta una notevole percentuale di RD (Sardegna 34,7%, Abruzzo 21,9%, Campania 19,0%).

Nonostante questo trend positivo, nel 2008 non sono stati ancora conseguiti, a livello nazionale, mediamente gli obiettivi indicati dal DLgs 22/97, il cosiddetto "Decreto Ronchi" (raggiunti nel 2004 con ritardo solo nel Nord), e siamo ancora lontani da quelli più elevati e di riferimento indicati nella legge n. 152 del 2006, diventando sempre più significativo il divario tra Nord e Sud.

Evoluzione della normativa

L'entrata in vigore del Decreto Ronchi, che ha dato attuazione alle politiche comunitarie sui rifiuti, ha segnato indubbiamente il punto di svolta. Il decreto per la prima volta ha fissato scadenze e indi-

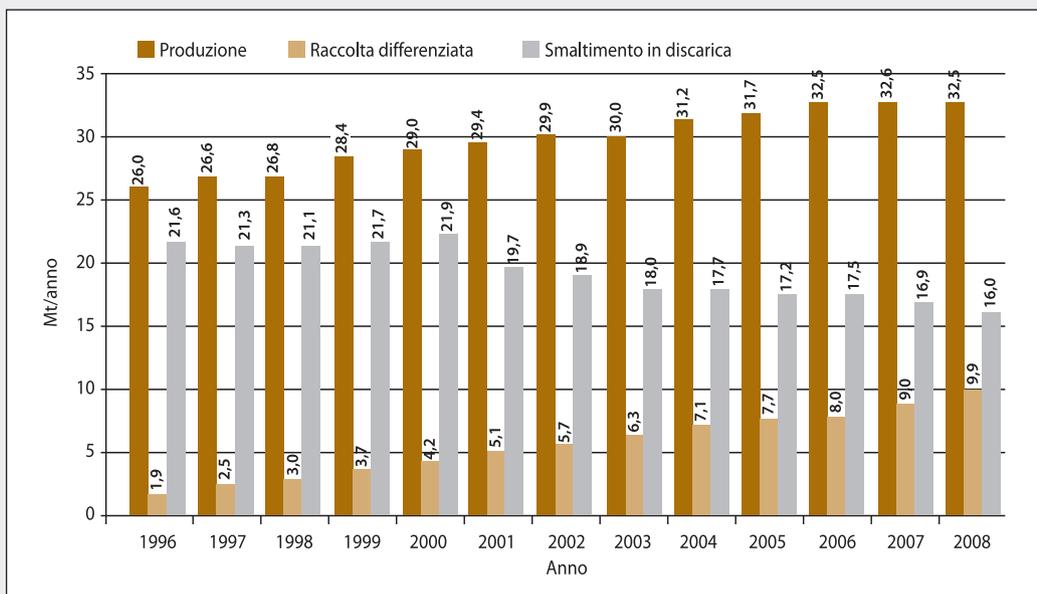
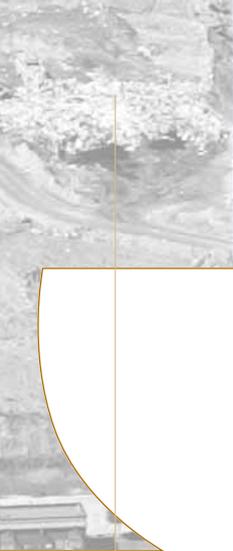


Figura 1
 Andamento della produzione, della raccolta differenziata e dello smaltimento in discarica dei rifiuti urbani in Italia
 Fonte: elaborazione ENEA da dati APAT ed ISPRA^[1]

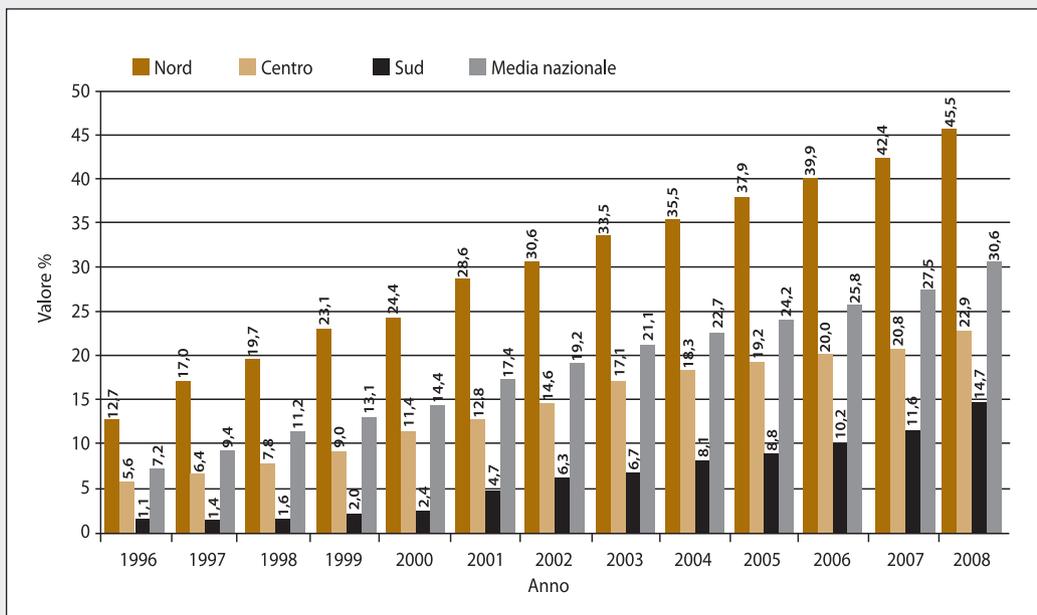


Figura 2
 Andamento della raccolta differenziata in Italia
 Fonte: elaborazione ENEA da dati APAT ed ISPRA^[1]

cato obiettivi di RD che richiedevano la rimodulazione di tutto il sistema di gestione e la necessità di attivare in forma estesa le RD non solo alle frazioni secche, ma anche alla frazione organica.

I principi e gli obiettivi del suddetto decreto nel corso degli anni sono stati ulteriormente rafforzati dal DLgs 36/2003 che recepisce la Direttiva 31/1999 CE sulle discariche; dal DM 203/03 sugli "acquisti verdi" della Pubblica Amministrazione; dal DLgs 151/2005 che regola la raccolta e il riciclo dei rifiuti elettrici ed elettronici (RAEE) e recepisce le direttive 2002/95/CE 2002/96/CE e 2003/108/CE; dalla Legge 152/2006 e sua evoluzione, che introduce i due nuovi obiettivi di RD del 45% da raggiungere entro il 2008 e del 65% entro il 2012. Tale legge è stata rivista anche dalla Legge 296/2006 (art. 1, comma 1008) che rimodula i tempi e introduce lo strumento del "commissario ad acta" per i Comuni che non raggiungeranno l'obiettivo di RD alla data indicata. Nuovo impulso alla politica in materia di rifiuti, oggi, scaturisce dalla nuova direttiva quadro sui rifiuti (Direttiva 2008/98/CE), che nell'ambito di un uso razionale delle risorse, attribuisce alla prevenzione il ruolo prioritario del sistema di gestione dei rifiuti. Questa direttiva, con l'approvazione da parte del Consiglio dei Ministri, in data 16.4.2010, di un testo del DLgs, ha iniziato il suo iter per l'approvazione in Italia (si presuppone nei tempi richiesti dalla CE), che dovrà concludersi entro dicembre 2010.

I principi fondamentali stabiliti dalla direttiva con la seguente scala di priorità sono:

- a) prevenzione e riduzione all'origine di quantità e pericolosità dei rifiuti, a partire dalla progettazione di beni e prodotti sulla base dell'analisi del loro ciclo di vita;
- b) preparazione per il riutilizzo;
- c) riciclaggio (recupero di materia, attraverso la raccolta differenziata e la selezione meccanica/chimico/fisica delle frazioni raccolte (organico, cellulosa, vetro, polimeri, metalli, inerti da demolizione, oli usati, elettrodomestici, elettronici ed elettrici dismessi, auto a fine vita ecc.);
- d) recupero di energia o di altro tipo (recupero di energia e delle frazioni residuali (scorie), attraverso trattamenti termici preferibilmente in

schemi di cogenerazione termica ed elettrica, della frazione residuale dei rifiuti urbani, nonché il recupero delle frazioni residuali derivanti dalla combustione);

- e) smaltimento finale e messa in sicurezza a lungo termine delle frazioni residuanti dalle fasi precedenti e loro smaltimento in discarica controllata.

Scenario del sistema integrato di gestione dei RU con la RD al 65%

L'esigenza di ottimizzare le ricadute sociali, economiche ed ambientali della gestione dei RU, comporta la necessità di sviluppare sul territorio un sistema di gestione integrato, supportato da tecnologie e impianti, capace di ottimizzare il rapporto costo/qualità del servizio agli utenti, in sintonia con gli obiettivi di RD, riciclo dei materiali, del recupero di materia e del trattamento e smaltimento finale per il rifiuto residuale col miglior risultato ambientale complessivo.

Un tale modello organizzativo va, di conseguenza, attuato in ambiti caratterizzati dalla presenza di un congruo numero di utenti, per poter ottenere adeguate economie di scala, condizione necessaria per una maggiore produttività del servizio stesso²¹.

Immaginando un "naturale" percorso evolutivo dei sistemi di gestione rifiuti, è difficile immaginare un sistema a bassa tecnologia ed estremamente frammentato sul territorio. Riciclo, recupero di materia e recupero energetico, implicano la disponibilità di un certo numero di impianti che in alcuni casi possono essere gestiti da singoli soggetti pubblici o privati, altri richiedono la concorrenza di interessi di una "rete" molto ampia di soggetti, comprendente il sistema produttivo, utilizzatore finale dei materiali recuperati. Inoltre, tutto il discorso sulla ottimizzazione della RD deve essere accompagnato, oggi, da un supporto tecnico-scientifico che, indipendentemente dai probabili problemi di mercato, indichi i possibili riutilizzi per qualsiasi frazione negli attuali processi produttivi in quanto la RD deve coincidere con il riciclo e/o recupero. È ragionevole presumere che per alcune frazioni sussistano margini ampi per realizzare il 100% di riciclo e/o recupero e

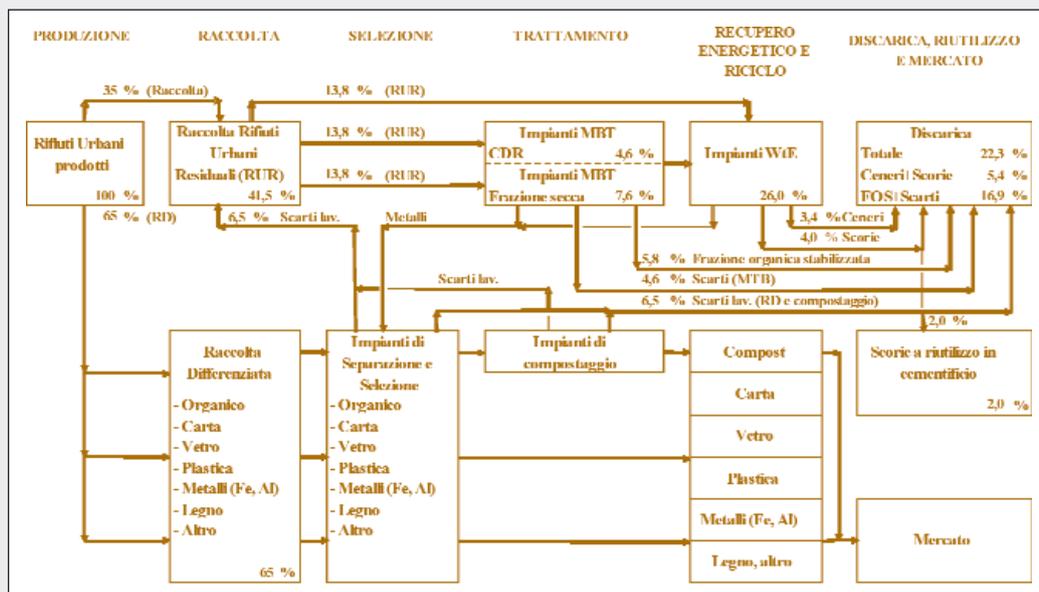


Figura 3
 Sistema integrato con raccolta differenziata al 65%
 Fonte: elaborazione ENEA

che per altre l'oggettiva non convenienza economico-ambientale si raggiunga a livelli inferiori. Va tuttavia considerato che il concetto di RD in un sistema integrato ha probabilmente una valenza tecnica che va al di là di quella di "educazione alla trasformazione comportamentale", in quanto tutto ciò che va nella direzione di rendere il processo dei RU, con le loro caratteristiche intrinseche di omogeneità, simile ad un processo industriale, facilita comunque le possibilità tecniche di riciclo e recupero. Tipicamente, delle frazioni tradizionalmente raccolte in modo differenziato in ambito urbano, il destino di vetro e metalli è "rigido"; è al contrario "flessibile" quello del ligneo-cellulosico (riciclo, compostaggio, digestione anaerobica, recupero energetico) ed è problematico quello della plastica, per la quale il recupero di materia attuato con metodi fisico-meccanici è alquanto limitato, al pari del *feedstock recycling*¹.

I trattamenti termici si configurano come alternativi all'incenerimento, per la componente plastica e dei RU in genere, così come degli scarti o delle eccedenze della componente RD, e permettono in generale di superare i problemi connessi al grado di purezza del materiale da trattare. Lo scenario del sistema integrato riportato in *figura 3* descrive in valori percentuali, rispetto al valore di produzione dei RU, i percorsi dei flussi principali. Il sistema nel considerare i flussi per qualità e quantità, le varie tecnologie di raccolta, di valorizzazione e di corretto smaltimento, ha come scopo quello di arrivare alla definizione delle metodologie di gestione. Esso rappresenta l'insieme di strategie, attività e tecnologie che hanno come obiettivo finale quello di "risolvere" il problema dei RU, ed è basato sul principio della chiusura del ciclo di vita delle varie componenti merceologiche presenti nei RU.

1. Processo termochimico attraverso il quale i legami molecolari dei materiali vengono decomposti producendo sostanze gassose e liquide da poter essere utilizzate come combustibili e materia prima nell'industria della chimica.

Gli elementi caratterizzanti del sistema si rifanno alla gerarchia sequenziale, dalla prevenzione alla discarica, esplorando le potenzialità di riciclo e recupero meccanico, biologico, chimico, termico; garantendo salvaguardia ambientale, ottimizzazione e sostenibilità economica, nonché accettabilità sociale.

A partire dalla determinazione del valore in percentuale della RD (65% al 2012) indicato dalla normativa, nello scenario si è assunto il ricorso alle seguenti strutture impiantistiche:

- a) trattamenti meccanico-biologici per la produzione della frazione combustibile (CDR, frazione secca, bioessiccato) e la produzione della frazione organica stabilizzata;
- b) trattamenti termici sulla frazione residuale e sulla frazione combustibile;
- c) smaltimento in discarica per gli scarti ed i residui di trattamento.

In relazione ad esse e ad una ragionevole previsione sulla loro ripartizione futura – a fronte degli impianti esistenti e programmati – del flusso di indifferenziato, si assume che:

- il Rifiuto Urbano Residuale (RUR) viene inviato per 1/3 al recupero energetico e per i restanti 2/3 viene trattato negli impianti di selezione meccanico-biologica (MBT), di cui 1/3 per la produzione di CDR e 1/3 per la produzione della frazione secca, da inviare entrambi al recupero energetico;
- il valore in peso delle ceneri leggere viene raddoppiato per tenere conto del processo di inertizzazione;
- il 50% delle scorie di combustione viene recuperato mediante loro riutilizzo in cementificio;
- non vengono conservativamente indicati eventuali flussi significativi di CDR ad impianti industriali;
- si valutano nel 20% gli scarti dal sistema RD (valore supportato dai dati CONAI).

Allo scopo di ipotizzare la sua fattibilità rispetto al sistema nazionale in relazione ai fabbisogni impiantistici, prendendo come riferimento la produzione 2008 dei RU, pari a 32,47 milioni di tonnellate, vengono riportati in *figura 4* i quantitativi dei vari flussi costituenti il sistema

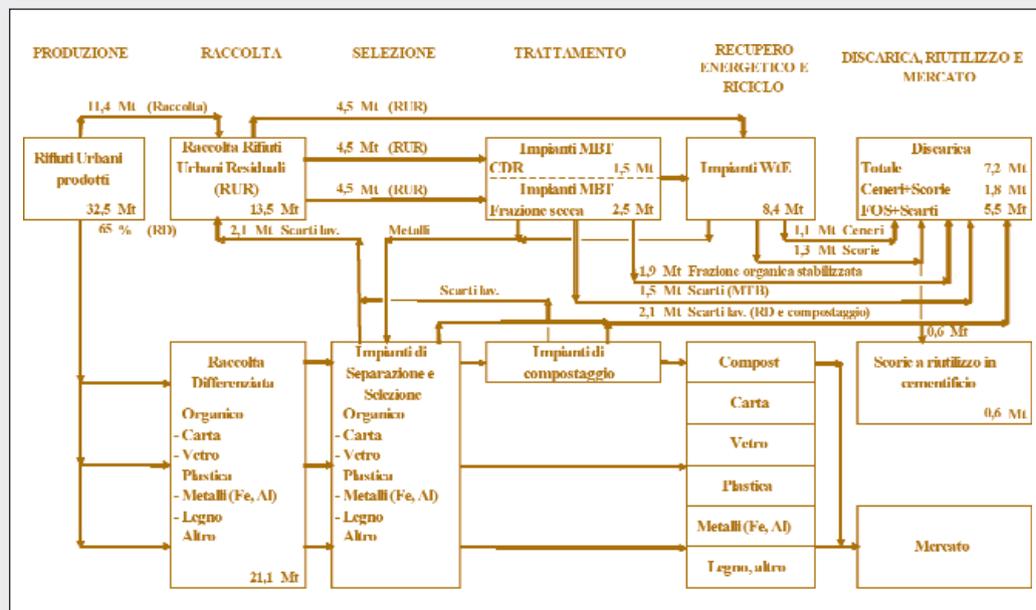


Figura 4
Sistema integrato con raccolta differenziata al 65% (Mt)
Fonte: elaborazione ENEA

Tabella 1 – Tipologie e quantitativi di rifiuti trattati negli impianti di termovalorizzazione

Area geografica	Anno	Rifiuti urbani		Frazione secca		CDR kt
		kt	%	kt	%	
Nord	2004	2.208,9	52,3	311,7	7,4	184,0
Centro		177,9	4,2	70,8	1,7	286,0
Sud		361,0	8,5	1,0	0,0	44,2
Totale		2.747,9	65,0	383,4	9,1	514,2
Nord	2005	2.673,6	61,1			188,1
Centro		238,6	5,4			297,7
Sud		300,6	6,9			125,6
Totale		3.212,8	73,4			611,4
Nord	2006	2.814,6	62,5			210,3
Centro		233,3	5,2			280,1
Sud		216,1	4,8			196,6
Totale		3.264,0	72,5			687,1
Nord	2007	2.313,9	52,0	290,9	6,5	234,4
Centro		82,1	1,8	117,4	2,6	263,0
Sud		234,3	5,3	37,3	0,8	172,8
Totale		2.630,4	59,2	445,6	10,0	670,2
Nord	2008	2.554,0	57,4	420,5	9,5	303,3
Centro		143,5	3,2	34,8	0,8	248,6
Sud		21,4	0,5	175,4	3,9	235,6
Totale		2.718,9	61,2	630,6	14,2	787,5

Fonte: elaborazione ENEA su dati ISPRA[1] ed ENEA-Federambiente[3]

integrato, espressi in milioni di tonnellate. Si sono inoltre stimati, rispetto alla produzione 2008, in relazione ai valori percentuali indicati nello scenario come valore di riferimento, i quantitativi di RUR, CDR e frazione secca da trattare negli impianti di incenerimento con recupero energetico in Italia, in quanto su tale tecnologia è più completa la disponibilità dei dati in termini di capacità di trattamento e di andamento del flusso nel corso degli anni come indicato nella *tabella 1*.

Dall'analisi della *tabella 1* si registra che i quantitativi di rifiuti avviati all'incenerimento con recupero energetico sono progressivamente aumentati nel periodo 2004-2008, passando da 4,3 milioni di tonnellate ad oltre 4,6 milioni di tonnellate.

Nello scenario sviluppato nella figura 4, che ipotizza, con i dati di produzione del 2008, un sistema integrato con una percentuale di RD al 65%, dovrebbero quindi essere avviati all'incenerimento con recupero energetico circa 8,5 mi-

CDR %	Altri speciali		Sanitari		Totale	
	kt	%	kt	%	kt	%
4,4	470,2	11,1			3.174,8	75,1
6,8	62,5	1,5			597,1	14,1
1,0	46,7	1,1			453,0	10,7
12,2	579,4	13,7			4.224,8	100
4,3	467,1	10,7	31,6	0,7	3.360,4	76,7
6,8	9,9	0,2	4,9	0,1	551,0	12,6
2,9	37,5	0,9	3,3	0,1	467,0	10,7
14,0	514,6	11,8	39,7	0,9	4.378,5	100
4,7	453,1	10,1	39,6	0,9	3.517,7	78,1
6,2	3,9	0,1	10,8	0,2	528,1	11,7
4,4	42,9	1,0	2,1	0,0	457,7	10,2
15,3	499,9	11,1	52,5	1,2	4.503,5	100
5,3	618,9	13,9	35,0	0,8	3.493,1	78,6
5,9	0,9	0,0	4,0	0,1	467,4	10,5
3,9	36,9	0,8	3,8	0,1	485,1	10,9
15,1	656,7	14,8	42,8	1,0	4.445,7	100
6,8	393,9	8,9	35,0	0,8	3.706,7	80,2
5,6	0,3	0,0	2,7	0,1	429,9	9,3
5,3	52,6	1,2	0,0	0,0	484,9	10,5
17,7	446,7	10,0	37,7	0,8	4.621,5	100

lioni di tonnellate (RUR circa 4,5 milioni di tonnellate, CDR circa 1,5 milioni di tonnellate e frazione secca circa 2,5 milioni di tonnellate) rispetto ai 4,6 milioni di tonnellate trattati nel 2008. Questo possibile e necessario spazio di "potenzialità" di trattamento con la RD al 65% evidenzia con le dovute cautele che la chiusura del ciclo di gestione dei rifiuti, in pieno accordo con i principi e la gerarchia indicati dalla normativa, richiede, per l'ottimizzazione del sistema, il passaggio ad una ulteriore dimensione "industria-

le" basata su cicli e articolazioni impiantistico-tecnologiche sempre più sinergici.

Bibliografia

- [1] APAT – ONR ed ISPRA (varie annualità), *Rapporto Rifiuti*.
- [2] Iaboni V., Landolfo P.G., *La raccolta differenziata in Italia*. Rivista Energia Ambiente e Innovazione (maggio giugno 2008).
- [3] ENEA – Federambiente, *Rapporto sul recupero energetico da rifiuti urbani in Italia* (seconda edizione – febbraio 2009).

I rifiuti nel futuro

Fabio Musmeci

ENEA, Unità Tecnica Tecnologie Ambientali

La costruzione di uno scenario che dia un quadro della quantità e della tipologia dei rifiuti, nonché della loro gestione, rappresenta un impegno difficile ma ineludibile quando si vogliono prendere decisioni basate su un'idea del futuro sostenuta da razionalità e dati oggettivi. Questo articolo presenta quanto è oggi possibile dire, sulla base della letteratura esistente, sul futuro dei rifiuti in Italia

The Future of Municipal Solid Waste

Building a scenario highlighting the quantity and types of waste as well as their management is a difficult but inevitable task when making decisions on a future based on rationality and objective data. This article reports all that can be stated on the future of municipal solid waste in Italy based on the existing literature

Quanti e come saranno i rifiuti nel futuro? Come verranno gestiti? Quali saranno i fattori chiave che determineranno il futuro in questo settore? Questo articolo tenta di dare una prima risposta a questi quesiti.

La quantità di rifiuti attesi negli anni futuri e le modalità con cui verranno trattati è di seguito denominata "scenario".

La costruzione di uno scenario rappresenta un impegno difficile ma ineludibile quando si vogliono prendere decisioni basate su un'idea del futuro supportata da razionalità e dati oggettivi, condizione questa essenziale per una condivisione con altri della propria visione e quindi delle azioni da intraprendere. Questo articolo presenta quanto è oggi possibile dire, sulla base della letteratura esistente, sugli scenari in Italia. Va ricordato che, in relazione al Dlgs 152/2006, "l'adozione di criteri generali per la redazione di piani di settore per la riduzione, il riciclaggio, il recupero e l'ottimizzazione dei flussi di rifiuti" rientra tra le competenze dello Stato (art. 195, comma 1 lettera e). Purtroppo le norme tecniche e gli indirizzi operativi in materia non sono stati tuttora emanati e gli scenari regionali e provinciali, di base per i piani, appaiono costruiti nei modi più disparati.

Appare oggi chiaro¹ che la produzione e il trattamento dei rifiuti nel futuro dipendono fortemente da:

1. evoluzione della normativa;
2. andamento demografico;
3. andamento dell'economia.

Per quanto riguarda l'evoluzione della normativa si sottolinea come i principi di una corretta gestione del ciclo dei rifiuti sono sanciti dall'Unione Europea², che individua la seguente scala di priorità:

1. riduzione all'origine di quantità e pericolosità dei rifiuti, a partire dalla ri-progettazione e dall'*ecodesign* delle merci sulla base dell'analisi del loro ciclo di vita;
2. recupero di materia, attraverso la raccolta differenziata, a scala domestica ed aziendale, e/o la selezione meccanica o chimico-fisica dei componenti organici, cellululosici, vetrosi, polimerici, metallici, nonché di inerti da demolizione, oli usati, elettrodomestici e materiali elettronici ed elettrici dismessi, auto a fine vita;
3. recupero di energia, attraverso anche la combustione, possibilmente in schemi di cogenerazione termica ed elettrica, della frazione residuale secca ad alto p.c.i. (oltre 3.500 kcal/kg), il più possibile depurata, a monte, da componenti umidi e/o pericolosi;
4. messa in sicurezza a lungo termine delle frazioni residuanti dalle fasi precedenti, con tendenziale marginalizzazione a ruolo residuale dell'interramento controllato.

Da notare conseguenti obiettivi di riciclo (non più di sola raccolta differenziata) e un più importante ruolo della frazione organica.

La frazione organica rappresenta circa il 30% dei rifiuti urbani in termini di peso. Considerando però i costi della raccolta differenziata "porta a porta" il peso economico raggiunge circa il 50% dell'intero costo di raccolta e trattamento nel sistema di gestione. A livello europeo si sta ancora attendendo una eventuale direttiva *Biowaste*. Si rilevano contrasti tra Parlamento Europeo (favorevole al rilascio della Direttiva) e Commissione su una questione di legislazione concorrente.

Particolare importanza rivestono le concessioni normative in favore del compostaggio³, sia per quanto riguarda quello "domestico" (es. sconti

1. Si veda P. Beigl et Al (2008).

2. Direttiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 19 novembre 2008.

3. La sostanza organica nel suolo, conseguenza del compostaggio, può avere un importante ruolo come sink di carbonio, per la lotta all'effetto serra e la strategia europea per il suolo (lotta alla desertificazione ecc.). Come conseguenza alla raccolta separata dell'organico potrebbero essere riconosciuti contributi analoghi a quelli oggi riconosciuti per altre frazioni dal CONAI.

tariffari), sia per quanto riguarda quello industriale (localizzazione impianti in aree agricole, marchi di qualità ecc.).

In discarica i processi anaerobici (putrefazione) emettono metano (21 volte CO_2) mentre il processo di compostaggio (aerobico) comporta sia emissione di CO_2 e un cospicuo sequestro di C nel suolo. Alcuni calcoli hanno giustamente sottolineato il fatto che un aumento dello 0,15% del carbonio organico nei suoli arabili italiani potrebbe fissare nel suolo la stessa quantità di carbonio che ad oggi è rilasciata in atmosfera per l'uso di combustibili fossili in un anno (E. Favoino 2007).

Importante per il destino della frazione organica saranno nel futuro le possibilità di:

- ottenere il riconoscimento del ruolo del compost nel sequestro di carbonio nei suoli e un

conseguente accesso al meccanismo dei certificati verdi;

- sensibilizzare la popolazione al corretto conferimento separato delle varie frazioni e in particolare della frazione organica.

A titolo di esempio, oggi sono spesi dai 10 ai 15 euro a tonnellata presso gli impianti di compostaggio per rimuovere, a monte e a valle del processo, le varie impurezze. Si pensi che su circa 3,34 milioni di tonnellate conferite (dato ISPRA 2008) agli impianti di compostaggio vengono prodotte 1,1 milioni di tonnellate di compost e circa 700.000 tonnellate di scarti di lavorazione (il resto è essenzialmente la perdita della componente dell'acqua). Di questi scarti circa 210.000 tonnellate sono plastica. Si confronti questa cifra con quella della raccolta differenziata della plastica: 502.000 tonnellate nel 2008 (dati ISPRA). Chi scrive ritiene inoltre che un ruolo importante per la configurazione del sistema futuro sia quello legato alla "assimilazione" degli speciali agli urbani, la cui riduzione offrirebbe margini di riduzione⁴ del flusso degli urbani.

Avranno importanza inoltre, secondo chi scrive, l'emanazione (e l'adozione!) di normative atte a ridurre l'usa e getta⁵ o quelle a favore del riuso⁶. E. Burgin e P. Montanari (2009) citano il caso della provincia di Torino che, dopo una prima sperimentazione in due Comuni, ha esteso a tutta la Provincia il sostegno per l'acquisto di pannolini per l'infanzia riutilizzabili⁷. Da non sottovalutare il ruolo delle cosiddette "bioplastiche" che, con un mercato in crescita di circa il 25% annuo, rivestiranno un importante ruolo sostitutivo di-vertendo verso il flusso dell'organico molti rifiuti

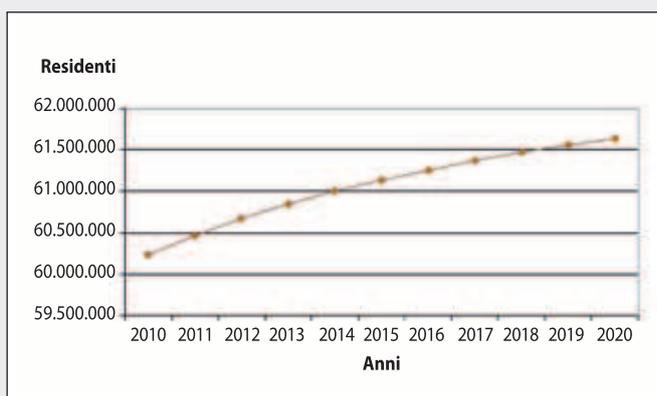


Figura 1
Dinamica dei residenti in Italia fino al 2020
Fonte: Scenario centrale, ISTAT

4. I rifiuti sono classificati in base al processo che li genera in Urbani e Speciali. Gli Urbani sono gestiti a carico del pubblico mentre gli Speciali, tipicamente monomateriali e facilmente raccolti in modo separato, sono smaltiti a carico dei privati. L'assimilazione permette la commistione tra i due flussi e l'entrata degli speciali nel ciclo degli urbani.
5. Per esempio, l'uso delle sporte in plastica per la spesa doveva, in Italia, essere posto fuori legge dal primo gennaio 2010; ora il divieto è posticipato al 2011.
6. Si veda la cd legge "Del Buon Samaritano" n. 155, entrata in vigore il 16/07/2003 "Disciplina della Distribuzione dei prodotti alimentari a fini di solidarietà sociale" o i primi tentativi di introduzione di servizi alla spina per alimentari, detersivi, acqua ecc.
7. http://www.provincia.torino.it/ambiente/rifiuti/programmazione/eco_pannolini

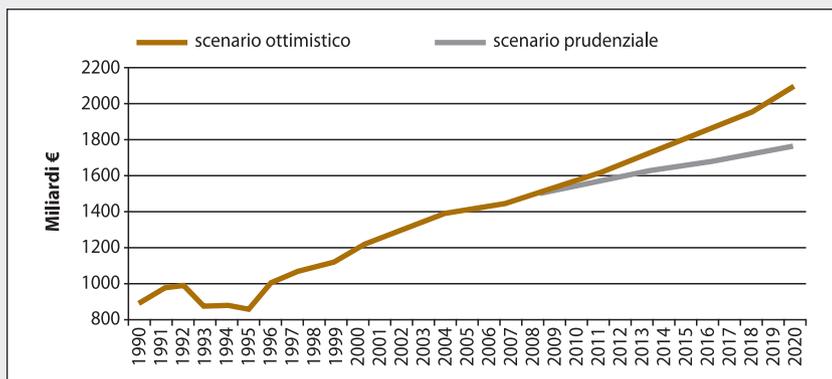


Figura 2
Scenari della dinamica del PIL
Fonte: C. Carlo et al.^[11]

(sporte, stoviglie, pannolini, teli agricoli compostabili). Diversione che andrà normata e monitorata. Per quanto riguarda gli aspetti demografici, il numero di residenti è tipicamente utilizzato come moltiplicativo di una produzione procapite. Vi è da sottolineare come anche il cambiamento della composizione per età della popolazione e del numero medio di persone (attualmente in diminuzione) per famiglia influenzi la produzione di rifiuti⁸. A rendere difficile il lavoro dell'ISTAT è l'ampiezza dei processi migratori del futuro, magari a fronte di cambiamenti climatici, tensioni sociali e disastri ambientali. La componente della popolazione costituita dai migranti avrà, almeno inizialmente, una produzione procapite inferiore a quella della popolazione italiana.

A produzione procapite costante un aumento dei residenti, come quello previsto dall'ISTAT per l'Italia, porterebbe ad un aumento dei rifiuti nel 2020 del 2,6% rispetto a quelli del 2010.

Circa l'andamento dell'economia vi è da sottolineare come si ritenga che i rifiuti siano conseguenza del consumo delle famiglie e che questo

dipenda dal reddito disponibile e, in ultima analisi, dal PIL. L'assunzione di una stretta correlazione lineare tra PIL e produzione di rifiuti viene oggi contestata, in particolare se si intende perseguire un "disaccoppiamento" tra crescita economica e consumi, obiettivo questo delle politiche di "sviluppo sostenibile". Sono state inoltre osservate dinamiche di redistribuzione della ricchezza tra Nord e Sud, tra ricchi e poveri, che potrebbero cambiare la relazione PIL-Rifiuti.

Inoltre, l'attuale fase recessiva mostra come possano essere fatti errori piuttosto significativi sulla previsione di andamento del PIL. A titolo di esempio, a fine 2006 Unioncamere prevedeva per il 2009 un aumento del PIL italiano sul 2008 dell'1,6%. La relazione di corredo alla finanziaria 2007 (redatta alla termine del 2006) prevedeva per il 2009 un aumento del PIL dell'1,2%. Aumenti non verificati di fronte al calo del 4,7% osservato nel 2009, cioè 3 anni più tardi. In altri termini, un errore percentuale di circa il 5% in soli tre anni!

Anche adottando modelli di crescita, come quelli in figura 2, si potrebbe ipotizzare, al crescere

8. Per esempio, i coefficienti utilizzati (DPR 158/99) sono 0,8 per un componente, 1,8 per due ma 1,95 per tre componenti; in altri termini, una famiglia di tre componenti produce quasi quanto una di due (solo +8% di rifiuti a fronte di una crescita del +50% dei componenti).

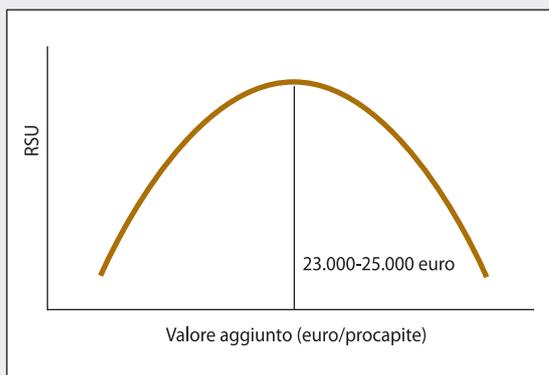


Figura 3
Esempio curva di Kuznet
Fonte: M. Mazzanti, A. Montini, R. Zoboli^[8]

della ricchezza, un effetto di saturazione (o di *decoupling*) come quello formalizzato dalle curve di Kuznet in cui, a partire da una determinata soglia di ricchezza, i rifiuti diminuiscono (*figura 3*). Gli scenari di produzione rifiuti, adottati fino ad

oggi nella pianificazione regionale e provinciale, (F. Musmeci, P.G. Landolfo 2009) si basano su metodi piuttosto semplici, essenzialmente fondati su:

- interpolazione lineare o esponenziale degli ultimi n anni (60% del totale);
- assunzione di un andamento costante almeno nella produzione procapite (20% del totale).

Solo il restante 20% dei piani prende in considerazione dinamiche più complesse, come ad esempio studi sull'andamento demografico, suddivisione del territorio in studio in aree omogenee ecc.

Essendo la pianificazione attiva da oltre dieci anni è possibile oggi stimare l'errore che si commette con questi scenari, confrontando quanto previsto con quanto effettivamente osservato, per esempio con i rapporti rifiuti annuali pubblicati da ISPRA (ex APAT e ANPA). Si osserva, per i piani più recenti (oltre il 2000), un errore percentuale di circa l'1,3% annuo. Quindi un errore atteso oltre il 5% in 5 anni e di circa il 10% in dieci anni. Avendo chiara quindi l'entità degli errori possibili, si evi-

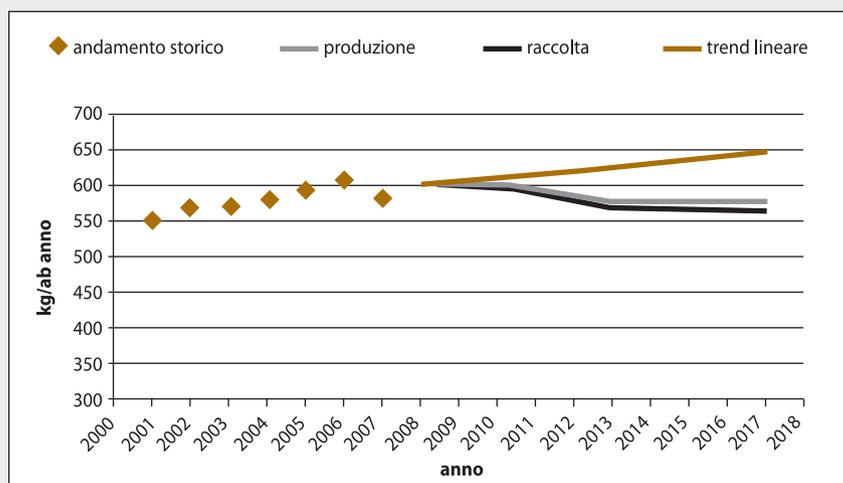


Figura 4
Esempio della produzione procapite di rifiuti prevista nella provincia di Bologna⁹
Fonte: Provincia di Bologna, Piano provinciale 2010

9. La quantità raccolta è minore di quella prodotta per effetto del compostaggio domestico.

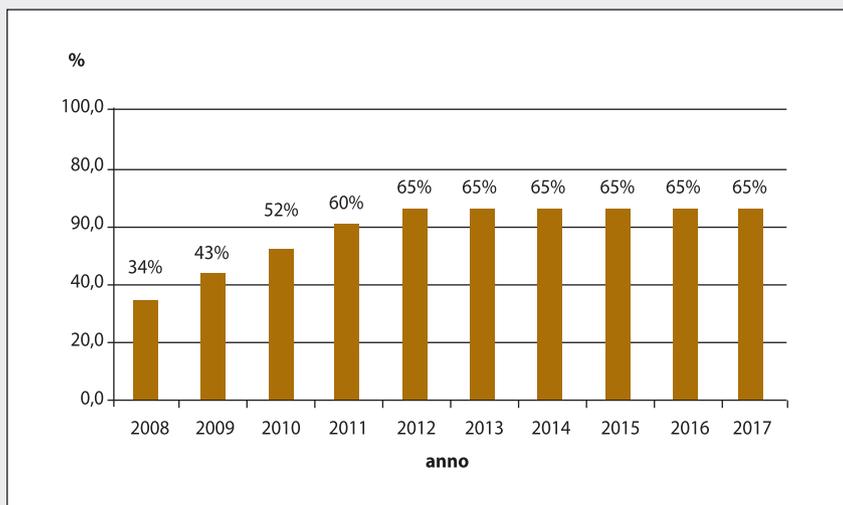


Figura 5

Andamento previsto per la percentuale di Raccolta differenziata nella Provincia di Bologna

Fonte: Provincia di Bologna, Piano provinciale 2010

denza come diversi piani provinciali assumano, anche come conseguenza delle proprie politiche di riduzione rifiuti, una sostanziale stabilità della produzione procapite e della RD (figure 4 e 5).

Secondo la pianificazione della provincia di Bologna, l'adesione delle famiglie al compostaggio domestico dovrebbe essere dell'8,8%.

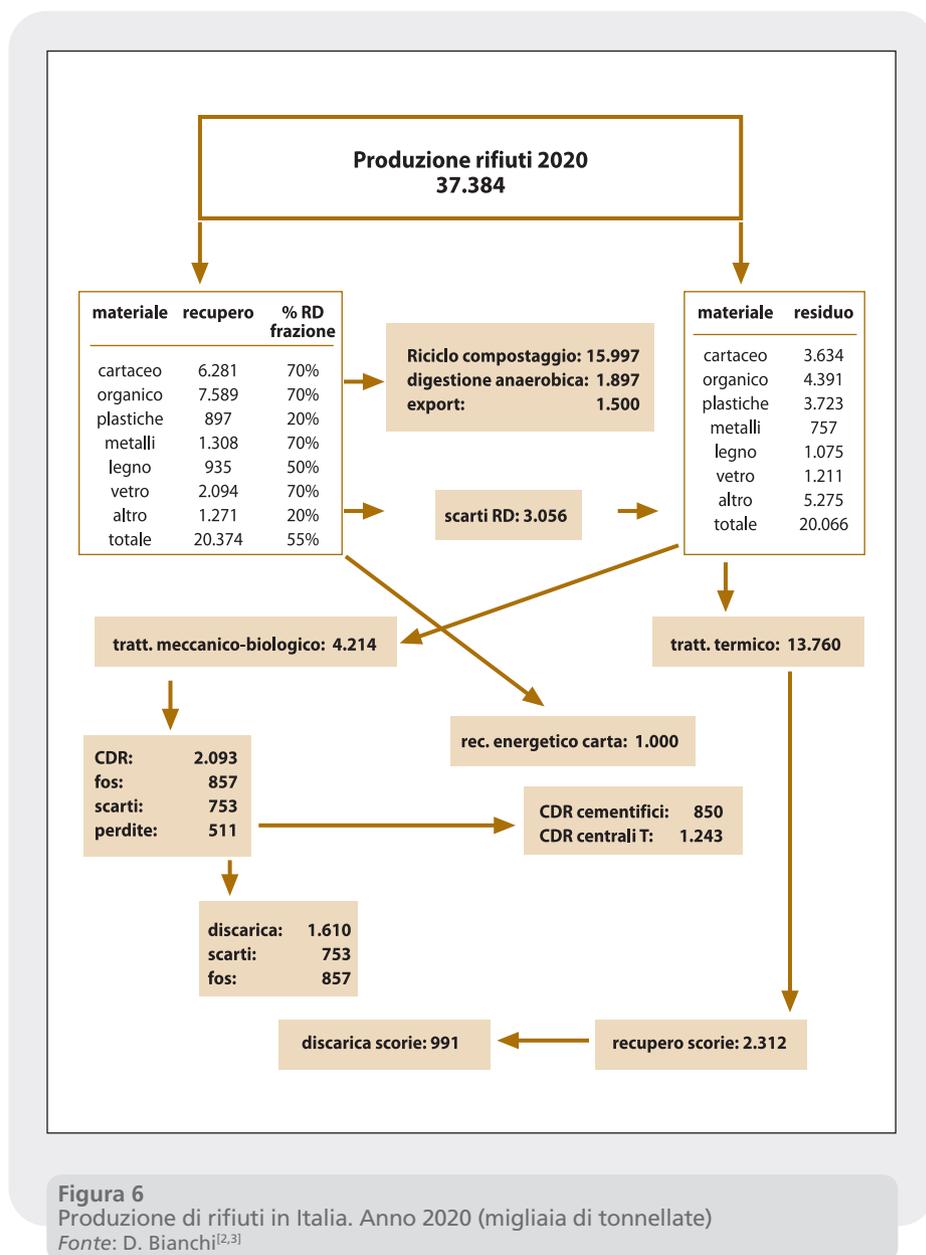
Considerando, in prima approssimazione, il periodo di ammortamento di impianti di una certa complessità, lo scenario presentato nei piani dovrebbe essere di almeno 10 anni. Di questo ne sono coscienti anche alcune amministrazioni, in quanto nello stesso piano provinciale di Piacenza è rilevato come la Regione Emilia Romagna richieda, per i piani provinciali, un periodo minimo di 10 anni di scenario. L'orizzonte del 2020 diviene quindi un riferimento importante, considerando il fatto che corrisponde anche all'anno di riferimento per le politiche su effetto serra e risparmio energetico dell'Unione Europea.

A livello nazionale è da segnalare il libro *Il riciclo Ecoefficiente* (D. Bianchi 2008), che presenta uno scenario nazionale di produzione di rifiuti urbani al 2020 stimata intorno a 37,4 milioni di tonnellate, con una crescita di poco meno di 5 milioni di tonnellate rispetto al 2005, pari a un incremento del 15%, inferiore a quello previsto per il PIL (viene assunta una crescita del PIL del 1,65% annuo¹⁰).

Complessivamente, su scala nazionale, le stime di raccolta differenziata, per il lavoro citato, prevedono di raggiungere un tasso medio di intercettazione del 55%¹¹, equivalente a 20,4 milioni di tonnellate di materiali. Per i materiali derivanti da raccolta differenziata si prevede sia il riciclaggio come materiale (prevalente per tutte le tipologie ed esclusivo per metalli e vetro) sia il compostaggio e la digestione anaerobica (per la frazione organica), sia, infine, l'uso energetico (per carta in co-combustione con biomasse). Si

10. La crescita assunta per il PIL risulta oggi eccessivamente ottimistica.

11. Inferiore quindi di dieci punti rispetto l'obiettivo del 65% entro il 2012.



prevede una media globale di scarti della differenziata pari a circa il 15% del materiale¹², destinata a valorizzazione energetica. Per la plastica e la carta, però, si assumono anche esportazio-

ni dirette (1 milione di tonnellate per la carta, 500.000 per la plastica). Rispetto alla situazione attuale, gli incrementi di riciclo più sensibili alla crescita sono previsti per

12. Questa cifra appare pessimistica e simile a quella ottenibile con sistemi di raccolta multi-materiale, con sistemi di raccolta come il "porta a porta" essa scende al di sotto del 5%.

la carta, i metalli e le plastiche, oltre che per la frazione organica.

Al 2020 si prevede una quantità di rifiuti residui pari a 20 milioni di tonnellate, composti da 17 milioni di rifiuti indifferenziati e da circa 3 milioni di scarti da RD (figura 6). Il sistema di gestione del rifiuto residuo è fondato, secondo lo studio di D. Bianchi, su tre criteri:

1. massimizzare i recuperi energetici con sistemi che consentano di ridurre quanto più possibile le emissioni generate e, in particolare, quelle climalteranti;
2. ridurre ai minimi tecnici la quantità di rifiuti re-

sidui destinata alla dismissione in discarica, in particolare le frazioni suscettibili di generare emissioni, soprattutto di biogas;

3. semplificare il ciclo di trattamento, mantenendo una riserva di flessibilità in funzione dell'andamento della produzione di rifiuti e dello sviluppo dei recuperi.

L'ipotesi impiantistica proposta richiede un potenziamento della dotazione esistente, in particolare per impianti di trattamento termico e per impianti di digestione anaerobica.

L'elevata e già esistente dotazione di impianti di trattamento meccanico-biologico¹³ potrà essere

Tabella 1 – Raccolta differenziata in Italia: scenario al 2020 (migliaia di tonnellate)

Materiale	Raccolta	% RD	Riciclo e Compostaggio	Digestione Anaerobica	Export	Uso Energetico	Scarti
Cartaceo	6.281	70	4.281		1.000	1.000	942
Organico	7.589	70	5.692	1.897			1.138
Plastiche	897	20	397		500		135
Metalli	1.308	70	1.308				196
Legno	935	50	935				140
Vetro	2.094	70	2.094				314
Altro	1.271	20	1.271				191
Totale	20.375	55	15.977	1.897	1.500	1.000	3.056

Fonte: D. Bianchi^[2]

Tabella 2 – Fabbisogni impiantistici in Italia al 2020 e capacità esistenti (migliaia di tonnellate)

	autorizzato 2006	operativo 2006	richiesto al 2020	differenza operativa	
compostaggio	5.901.214	3.185.597	5.692.000	2.506.403	79%
digestione anaerobica	360.000	229.000	1.897.000	1.668.000	728%
trattamento meccanico biologico	13.748.861	9.046.509	4.134.000	-4.912.509	-54%
incenerimento		4.505.000	13.760.000	9.255.000	205%

Fonte: D. Bianchi^[2]

13. Si noti il segno meno, per gli impianti TMB, in tabella 2.

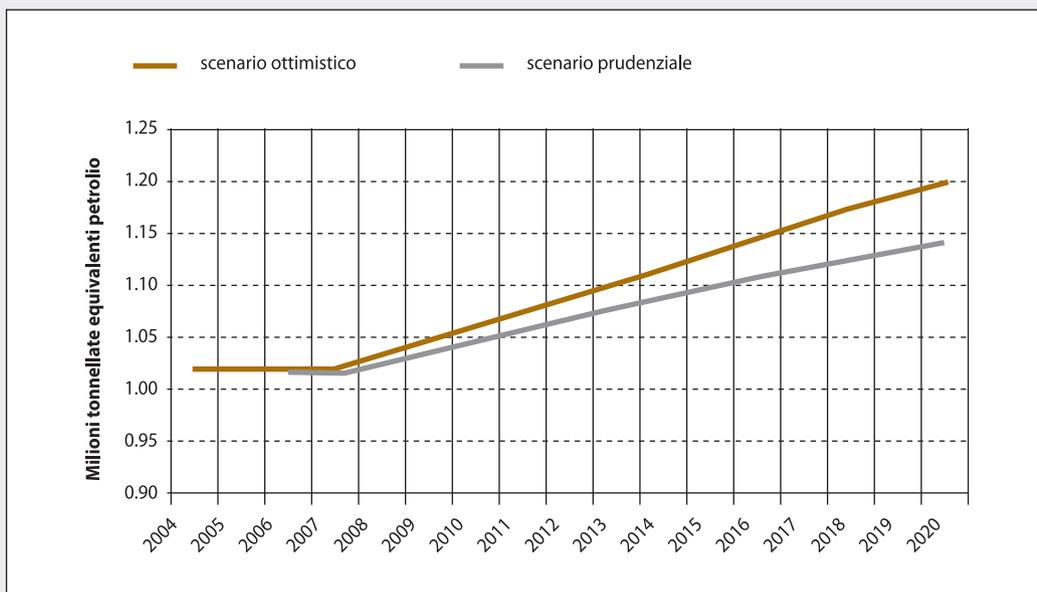
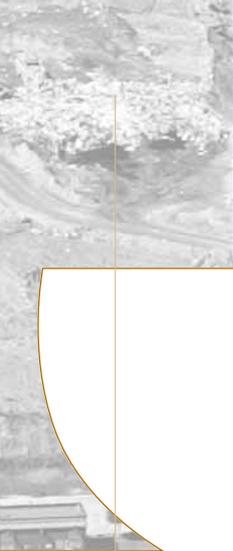


Figura 7
 Andamento storico e scenari per il contributo dell'incenerimento con recupero energetico in Italia (tep)
 Fonte: C. Carraro et al.^[12]

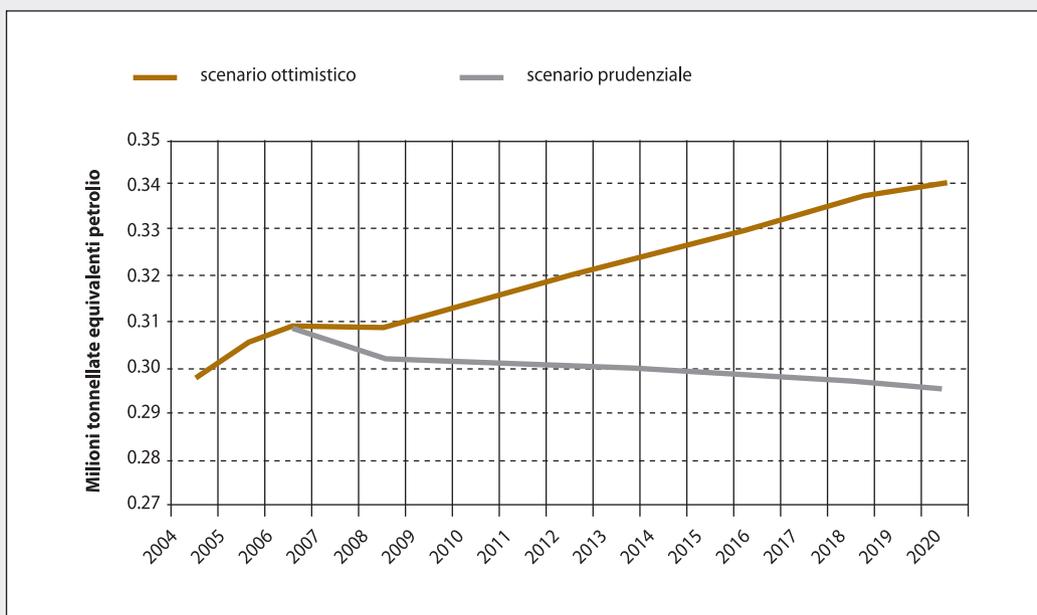


Figura 8
 Andamento storico e scenari per il contributo dell'uso del biogas da discarica in Italia (tep)
 Fonte: C. Carraro et al.^[12]

qualificata per la produzione di CDR da co-combustione, in cementifici e centrali termoelettriche a carbone esistenti.

Se si considera il mix degli input energetici del settore elettrico, nel periodo considerato da Carraro (2007-2020), vediamo che questo si modi-

fica in entrambi gli scenari solo marginalmente: il recupero da incenerimento passa dall'1,9% sul totale nel 2007 al 2,1% nel 2020 nello scenario ottimistico e al 2,0% in quello prudentiale; il biogas rimane pressoché costante attorno allo 0,6% sul totale in entrambi gli scenari.

Riferimenti

- [1] P. Beigl, S. Lebersorger, S. Salhofer, *Modelling municipal solid waste generation: A review*. Waste Management 28 (2008) 200-214.
- [2] D. Bianchi, *Il riciclo ecoefficiente*, Edizioni Ambiente 2008.
- [3] D. Bianchi, *Nuovi scenari di gestione dei rifiuti al 2020*, Rifiuti Solidi Vol. XXIII n. 5 settembre/ottobre 2009.
- [4] E. Burgin, P. Montanari, *Produrre meno rifiuti*, Edizioni Ambiente, 2009.
- [5] Governo Italiano, *Documento di programmazione economico-finanziaria 2007-2011*, ottobre 2006.
- [6] Commissione Europea. http://ec.europa.eu/environment/waste/studies/climate_change.htm
- [7] E. Favoino, *Le strategie europee sulle biomasse di scarto tra riciclaggio e recupero energetico: quali dinamiche alla luce del cambiamento climatico*. http://www.a21italy.it/rifiuti21network/gdl/programma_di_lavoro/trento_03_12_07/Favoino.pdf
- [8] M. Mazzanti, A. Montini, R. Zoboli: *Municipal Waste Production, Economic Drivers, and 'New' Waste Policies: EKC Evidence from Italian Regional and Provincial Panel Data*, FEEM Nota di lavoro 155.2006.
- [9] F. Musmeci, P.G. Landolfo, *Analisi degli scenari di produzione rifiuti nella programmazione regionale e provinciale dal 1996 al 2007*. Atti Economo 2009, Rimini 2009.
- [10] Provincia Di Bologna, Assessorato Ambiente, *Piano Provinciale Gestione Rifiuti*, gennaio 2009.
- [11] C. Carraro et al., *E=mc² Energia da rifiuti in Italia: potenzialità di generazione e contributo alle politiche di mitigazione dei cambiamenti climatici*, Ecocerved UNIONCAMERE, Roma dicembre 2009.
- [12] UnionCamere, *Scenari di sviluppo delle economie locali*, ottobre 2006.

L'altra faccia del tabagismo

Carmine Ciro Lombardi*
Giuliana Di Cicco**
Giacomo Mangiaracina***

* ENEA, Unità Tecnica Biologia delle Radiazioni e Salute dell'Uomo

** ENEA, Centro Ricerche Casaccia

*** Università di Roma La Sapienza, Dipartimento di Scienze di Sanità Pubblica e Società Italiana di Tabaccologia (SITAB)

Il tabagismo non esaurisce i suoi effetti solo sulla salute di fumatori e non fumatori, ma influenza anche altri aspetti della vita di tutti i giorni, quali inquinamento indoor, incidenti stradali, incendi boschivi e domestici, impatto ambientale provocato dalle cicche immesse indiscriminatamente sul territorio, che verranno esaminati e discussi in questo contributo

The Other Side of Tabagism

Not only has tabagism negative effects on smokers and non-smokers' health, but it also influences other aspects of everyday life reported and described in depth in this article: indoor pollution, street accidents, domestic and woodland fires, environmental impact due to cigarette stubs spread indiscriminately on the territory

Il tabagismo è la principale causa di morte prevenibile. Il tabacco è l'unico prodotto di libera vendita che uccide da un terzo a metà di quelli che ne fanno uso. Le più recenti ricerche hanno inoltre evidenziato che respirare fumo passivo può causare il cancro e molte malattie respiratorie e cardiache sia nei bambini che negli adulti.

Nei paesi industrializzati attualmente il fumo è responsabile dell'85% dei tumori del polmone, del 69% delle bronco-pneumopatie cronico-obstruttive e del 22% delle malattie cardiache e cerebrovascolari.

Nonostante le evidenze, il numero dei fumatori in Italia è ancora elevato e in aumento. Allarmante è anche la crescente diffusione del fenomeno tabagismo nei giovani e nelle donne. La legge vieta il fumo nei locali chiusi, sia pubblici che privati aperti agli utenti, ma nulla vieta il fumo nelle abitazioni e ciò espone familiari (soprattutto i bambini), conoscenti e amici a respirare aria contaminata da migliaia di sostanze chimiche nocive, tossiche e cancerogene^[1].

Secondo l'OMS l'unica soluzione per proteggere completamente gli individui dagli effetti del fumo passivo è quella di creare ambienti al 100% senza fumo.

Sugli effetti del fumo attivo e passivo ci sono molti riscontri e molte evidenze scientifiche. Queste evidenze sono state tradotte in scritte di pericolo e avvertimento. Da tempo, infatti, sui pacchetti di sigarette troviamo scritte come "il fumo uccide", "il fumo provoca cancro mortale", "proteggi i bambini: non fare loro respirare il tuo fumo" ecc.

Nonostante le avvertenze siano chiare e precise, una parte della popolazione continua ad andare dal tabaccaio a comprare un prodotto pericoloso. I fumatori non si lasciano certo intimidire, non si spaventano, anzi il più delle volte di fronte a queste evidenze reagiscono in modo indignato perché si sentono vittime di un presunto atto di terrorismo psicologico.

Il tabagismo però non esaurisce i suoi effetti solo sulla salute dei fumatori e dei non fumatori, ma influenza anche altri aspetti della vita di tutti i giorni: inquinamento indoor, incidenti stradali, incendi bo-

schivi e domestici, impatto ambientale provocato dalle cicche immesse indiscriminatamente sul territorio ecc.

Nel presente articolo verranno discussi ed esaminati gli effetti del tabacco sui bambini, sugli incidenti stradali e sugli incendi domestici e boschivi.

Tabacco e bambini

Secondo l'OMS circa la metà dei bambini di tutto il mondo viene esposto al fumo ambientale (fumo passivo) prodotto da più di 1,2 miliardi di fumatori. In Italia circa il 22% dei bambini ha una madre fumatrice e di questi il 52% è esposto a fumo di tabacco in casa. Il 49% dei neonati e dei bambini fino a 5 anni ha almeno un genitore fumatore e il 12% ha entrambi i genitori fumatori.

Il fumo materno durante la gravidanza è la principale causa di morte improvvisa del lattante (*sudden infant death syndrome*, SIDIS) e di altri effetti sulla salute, come il basso peso alla nascita e la ridotta funzionalità respiratoria^[2].

L'asma, la malattia cronica più comune nei bambini, è più frequente tra i bambini i cui genitori fumano. Secondo l'Agenzia per la Protezione Ambientale della California (EPA) ci sono evidenze consolidate del fatto che il fumo passivo è un fattore di rischio per l'induzione dell'asma; nei bambini esposti il rischio di riacutizzazione dell'asma aumenta dell'80%^[3]. L'esposizione al fumo passivo nell'infanzia è anche associata ad otite media acuta e cronica^[4]. In Italia si calcola che ogni anno il fumo passivo causa circa 250.000 polmoniti e bronchiti nei bambini sotto i 18 mesi, di cui 15.000 vengono ospedalizzati^[5]. Nella *figura 1* è riportato un atteggiamento ritenuto normale da un fumatore che consuma la sua sigaretta in presenza di un bambino, incurante dei rischi a cui questo viene sottoposto.

La legge che vieta il fumo nei luoghi chiusi non riguarda le abitazioni private, e quindi in casa si continua a fumare e a contaminare l'aria indoor. È paradossale che individui "rispettosi" delle norme di sicurezza nei luoghi di lavoro, quando arrivano tra



Figura 1
Tipico atteggiamento di un fumatore in casa
Fonte: immagine tratta da Internet

le mura domestiche si dimentichino della legge 626/94 e del Testo Unico che tutela la salute e la sicurezza nei luoghi di lavoro, continuando a fumare in tutti i luoghi possibili senza tener conto della salute delle persone care.

Esistono norme locali che vietano il fumo non solo nei luoghi chiusi ma anche in quelli aperti, dove è possibile un assembramento di persone, come le stazioni ferroviarie. Il tabagista è "incapace o restio" a prendere in considerazione queste disposizioni e continua a fumare incurante del danno che sta causando alle persone vicine.

Tra l'altro non è raro neanche imbattersi in genitori che, portando a spasso i bambini con il passeggino, si preoccupano dei possibili effetti dell'inquinamento urbano o del freddo e poi fumano tranquillamente vicino al passeggino, o meglio ancora in faccia ai bambini che portano in braccio.

Ogni anno in Italia avvengono numerosi casi di avvelenamento causati dall'ingestione di sostanze chimiche e farmaci non adeguatamente custoditi. Anche le cicche di sigaretta rappresentano un pericolo per i bambini i quali, spinti dalla loro curiosità, possono ingerirle, così come altri piccoli oggetti^[7].

Le cicche di sigaretta contengono moltissime sostanze chimiche tra cui la nicotina, un potente insetticida. Il quantitativo di nicotina contenuto in una cicca può essere pericoloso per la salute dei bambini e causare diversi disturbi tra cui nausea e vomito. Il contenuto di nicotina presente in poche cicche, se ingerito da un bambino, può causare depressione respiratoria e paralisi^[8].

L'impegno a non fumare nei luoghi chiusi, in casa o in vicinanza di altre persone costituisce un punto di riferimento comportamentale in grado di aumentare il livello di civiltà del nostro paese.

Tabagismo e incidenti stradali

Ogni giorno in Italia si verificano più di 600 incidenti stradali, che causano la morte di 15 persone e il ferimento di oltre 850. Nel complesso ogni anno si verificano più di 230.000 incidenti che causano il decesso di circa 5.000 persone e il ferimento di circa 325.000.

Il 91% degli incidenti stradali è causato dal comportamento scorretto del conducente alla guida del veicolo. In particolare, il 15% del totale delle cause è rappresentato dalla guida distratta, il 12% dall'eccesso di velocità e l'11% dal mancato rispetto della distanza di sicurezza^[9].

Le cause di distrazione sono molteplici, come accendere e sintonizzare la radio, parlare al telefono, mangiare e bere durante la marcia, consultare cartine stradali o il navigatore satellitare. Diversi studi riportano che fumare durante la guida comporterebbe un rischio di distrazione superiore a quello causato dalla presenza di animali liberi nell'abitacolo, o dalla consultazione di cartine e guide^[10]. Un recente lavoro, basato sull'analisi e misurazione dei tempi di distrazione, ha messo in evidenza che fumare durante la guida costituisce una pratica a rischio equivalente all'utilizzo del telefono cellulare^[11].

La distrazione durante la guida è stata valutata utilizzando una telecamera digitale che consente di visualizzare il volto dei soggetti, in modo tale da poter codificare a posteriori la posizione dello sguardo mentre il soggetto è alla guida dell'automobile. La distrazione è stata codificata sommando i tempi durante i quali il soggetto ruota la testa e/o distoglie lo sguardo dalla strada mentre esegue ciascuna delle operazioni necessarie per fumare una sigaretta con il veicolo in movimento (*cercare il pacchetto – prendere la sigaretta – accendere la sigaretta – riporre l'accendino – fumare – spegnere la sigaretta*).

Lo studio ha messo in evidenza che i tempi medi di distrazione totali di ogni singolo soggetto relati-

vi alle diverse fasi sono stati di 11,5 secondi. Tale tempo, rapportato alla velocità di 50 km/h, corrisponde a 159,9 metri percorsi al buio, mentre a 120 km/h tale percorso risulta pari a ben 283 metri. I risultati di questi studi dimostrano che fumare durante la guida rappresenta un rischio rilevante per la sicurezza stradale, superiore a quello riscontrato in analoghi test effettuati sull'uso del telefonino^[11-12].

Nella *tabella 1* sono riportati, a titolo di confronto, i tempi di distrazione alla guida dovuti all'abitudine di fumare e all'uso del telefonino.

È da tener presente che questi test sono effettuati su soggetti volontari consapevoli di essere videoregistrati, e che questa situazione induce negli stessi una maggiore attenzione. Nonostante ciò i tempi di distrazione medi per fumare una sigaretta sono risultati misurabili e di entità rilevante. Altro dato emerso dallo studio è l'aver constatato che 3 soggetti su 10 hanno lasciato il volante con entrambe le mani per accendere la sigaretta mentre il veicolo era in movimento^[11].

Va inoltre considerato che fumare al volante rappresenta solo uno dei comportamenti che inducono disattenzione e distrazione. È possibile che durante la guida il conducente si dedichi anche ad altre azioni, come regolare la sintonia e il volume della radio, guardare fuori dal finestrino, ricevere una telefonata ecc. Queste ultime azioni, compiute mentre si fuma una sigaretta, comportano un ulteriore incremento del rischio di distrazione. Risulta evidente quindi che il gesto



Figura 2
Tipico comportamento di un fumatore al volante
Fonte: immagine tratta da Internet

apparentemente innocuo di fumare una sigaretta al volante crea situazioni di rischio che si possono ripetere più volte al giorno, determinando condizioni di grande pericolo per la sicurezza stradale, per il conducente e per i terzi trasportati. Nella *figura 2* è riportato il tipico atteggiamento di un automobilista che fuma durante la guida: il volante è tenuto in modo non corretto e in caso di emergenza non permette di eseguire correttamente e con tempestività i movimenti necessari.

La problematica del fumo al volante interessa anche la salute e la sicurezza sul lavoro. Infatti tra gli incidenti stradali sono annoverati numerosi casi di infortuni lavorativi. Incidenti mortali subiti dai lavoratori durante il percorso casa-lavoro e quelli subiti durante lo svolgimento di attività lavorative che prevedono l'uso di autoveicoli sono riconosciuti in Italia come infortuni lavorativi^[13].

Tabella 1 – Tempi di distrazione, corrispondenti a metri percorsi al buio, nel caso di uso del telefonino e di fumo durante la guida

Uso radio e telefonino durante la guida		Fumare alla guida di un veicolo		
Rispondere a una chiamata	Tempo di distrazione (sec)	2,1	Prendere la sigaretta e l'accendino	
	Metri percorsi a 50 km/h	29		Tempo di distrazione (sec)
	Metri percorsi a 120 km/h	70		2,9
Abbassare il volume della radio	Tempo di distrazione (sec)	1,5	Accendere la sigaretta	
	Metri percorsi a 50 km/h	21		Tempo di distrazione (sec)
	Metri percorsi a 120 km/h	50		2
			Metri percorsi a 50 km/h	27,8
			Metri percorsi a 120 km/h	66,6

Fonte: elaborazione degli autori^[11]

Secondo l'ACI i comportamenti scorretti e la distrazione continuano a causare il 90% degli incidenti: i fumatori provocano il 50% in più degli incidenti rispetto agli altri guidatori.

Questi risultati sono stati confermati al recente summit mondiale sulla sicurezza stradale tenutosi a Mosca. Stati Uniti, Gran Bretagna e Messico si sono dimostrati d'accordo nel mettere al bando questo tipo di distrazione. Proprio grazie a questo tipo di impegno da parte del governo, il Messico ha fatto registrare i migliori risultati tra i paesi sudamericani nella riduzione dell'incidentalità stradale^[14].

Sarebbe quindi opportuno proibire il fumo al volante, introducendo anche opportune sanzioni in accordo a quanto avviene per l'uso del telefonino. A tale proposito vale l'esempio del governo di San Marino, che già dal marzo 2008 ha reso operativo il divieto di fumo al volante.

Ovviamente divieti e sanzioni da soli non bastano, occorre una adeguata campagna di formazione e sensibilizzazione per modificare i comportamenti e far sì che non fumare al volante diventi un comportamento normale e non un obbligo imposto dalle norme da rispettare per paura delle sanzioni.

La proibizione del fumo in auto come avviene in alcuni paesi, oltre a ridurre il numero degli incidenti potrebbe avere un'influenza positiva sul numero delle morti bianche, ossia sul numero di lavoratori che perdono la vita a causa del lavoro.

Recentemente in Italia sono state presentate a livello parlamentare alcune proposte per vietare il fumo al volante, che fino ad oggi, però, non si sono tramutate in norme.

Una ricerca della Brunel University, ha messo in evidenza che chi fuma al volante guida più velocemente e in maniera più frenetica rispetto a chi è esente dal tabagismo. Da qui la proposta di alcune compagnie di assicurazione britanniche di mag-

giorare il costo delle polizze per chi si accende una sigaretta in macchina.

Al fine di migliorare le conoscenze circa le cause dell'incidentalità sarebbe opportuno fare delle modifiche al sistema di raccolta delle informazioni sulle modalità con cui si verifica un incidente stradale.

Attualmente i dati sugli incidenti stradali vengono raccolti attraverso la compilazione del modello ISTAT CTT/INC, denominato "incidenti stradali", da parte dell'autorità che è intervenuta sul luogo del sinistro (Polizia, Carabinieri, Vigili Urbani ecc.).

Il modello statistico, abbastanza articolato se compilato in modo corretto in ogni sua parte, contiene molte informazioni necessarie alla identificazione della localizzazione e della dinamica dell'incidente: data e luogo del sinistro, organismo pubblico di rilevazione, area di localizzazione dell'incidente (centro urbano, strada provinciale, autostrada ecc.), dinamica del sinistro, tipo di asfalto, condizioni meteo, tipo di veicoli coinvolti, circostanze che hanno dato origine all'incidente e conseguenze alle persone e ai veicoli.

Il modello in oggetto non prevede di raccogliere informazioni circa le abitudini al fumo dei conducenti dei veicoli coinvolti nel sinistro. Sarebbe opportuno inserire nel modello ISTAT anche questo tipo di indicatore, al fine di realizzare statistiche più precise circa l'incidentalità correlata al fumo durante la guida.

Tabagismo e incendi

Effetti collaterali del consumo di tabacco sono determinati dalle cicche non spente, buttate o abbandonate in ambiente esterno, in casa o sui luoghi di lavoro. Questi sono rappresentati da incendi boschivi e residenziali^[15].

Nella *tabella 2* sono riportati i dati riferiti agli anni

Tabella 2 – Numero di incendi boschivi causati da cicche e fiammiferi

Anno	Incendi boschivi in Italia dovuti a mozziconi di sigaretta e fiammiferi
2007	6.000
2008	6.331

Fonte: Tabaccologia, 4/2009

2007/2008 relativi agli incendi provocati in Italia da mozziconi di sigaretta e fiammiferi.

In Italia più di 1.000 persone ogni anno muoiono a causa dell'inalazione di fumi e vapori tossici che si sviluppano in seguito ad incendi. Secondo la National Fire Protection Association, negli USA ogni anno quasi 5.000 persone perdono la vita a causa di incendi provocati da fumatori distratti.

È abbastanza frequente leggere sui giornali, o sentire in televisione, di incendi causati da fumatori che mentre fumano si addormentano sul divano oppure a letto, con conseguenze spesso nefaste.

Il rischio di morte per incendi di strutture abitative causati da sigarette accese o da cicche di sigaretta non spente aumenta con l'età. Un terzo degli incendi fatali in casa si verifica a carico di over 65enni.

Anche la dispersione incontrollata di cicche in ambiente costituisce una pratica pericolosa, perché queste contengono tabacco arricchito di sostanze volatili, ossia una miscela combustibile in grado di continuare ad ardere fino a diversi minuti anche senza aria. Basta un po' di vento, qualche foglia secca, un po' di carta e la miscela si accende. I fumatori devono pertanto sempre assicurarsi che i mozziconi siano spenti prima di gettarli^[7].

Storicamente i primi divieti di fumare sono stati introdotti proprio nei luoghi di lavoro per prevenire incendi ed esplosioni, come ad esempio nell'industria chimica.

Da diversi anni le morti causate da incendi di sigaretta vengono inserite, a ragione, nelle statistiche internazionali di decessi da fumo di tabacco. In Italia sette fumatori su dieci gettano la cicca di sigaretta accesa dall'auto in corsa, a dimostrazione di come questa pratica sia ritenuta normale^[7].

Anche negli Stati Uniti le cicche di sigaretta non spente costituiscono un problema rilevante. Rappresentano infatti la prima causa di incendi residenziali, con una stima di 800 civili morti, 1.660 civili feriti e più di 575 milioni di dollari di danni a proprietà private.

Per evitare questo tipo di problema sono allo studio da alcuni anni sigarette che si autospegnono più velocemente di quelle classiche. Le sigarette in questione dovranno avere come caratteristica fondamentale la capacità di spegnersi nell'arco di un

minuto, se il fumatore non aspira in questo lasso di tempo.

A rendere possibile l'autospegnimento della sigaretta è la presenza di una carta composta da due strati di cellulosa trattati con un sale dell'acido alginico.

L'introduzione in commercio di questo tipo di sigarette negli Stati Uniti è stata per molto tempo ostacolata dalle industrie del tabacco, con la giustificazione che i consumatori non avrebbero apprezzato il prodotto e l'avrebbero anzi trovato inaccettabile^[16].

Esse inoltre sostenevano che non esistessero test validi per accertare se questo tipo di sigaretta fosse realmente *fire-safe* e che il fumo prodotto sarebbe stato maggiormente tossico. Tutte queste giustificazioni sono di scarso valore, in quanto non è sicuramente una piccola quantità di acido alginico che modifica sostanzialmente la tossicologia del fumo. Dall'inizio del 2008 anche i 27 paesi dell'Unione Europea, per cercare di limitare i rischi di incendi, hanno dato il loro via libera alla sigaretta che si auto-spegne. L'uso di questo tipo di sigarette è previsto sia obbligatorio a partire dal 2011. Certamente ciò contribuirà a ridurre di molto il numero di morti causate da incendi innescati da sigarette e mozziconi, e salverà migliaia di ettari di bosco che annualmente vanno in cenere per un mozzicone dimenticato o buttato via incautamente.

Ovviamente ai fini della prevenzione non è sufficiente la sola introduzione su mercato di sigarette *fire-safe*, ma è necessario accompagnare tale prodotto da campagne di sensibilizzazione, di informazione e, se necessario, da norme che prevedono sanzioni per chi butta le cicche di sigaretta dalle auto in corsa o nei boschi.

Conclusioni

Del tabagismo e degli effetti del tabacco si conosce molto. Tuttavia le azioni di contrasto al problema non hanno raggiunto soddisfacenti risultati in termini di riduzione dell'incidenza e della prevalenza del consumo di tabacco. In questo lavoro si sono voluti evidenziare alcuni effetti meno noti al fine di contribuire a sensibilizzare l'opinione pubblica e i non fumatori a prendere coscienza dei propri diritti

ti (diritto di respirare aria pulita, libera da sostanze nocive), ma anche i fumatori dei loro doveri (dovere di non inquinare l'aria con il loro fumo e l'ambiente con le loro cicche). Questo è particolarmente vero in presenza di bambini, soggetti deboli con un apparato respiratorio incompleto.

I problemi fumo-correlati hanno un notevole impatto sociale e sanitario, e vanno affrontati in forma multidisciplinare, coinvolgendo diverse competenze e adeguate risorse tecnico/scientifiche e finanziarie.

L'introduzione sul mercato di sigarette *fire-safe* costituisce sicuramente un punto importante per ridurre gli incendi domestici e boschivi causati dalle

sigarette e dalle cicche. Questo non deve però costituire un incentivo per continuare a buttare scriteriatamente le cicche nell'ambiente. Infatti, questo tipo di sigaretta non è sicuro al 100%, ma riduce solo i tempi in cui la sigaretta/cicca resta accesa. In presenza di erba secca e vento anche questo tipo di sigaretta può provocare incendi.

Formare gli individui, i lavoratori e soprattutto i giovani al rispetto della propria e dell'altrui salute rappresenta un'azione importante di prevenzione e un'opportunità per sviluppare cambiamenti duraturi dei corretti stili di vita che abbiano come fine non solo la salute dell'uomo, ma anche il rispetto e la tutela dell'ambiente.

Bibliografia

- [1] Ministero della Salute – Dipartimento della Prevenzione e della Comunicazione. *Attività per la prevenzione del tabagismo*. Rapporto 2009.
- [2] Forastiere F., Lo Presti E., Agabitti N., Rapiti E., Perucci C.A. *Impatto sanitario dell'esposizione a fumo ambientale in Italia*. *Epidemiologia e Prevenzione* 2002;26: 18-29.
- [3] GINA Report, *Global Strategy for Asthma Management and Prevention*. 2006.
- [4] USDHHS. *The Health Consequences of Involuntary Exposure to Tobacco Smoke: A Report of the Surgeon General*. Atlanta, GA: USDHHS, 2006.
- [5] Garattini S., La Vecchia C. *Il fumo in Italia. Prevenzione, patologie e costi*. Milano, Editrice Kurtis, 2002.
- [6] Legge 3/2003. *Disposizioni in materia di pubblica amministrazione, art.51 – Tutela della salute dei non fumatori*.
- [7] Lombardi C.C., Di Cicco G., Zagà V. *Le cicche di sigaretta: un rifiuto tossico dimenticato*. *Tabaccologia* 2009; 4: 27-36.
- [8] Novotny T.E., Lum K., Smith E., Wang V., and Barnes R. *Cigarette Butts and the Case for an Environmental Policy on Hazardous Cigarette Waste*. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2009; 6:1691-1705.
- [9] *Sicurezza stradale: I dati ISTAT-ACI/2006 sugli incidenti stradali. Le modalità di rilievo, gestione e pubblicizzazione dei dati: problemi, incertezze e mancanze*.
- [10] Beirness D.J., Simpson H.M., Park A. *The Road safety Monitor: driver distraction*. Traffic Injury Research Foundation, Ottawa, Ontario, 2002.
- [11] Mangiaracina G., Palumbo L. *Fumo al volante e rischio infortunistico stradale*. *Tabaccologia* 2007;2:19-23.
- [12] Mangiaracina G., Palumbo L. *Le implicazioni sulla sicurezza stradale del fumare durante la guida*. *Annali di Igiene, Medicina Preventiva e di Comunità* 2007; 19: 1-16.
- [13] Popolizio M. *Prevenire incidenti e infortuni stradali per la sicurezza dei lavoratori. La sicurezza stradale negli spostamenti sul lavoro e casa lavoro* – Bologna 11 giugno 2009.
- [14] Jacobson P.D., Gostin L.O. *Reducing distracted driving: regulations and education to avert traffic injuries and fatalities*. *JAMA* 2010; 303: 1419-1420.
- [15] Ministero dell'Interno- Dipartimento dei Vigili del Fuoco del Soccorso Pubblico e della Difesa. *Annuario statistico del corpo Nazionale Vigili del Fuoco*, 2008.
- [16] National Institute of Standard and Technology. www.firesafecigarettes.org/assets/files/NISTstandard.pdf.

Il fumo nei luoghi di lavoro: problemi e proposte per una corretta politica aziendale

Carmine Ciro Lombardi*
Giuliana Di Cicco**
Giacomo Mangiaracina***

- * ENEA, Unità Tecnica Biologia delle Radiazioni e Salute dell'Uomo
- ** ENEA, Centro Ricerche Casaccia
- *** Università di Roma La Sapienza, Dipartimento di Scienze di Sanità Pubblica e Società Italiana di Tabaccologia (SITAB)

La componente passiva del fumo presenta una concentrazione più elevata di contaminanti, dovuta ad una combustione a più bassa temperatura. Nonostante il divieto imposto dalla Legge 10 gennaio 2005, in molti posti di lavoro si continua a fumare. In questo articolo vengono descritti i fondamenti che hanno portato al divieto di fumo nei luoghi di lavoro e i vantaggi che un'azienda riceve dalla messa in atto di una politica aziendale sul fumo

Smoke in Workplaces: Problems and Proposals for a Correct Company Policy

The passive component of smoke has a higher contaminant concentration due to combustion at lower temperature. Despite the smoking ban imposed with the Law 10 January 2005, people keep on smoking in workplaces. This articles reports the basics that lead to ban smoking in workplaces and the benefits that a company may receive from implementing a no-smoking policy



Figura 1
Fumo attivo e fumo passivo, tipica situazione prima della Legge Sirchia
Fonte: foto di proprietà degli autori

Il fumo di tabacco, nei paesi industrializzati, rappresenta sia la più importante fonte di inquinamento dell'aria degli ambienti confinati, sia la principale causa prevenibile di malattia e morte. Il programma "Europa senza fumo" costituisce una priorità della politica della Commissione delle Comunità Europee nei settori della sanità, del lavoro e della ricerca^[1].

Il piano si propone di migliorare la qualità dell'aria negli ambienti interni e in particolare nei luoghi di lavoro, ricorrendo a strumenti giuridici e iniziative di promozione della salute.

Il fenomeno tabagismo provoca ogni giorno, in Italia, più decessi di alcool, droghe, incidenti stradali, incidenti sul lavoro, omicidi e suicidi messi insieme; sono infatti correlati al fumo attivo più di 90.000 decessi/anno, 250 al giorno, 10 ogni ora^[1].

Secondo stime elaborate dalla Società Europea di Pneumologia e dalla Fondazione Britannica per la Ricerca sul Cancro, il fumo passivo nei luoghi di lavoro nei 25 paesi della UE causa oltre 7.000 decessi/anno, mentre l'esposizione domestica comporta oltre 72.000 decessi/anno. In Italia, secondo recenti stime, abbiamo più di 10.000 decessi/anno per fumo passivo^[1].

Il fumatore, incurante dei rischi e delle evidenze sanitarie, va ogni giorno dal tabaccaio a comprare un prodotto pericoloso per la sua salute,

per la salute delle persone che gli stanno accanto e per l'ambiente. La pericolosità del tabacco è stata confermata da una recente sentenza della Corte di Cassazione: "La produzione e la vendita di tabacchi lavorati si configura come un'attività pericolosa", in quanto il tabacco contiene in sé un potenziale carico nocivo per la salute. Il fumo di sigaretta sprigiona più di 4.000 sostanze chimiche diverse sotto forma di gas, vapori e particelle. Una quota di queste sostanze viene inalata dal fumatore, una quota viene assorbita dal filtro e una quota viene immessa nell'ambiente e costituisce, insieme ai prodotti esalati dal fumatore, quello che comunemente viene chiamato "fumo passivo"^[2-3].

Per "fumo passivo" si intende il fumo che viene respirato da un non fumatore che si trova a stretto contatto con persone che fumano, o ne condivide l'ambiente. Il fumo attivo e passivo contiene gli stessi prodotti chimici, ma in concentrazione leggermente diversa. La componente passiva presenta una concentrazione più elevata dei contaminanti, dovuta ad una combustione a più bassa temperatura^[4].

L'inalazione passiva di fumo di tabacco da parte di soggetti non fumatori è associata a effetti nocivi, proprio come il fumo attivo, anche se con minori livelli di rischio. Analogamente al fumo attivo è causa di tumore al polmone, aumenta il rischio di disturbi respiratori e di infarto del miocardio^[5].

Il fumo di tabacco nei luoghi di lavoro pone una serie di problemi per quanto riguarda la salute e la sicurezza dei lavoratori. Per molto tempo, nonostante l'esistenza di norme e restrizioni (art. 32 della Costituzione, DPR 303/56, legge n. 584/75, sentenza n. 399/96 della Corte Costituzionale) i lavoratori non fumatori hanno subito l'esposizione ai prodotti derivanti dalla combustione del tabacco. Nella *figura 1* si riporta una tipica situazione che si poteva osservare nei ristoranti, bar e luoghi di lavoro prima dell'introduzione della legge Sirchia.

Dal punto di vista normativo fino al 2005 (introduzione della Legge cosiddetta "Sirchia") si proteggeva la salute di chi solo occasionalmente accedeva agli uffici pubblici, rimanendovi per breve tempo, mentre non esisteva analoga protezione per i lavo-

ratori costretti a restare in quei luoghi per l'intera giornata lavorativa.

Con l'emanazione della legge 3/2003 (Disposizioni ordinamentali in materia di pubblica amministrazione), art. 51 (Tutela della salute dei non fumatori), a livello normativo finalmente le cose cominciano a cambiare. Con la Legge Antifumo del 10 gennaio 2005, poi, il divieto di fumo nei locali chiusi previsto dalla Legge 3/2003 entra in vigore: è vietato fumare in tutti gli ambienti chiusi, nessuno escluso; è possibile fumare solo all'interno della propria abitazione e negli ambienti appositamente predisposti e segnalati come tali^[6].

Nonostante il divieto, in molti posti di lavoro si continua a fumare, in virtù di un presunto diritto di libertà accampato dai fumatori propensi a continuare la loro pratica.

È importante mettere in evidenza che fumare non è un diritto, respirare aria pulita è invece un diritto sancito dalla Costituzione e dalle leggi che regolano la sicurezza e l'igiene sul lavoro^[6-7].

L'articolo 32 della Costituzione cita: la Repubblica Italiana tutela la salute come fondamentale diritto dell'individuo. Il sistema giuridico italiano è costituito in forma piramidale, ovvero è contraddistinto da una precisa gerarchia delle fonti, in forza delle quali la Costituzione e le leggi costituzionali sono poste in posizione di supremazia rispetto a tutte le altre norme giuridiche.

In base alla Costituzione i datori di lavoro, responsabili della salute dei lavoratori, fin dal 1948 avevano l'obbligo di garantire ai lavoratori sia il diritto alla salute sia il diritto di respirare aria non contaminata.

Poiché fuma il 23% circa della popolazione, quando si parla di diritto è opportuno considerare che avere a disposizione aria salubre libera da contaminanti è prioritario rispetto al presunto diritto dei fumatori di contaminare gli ambienti frequentati dalle altre persone^[3-6].

Non far respirare fumo di sigaretta ai colleghi, agli amici, ai propri familiari, dovrebbe essere considerato un atto di civiltà, prima ancora che un obbligo imposto dalle leggi a tutela della salute e della sicurezza. Un'azienda ha il dovere di fare

tutto il possibile per migliorare il proprio ambiente di lavoro e tutelare la salute e la sicurezza dei propri lavoratori.

In questo lavoro vengono descritti i fondamenti che hanno portato al divieto di fumo nei luoghi di lavoro e i vantaggi che un'azienda riceve dalla messa in atto di una politica aziendale sul fumo.

Fondamenti giuridici e sanitari del divieto di fumo nei luoghi di lavoro

Esistono prove inconfutabili sul fatto che chi fuma si espone più o meno "coscientemente" al rischio di morte prematura per cancro polmonare, patologie cardiovascolari, respiratorie ecc.

Negli Stati Uniti, il biologo Raymond Pearl aveva dimostrato gli effetti negativi del tabacco già nel 1938. Secondo il ricercatore, fumare tabacco accorciava la vita proporzionalmente al numero di sigarette fumate quotidianamente. Chi fumava aveva il 60% in più delle probabilità di morire precocemente rispetto a chi non fumava^[8-9].

Diverse testimonianze sono concordi nell'affermare che questi rischi colpiscono anche i non fumatori, ossia persone che sono costrette ad inalare in modo non volontario il fumo di sigaretta consumato da altri.

Nel 1981 un lavoro giapponese, pubblicato sul *British Medical Journal*, basato sul confronto fra due gruppi di donne, le prime sposate con fumatori e le altre sposate con non fumatori, metteva in evidenza che il fumo passivo comportava un aumento del 26% dei tumori polmonari nel gruppo di donne che avevano convissuto con il coniuge fumatore^[10].

Negli corso degli anni 80 del secolo scorso sono stati pubblicati diversi studi sugli effetti del fumo passivo, tra cui il Rapporto dell'US National Research Council e quello dell'US Surgeon General. Tutti mettevano in evidenza la pericolosità del fumo passivo, sottolineando che individui che non avevano mai fumato presentavano un elevato rischio di contrarre un tumore al polmone se vivevano in contatto con un fumatore^[11-12].

Sostanze cancerogene specifiche del tabacco sono

state trovate nel sangue e nelle urine di non fumatori esposti a fumo passivo. Esiste inoltre una relazione dose/risposta tra il rischio del non fumatore e l'entità dell'esposizione (anni di esposizione, numero di sigarette fumate dal convivente fumatore). Il collegio americano di medicina ambientale e occupazionale (ACOEM) fin dal 1993 ha confermato la positiva associazione tra esposizione a fumo passivo e sviluppo di patologie come il cancro al polmone e la leucemia^[13].

Ad esempio il benzene, noto cancerogeno (induce leucemia), è una delle 4.000 sostanze chimiche trovate nel fumo di tabacco. La convivenza con fumatori aumenta in modo considerevole l'esposizione a questo contaminante.

Nel 1985 un ricercatore americano ha studiato le modalità con cui diverse centinaia di connazionali in cinque diversi stati erano esposti al benzene. Le ricerche hanno evidenziato che la concentrazione media di benzene che inalavano era tripla rispetto ai livelli tipici esterni. Secondo il ricercatore, il 45% dell'esposizione totale della popolazione americana al benzene era dovuta al fumo (o al fumo passivo), il 36% all'inalazione di vapori di benzina o all'uso di prodotti di largo consumo (colla) e il 16% alle altre fonti domestiche (solventi, vernici ecc.). Solo il 3% dell'esposizione media individuale era attribuibile all'inquinamento industriale^[13].

Diminuire in modo drastico tutte le emissioni industriali di benzene ridurrebbe il rischio per la salute di una frazione poco significativa. Invece, anche una modesta riduzione del fumo di sigaretta indoor ridurrebbe di molto la probabilità di contrarre malattie provocate dal benzene^[13].

Anche l'Agenda Internazionale per la Ricerca sul Cancro (IARC), si è interessata della problematica analizzando numerosi studi prodotti in vari paesi. Secondo i ricercatori IARC i dati disponibili sono sufficienti per affermare che il fumo passivo è causa di cancro al polmone in soggetti che non hanno mai fumato. Nel 2004, sulla base di tali dati, la IARC ha classificato il fumo passivo come agente cancerogeno di gruppo 1 per l'uomo ed ha incluso tale fattore di rischio tra il gruppo di agenti per cui esiste una certezza di effetti cancerogeni^[14].

Gli effetti del fumo passivo includono alterazioni

della frequenza cardiaca, aumento della pressione arteriosa e della concentrazione di ossido di carbonio nel sangue, ridotta capacità di utilizzo dell'ossigeno e ridotta capacità di esercizio fisico.

Esposizioni, anche di breve durata, al fumo di tabacco, in particolare al microparticolato ("polveri sottili"), inducono importanti modificazioni alle cellule endoteliali delle arterie coronarie, alterazioni dell'aggregabilità piastrinica ed aumento della viscosità del sangue, concorrendo a determinare aterosclerosi e quadri ischemici in vari distretti circolatori. Secondo recenti stime, a causa del fumo passivo, in Italia tra i non fumatori ogni anno si registrano 500 decessi per tumore al polmone e oltre 2.000 morti per malattie cardiorespiratorie^[15]. È stato dimostrato che negli ambienti chiusi ove siano presenti fumatori, vengono rilevati livelli di inquinamento da polveri fini e ultrafini (PM10, PM1) di gran lunga superiori a quelli dell'aria esterna.

Uno studio condotto dall'Istituto Tumori di Milano ha messo in evidenza che, quando una sigaretta viene accesa in un ambiente confinato (es. ufficio, ristorante, automobile), la concentrazione dei vari inquinanti aumenta in modo considerevole. Il particolato ultrafine (PM2,5-PM1) raggiunge livelli elevati, superiori di diversi ordini di grandezza rispetto ai valori limiti di legge outdoor^[16].

I sindaci delle diverse città italiane devono prendere provvedimenti drastici (blocco del traffico autoveicolare, restrizioni del riscaldamento domestico ecc.) quando la concentrazione di polveri (PM10) supera i 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Negli ambienti indoor oggetto dello studio (ufficio e ristorante) la concentrazione di polveri sottili, in relazione al numero di sigarette fumate e ai ricambi di aria, può raggiungere livelli medi di 500-1.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, con punte di 2.000-5.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ^[16].

La presenza di impianti di aerazione e filtrazione anche di buona qualità non è in grado di depurare le polveri fini e ultrafini generate dal fumo di sigaretta. La separazione fisica del locale non-fumatori con impianto di aerazione indipendente, invece, sembra essere abbastanza efficace nel preservare l'ambiente dedicato ai non fumatori dall'inquinamento da fumo passivo.

Ricerche a cura dell'Osservatorio Epidemiologico della Regione Lazio hanno messo in evidenza che, oltre a presentare un maggior rischio di tumore al polmone e di eventi cardiovascolari acuti, i lavoratori esposti a fumo passivo sono più frequentemente affetti da tosse e bronchiti, si assentano maggiormente dal lavoro e consumano più farmaci dei loro colleghi non fumatori^[17-18].

In uno studio sui ricoveri ospedalieri per infarto del miocardio effettuato negli Stati Uniti, è stata confrontata la frequenza dei ricoveri prima dell'applicazione della legge locale che bandiva il fumo nei bar e ristoranti, con la frequenza dei ricoveri nel periodo in cui il divieto è stato applicato ed, infine, con la frequenza dopo che il divieto fu rimosso^[19]. I risultati hanno evidenziato che, durante il periodo di applicazione del divieto di fumo, c'era stata una riduzione della frequenza dei ricoveri per infarto del miocardio rispetto a prima, e che dopo l'eliminazione del divieto la frequenza dei ricoveri era di nuovo aumentata^[20-21].

Una recente ricerca, a cura dell'Istituto Nazionale di Ricerca sul Cancro di Genova, ha messo in evidenza che la Legge Sirchia protegge non solo i non fumatori, ma anche i fumatori.

Analizzando la qualità dell'aria e la quantità di sostanze cancerogene presenti nell'ambiente indoor l'indagine ha evidenziato che una persona che fuma 14 sigarette al giorno all'interno di un ambiente chiuso, è come se ne fumasse ameno 2,6 in più a causa dell'esposizione a fumo passivo da lei stessa indotto^[22].

Problematiche poste dal fumo di tabacco nei luoghi di lavoro

L'OMS definisce il tabagismo come una vera e propria malattia cronica invalidante, che obbliga a fumare anche in situazioni particolari, come l'instaurarsi di patologie evidenti, e persino in contrasto con le leggi.

Fino a pochi anni fa gli ambienti di lavoro rappresentavano un importante luogo di esposizione al fumo passivo. Questo era dovuto all'elevato numero di fumatori nella fascia di età compresa tra 25 e 50 anni, ossia di soggetti attivi dal

punto di vista professionale che trascorrono la maggior parte della giornata lavorativa in ambienti confinati.

Oltre agli effetti sulla salute, fumare nei luoghi di lavoro comporta diversi altri problemi. Infatti aumenta il rischio infortunistico, aumenta il rischio di incendi e danni a macchine e attrezzature. Inoltre, le sostanze chimiche presenti nel fumo interferiscono con le altre sostanze chimiche utilizzate nei luoghi di lavoro modificandone l'esposizione^[23].

Attualmente, grazie alla Legge Sirchia, la contaminazione indoor dai prodotti della combustione di tabacco si è sensibilmente ridotta.

Molti fumatori però, nonostante i divieti, tendono a continuare la loro pratica anche dov'è vietato, come nelle scuole, negli uffici, negli ospedali, nei luoghi di lavoro ecc. Nella *tabella 1* sono riportati i principali rischi associati al fumo durante il lavoro.

La concentrazione nell'aria indoor degli inquinanti del fumo di tabacco è condizionata da diversi fattori quali la ventilazione, i ricambi di aria, l'umidità relativa, il numero dei lavoratori fumatori presenti. Per valutare l'esposizione al fumo passivo o la presenza di fumatori in ambienti dove è proibito fumare possono essere utilizzati opportuni indicatori tra cui le concentrazioni di ossido di carbonio, di particolato, di acroleina, di ossidi di azoto, fenolo e nicotina.

Le concentrazioni di nicotina riscontrate in uffici in cui era permesso fumare arrivavano a circa 6,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; in uffici in cui non era permesso di fumare erano di 0,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Nei night-club e nelle abitazioni civili sono stati registrati rispettivamente livelli di nicotina pari a 58 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e 14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Questi ultimi valori sono particolarmente elevati se si considera che a livello indoor c'è la presenza di soggetti particolarmente suscettibili come i bambini, le persone anziane e i malati; la loro presenza negli ambienti confinati non si limita a poche ore, ma può toccare anche l'intera giornata^[4].

Per gestire il rischio fumo a livello lavorativo è quindi prioritario elaborare politiche aziendali in grado di trattare questo problema in modo efficace ed evitare le controversie^[25].

Tabella 1 – Principali rischi lavorativi associati al fumo

Rischio infortunistico	Il numero di incidenti sul lavoro a carico dei fumatori è doppio rispetto a quello dei non fumatori, a causa della diminuzione dell'attenzione, dell'impaccio delle mani e del fumo negli occhi.
Assenteismo e produttività	I fumatori si ammalano più frequentemente rispetto ai non fumatori (circa 6 giorni di assenza in più anno per ogni malattia). La produttività dei fumatori è inferiore rispetto a quella dei non fumatori.
Rischio incendio ed esplosioni	I primi divieti di fumo nei luoghi di lavoro derivano dall'elevato numero di incendi ed esplosioni a carico delle industrie chimiche causati dall'accensione della sigaretta o dai mozziconi gettati via.
Danni a macchine ed attrezzature	Le sostanze chimiche presenti nel fumo sono in grado di danneggiare le parti meccaniche di attrezzature e strumenti di precisione, i contatti elettrici di computer, le tastiere, le parti sensibili di supporti magnetici, le lenti, i fotorilevatori dei microscopi ottici ed elettronici ecc. È recente la notizia sul fatto che la Apple non garantisce l'assistenza, laddove rileva la presenza di prodotti correlati al fumo di tabacco sulla propria strumentazione.
Rischio di interazione con sostanze tossiche	L'esposizione al fumo attivo e passivo, in associazione all'esposizione a polveri, gas o vapori di origine professionale, può comportare effetti di tipo sinergico. Il fumo, inoltre, rappresenta un vettore fisico per molte sostanze presenti nel luogo di lavoro, determinando un aumento della frazione respirabile che si deposita nei polmoni.
Ipoacusia da rumore e fumo	La riduzione della capacità uditiva è un'importante causa di invalidità. Diverse ricerche hanno messo in evidenza una associazione positiva tra esposizione a fumo di tabacco e perdita della capacità uditiva (proprietà ototossiche).
Rischi riguardanti l'igiene del lavoro	L'abitudine al fumo costituisce un fattore di confondimento per il monitoraggio ambientale e biologico. Essa interferisce sulla misurazione delle sostanze tossiche, nocive e cancerogene presenti negli ambienti di lavoro e/o dei loro metaboliti nei fluidi biologici (sangue, urine).

Fonte: elaborazione degli autori

Una politica aziendale sul fumo dovrebbe tenere sotto controllo l'esposizione a fumo passivo senza colpevolizzare i fumatori. Il proibizionismo da solo non basta: parallelamente devono essere sviluppate idonee azioni di sensibilizzazione atte a favorire modifiche nel comportamento e il rispetto reciproco. È inoltre opportuno stabilire con precisione i luoghi dove è vietato fumare e quelli dove invece è permesso, mettendo anche a disposizione dei fumatori un numero adeguato di posacenere in cui gettare le cicche in sicurezza.

Mettere in atto politiche aziendali sul fumo evita di dare ai fumatori l'impressione che si sta cercando di discriminarli e significa affrontare i divieti nella maniera più indolore, sia per i fumatori che per i non fumatori^[26].

Finalità e scopi di una politica aziendale sul fumo

Il fumo attivo e passivo è stato classificato come un prodotto cancerogeno per l'uomo sia dall'Agencia per la Protezione dell'Ambiente degli Stati Uniti (EPA), sia dall'Agencia Internazionale per la Ricerca sul Cancro (AIRC). Inoltre, è stato classificato come agente cancerogeno sul luogo di lavoro dai governi finlandese e tedesco. Recentemente l'Agencia per la protezione dell'ambiente della California ha classificato il fumo di tabacco come un "inquinante tossico dell'aria"^[3-14].

In base alle norme che tutelano la salute dei lavoratori, per gli agenti cancerogeni, e quindi, per il fumo di tabacco, non esiste nessun livello

espositivo sicuro. La ventilazione, anche se correttamente dimensionata, non è in grado di assicurare ambienti salubri.

Esistono numerose leggi: DPR 303/56, DLgs 626/94 e DLgs 81/08 (Testo Unico sulla Salute e Sicurezza sul Lavoro), che mettono in evidenza il ruolo e la responsabilità del datore di lavoro circa la protezione della salute dei lavoratori dal fumo passivo^[27].

Anche la Corte Costituzionale, con la sentenza n. 399 del 1996, metteva in evidenza il fatto che il datore di lavoro è tenuto a proteggere la salute dei dipendenti da tutto ciò che può danneggiarla, ivi compreso il fumo passivo^[28].

Tutte queste norme sono concordi nell'affermare la responsabilità penale del datore di lavoro che non garantisce ai lavoratori ambienti privi di sostanze dannose.

Dovere del datore di lavoro è quello di adottare nell'esercizio dell'impresa le misure necessarie per tutelare l'integrità fisica dei dipendenti e mettere a disposizione dei lavoratori aria salubre in quantità sufficiente^[29-30]. Una corretta politica aziendale sul fumo dovrebbe:

- favorire, attraverso la formazione e l'informazione, la consapevolezza dei diritti e dei doveri di tutti i lavoratori, fumatori e non fumatori;
- favorire la conoscenza dei rischi per la salute determinati dal fumo attivo e passivo;
- definire i diritti dei non fumatori e gli obblighi dei fumatori;
- permettere la creazione e il mantenimento di posti di lavoro salubri e sicuri;
- stabilire dove è permesso fumare;
- decidere se allestire locali per fumatori tenendo conto che la predisposizione di questi non costituisce, per il datore di lavoro, un obbligo;
- definire le modalità di sostegno ai fumatori che intendono smettere di fumare;
- stabilire sanzioni interne per chi non rispetta le regole.

La messa in atto di una politica aziendale sul fumo presenta vantaggi sia per le aziende che per i lavoratori. L'ottenimento di ambienti di lavoro senza fumo migliora sia l'immagine dell'azienda che la sua

produttività. La riduzione dell'impatto del fumo sui lavoratori riduce l'assenteismo correlato a numerose patologie. Inoltre, il controllo del fumo in azienda riduce i rischi di incendio e le spese per la pulizia e rende migliore anche l'immagine dell'azienda^[31]. È opportuno tener presente che circa il 70% dei lavoratori non fuma, e che questi trascorrono molte ore sul posto di lavoro. Quindi migliorarne la salubrità e vivibilità significa ridurre l'esposizione e migliorare la qualità della vita delle persone.

Quanto detto è in accordo con una recente risoluzione del Consiglio dell'Unione Europea che considera prioritaria la promozione della salute e della sicurezza sul luogo di lavoro.

Secondo la UE, la buona "qualità" nei luoghi di lavoro ha un'importante dimensione sia umana che economica e fornisce un importante contributo alla crescita sostenibile di una comunità.

Conclusioni

Nonostante le norme, i divieti, i cartelli, in molti luoghi di lavoro si continua a fumare. Ciò mette a rischio sia la salute che la sicurezza dei lavoratori. Secondo l'OMS il fumo di tabacco costituisce la principale sorgente di contaminazione degli ambienti confinati non industriali.

Negli ambienti chiusi, con scarsi ricambi di aria, la concentrazione dei vari inquinanti (in particolare delle polveri) può raggiungere livelli molto più elevati di quelli esterni.

I prodotti della combustione del tabacco sono più pericolosi di quelli emessi da altre sorgenti come i camini di centrali termoelettriche o di inceneritori di rifiuti urbani. Questo non dipende dal fatto che la composizione chimica sia differente, anzi queste sono abbastanza simili, ma dalle modalità e dai tempi del rilascio.

Gli impianti industriali presentano camini molto alti e quindi i vari inquinanti vengono diluiti e dispersi su aree molto estese. Il fumo di sigaretta a livello indoor viene invece emesso in ambienti chiusi poco ventilati e in presenza di molti utenti. È interesse del datore di lavoro mettere in atto e far rispettare il divieto di fumo, sia per evitare sanzioni, sia per tutelarsi da eventuali rivalse da



Figura 3
Logo dell'Osservatorio Fumo, Alcool e Droga
Fonte: Istituto Superiore di Sanità

parte di tutti coloro che potrebbero aver subito danni causati dal fumo passivo.

La politica aziendale sul fumo dovrebbe portare alla elaborazione di un codice di comportamento interno, alla promozione di interventi per modificare comportamenti negativi e alla creazione e diffusione di una cultura della prevenzione.

Per fare tutto ciò è opportuno valutare attraverso questionari e/o test la situazione reale nell'azienda sul problema fumo e sul numero di fumatori. È importante promuovere corsi di formazione per migliorare le competenze e le informazioni dei dirigenti, preposti, addetti alla sicurezza, lavoratori della sicurezza, lavoratori ecc. È opportuno, inoltre, promuovere assistenza e offrire facilitazioni ai fumatori che vogliono smettere.

Nella *figura 3* è riportato il logo dell'Osservatorio Fumo, Alcool e Droga dell'ISS (Telefono verde contro il fumo 800.554.088). Il servizio è gratuito e nasce per aiutare coloro che hanno problemi legati al fumo. Attraverso il telefono verde è possibile ricevere informazioni scientifiche, fare domande e risolvere dubbi, ma anche avere informazioni su strutture pubbliche o private che offrono sostegno a chi vuole smettere.

Creare locali per fumatori non è un obbligo ma

una possibilità. Tali ambienti devono essere delimitati da pareti a tutta altezza sui quattro lati, dotati di porta a chiusura ermetica e provvisti di impianto di ventilazione forzata proprio. Il costo di un ambiente per fumatori è di circa 40-50.000 euro, un impegno finanziario non di poco conto. L'aria proveniente dai locali per fumatori, infatti, non deve essere riciclata, ma espulsa direttamente all'esterno. Solamente con la separazione fisica degli ambienti con porte sigillate e con la creazione di gradienti pressori di almeno 5 Pascal tra un ambiente e l'altro, si può evitare che il fumo si diffonda da un locale all'altro.

Le limitazioni e i divieti sono interventi che incidono in modo profondo sui comportamenti e sugli stili di vita dei fumatori: questi infatti molte volte vengono vissuti come restrizioni della libertà.

La messa in atto di una politica aziendale sul fumo porterebbe alla riduzione del numero di fumatori, aumenterebbe il numero di quelli che vogliono smettere, ridurrebbe il numero di sigarette consumate sul lavoro e l'impatto del fumo passivo, migliorerebbe la salubrità, la vivibilità e la qualità della vita nei posti di lavoro.

Gli interventi legati alla prevenzione dei rischi da fumo dovrebbero prevedere l'istituzione di un gruppo di lavoro specifico coordinato dai vertici aziendali (datore di lavoro, dirigenti, medico competente), i rappresentanti dei lavoratori della sicurezza e i lavoratori stessi.

Attraverso la *no-smoking policy* una determinata azienda otterrebbe diversi vantaggi in quanto dimostrerebbe di occuparsi attivamente della salute e della sicurezza dei propri dipendenti. Nella *tabella 2* sono riportati i vantaggi di un ambiente lavorativo senza fumo.

La realizzazione di programmi di promozione della salute non costituisce un obbligo, ma è auspicabile che questi siano sempre più estesamente attuati, in considerazione dei notevoli benefici che potrebbero derivarne.

Il DLgs 81/08 e s.m.i. prevede che la valutazione debba riguardare tutti i rischi per la salute e la sicurezza dei lavoratori, ivi compresi quelli riguardanti gruppi di lavoratori esposti a rischi particolari, tra cui rientra anche il fumo passivo.

Tabella 2 – Vantaggi per lavoratori e azienda di una corretta politica aziendale sul fumo

Per i lavoratori	Per le aziende
Respirare aria salubre	Minor consumo di energia per la ventilazione
Miglioramento della salute	Minore assenteismo
Miglioramento delle relazioni lavorative	Maggiore produttività
Riduzione dei livelli di stress	Riduzione delle controversie sul lavoro
Aumento del livello di soddisfazione	Miglioramento del morale aziendale
Miglioramento del benessere personale	Sviluppo di un'immagine aziendale positiva

Fonte: elaborazione degli autori

La strada da intraprendere è quella della gestione, attraverso un continuo adattamento organizzativo.

Quindi è necessario produrre un documento di valutazione del rischio fumo avente come obiettivo sia la stima del rischio sia il progetto per ridurlo.

L'approccio da seguire è quello di non fare di tale obbligo, un mero adempimento formale, da esibire all'occorrenza agli organi vigilanti, ma di farne un'importante occasione di riflessione sulla organizzazione del lavoro, finalizzata a ridurre il numero dei fumatori e a migliorare il benessere sul posto di lavoro.

Bibliografia

- [1] Ministero della Salute - Dipartimento della prevenzione e della comunicazione. *Attività per la prevenzione del tabagismo*. Rapporto 2009.
- [2] Ministero della Salute. *La Tutela e la promozione della salute negli ambienti confinati*. Commissione tecnico scientifica per l'elaborazione di proposte d'intervento legislativo in materia di inquinamento indoor, 1998.
- [3] Lombardi C.C., Di Cicco G., Zagà V. *Le cicche di sigaretta: un rifiuto tossico dimenticato*. *Tabacologia* 2009; 4: 27-36.
- [4] International Agency for research on Cancer (IARC) *Environmental Carcinogens, Methods of Analysis and Measurements*. Vol. 9, Passive Smoking, Ed I.K. O'Neill, K.D. Brunnemann, B. Dodet D. Hoffman, Scient. Publ. N. 81, Lyon 1978.
- [5] Mangiaracina G., Ottaviano M. *La prevenzione del tabagismo*. Ed. Lega Italiana per la lotta contro i Tumori, Roma 2004.
- [6] Mangiaracina G. *Aziende senza fumo: Guida pratica per lavoratori e cittadini in relazione all'applicazione dell'art. 51 della legge 3/2003*.
- [7] Lombardi C.C., Di Cicco G. *Fumo passivo negli ambienti di lavoro: Proposte per una politica aziendale senza fumo*. Atti del 70° Congresso Nazionale SIMLII, Roma 12-15 dicembre 2007.
- [8] Pearl R. *Tobacco smoking and longevity*. *Science*, 1938;87:216-217.
- [9] Goldman I.L., Raymond P. *Smoking and longevity*. *Genetics* 2002; 162; 977-1001.
- [10] Hyrayama T. *Non Smoking wives of heavy smokers a have highler risk of lung cancer: a study from Japan* *British Medical Journal*, 1981; 282:183-185.
- [11] US Department of Health and Human Service. *The Health consequences of involuntary smoking*. Report of Surgeon General. Washington, D.C, Public Health Service, 1986.
- [12] National Research Council. *Environmental tobacco smoke, Measuring exposure and assesing health effects*. Washington, D.C, National Academy Press, 1986.
- [13] Muzi G., Abbritti G. *Gli Inquinanti degli ambienti interni*. Le Scienze quaderni n. 109.

- [14] International Agency for Research on Cancer (IARC). *Tobacco Smoke and Involuntary Smoking*. Vol 83. IARC Lyon, 2004. Monograph on the Evaluation of carcinogenic Risk to Humans.
- [15] Doll R., Crofton J. *Tobacco and health*. British Medical Bulletin 1996; 52:3-11.
- [16] Invernizzi G., Ruprecht A., Majno R., Rossetti E., et. al. *La misurazione in tempo reale del particolato fine prodotto da fumo di sigaretta negli ambienti indoor: Risultati di uno studio pilota*. Epidemiologia & Prevenzione 2002, n. 1.
- [17] Valente P., Forestiere F., et al. *Exposure to fine particles from secondhand smoke in public places before and after the smoking ban, Italy 2005*. Tab. Control 2007; 16: 312-317.
- [18] Cesaroni G., Forestiere F., et al. *Effect on the Italian smoking ban on population rates of acute coronary events*. Circulation 2008; 117: 1121-1123.
- [19] Zitting A. *Health effects of environmental tobacco smoke*. Scand. J. Work Environ Health 2002; 28 suppl 2: 1.96.
- [20] Sargent R.P., Shepard R.M., Glantz S.A. *Reduced incidence of admissions for myocardial infarction associates with public smoking ban: before and after study*. British Medical Journal 328: 977-980, 2004.
- [21] Vasselli S., Papini P., Galeone D., et al. *Reduction incidence of myocardial infarction associated with a national legislative ban on smoking*. Minerva Cardioangiologica, 2008;56:197-203.
- [22] Piccardo M.T., Stella A., Valerio F. *Is the smokers exposure to environmental tobacco smoke negligible*. Environmental Health 2010;9:5-8.
- [23] Marcolina D., et. al. *Verso una azienda libera dal fumo – Manuale per il controllo del fumo di tabacco negli ambienti di lavoro*. Regione Emilia Romagna- Regione Piemonte, 2007.
- [24] Otto R.W, Roberts J.W. *L'esposizione quotidiana all'inquinamento*, Le Scienze n 356, aprile 1988.
- [25] Muzi G., Dell'Omo M., Tosoni G., Abbritti G. *Fumo e Lavoro – Corso di formazione per datori di lavoro*. Università degli studi di Perugia – Dipartimento di Medicina del Lavoro e Tossicologia, settembre 2006.
- [26] Spiridigliozzi S., Fioravanti S., Muzi M. *Aspetti igienici e tecnici della normativa antifumo*. Insetto di ISL – Igiene e Sicurezza del Lavoro n 5/2004.
- [27] DLgs 9 aprile 2008 n 81. *Testo Unico per la Sicurezza. Attuazione dell'articolo 1 della legge 3 agosto 2007 n 123, in materia di tutela della salute e sicurezza nei luoghi di lavoro*.
- [28] Corte Costituzionale. Sentenza 11-20 dicembre 1996, n 399. Gazzetta Ufficiale della repubblica Italiana 1° Serie Speciale n 52 del 28/12/1996.
- [29] Commissione delle Comunità Europee. *Libro Verde. Verso un'Europa senza fumo: opzioni per un'iniziativa dell'Unione europea*. COM (2007) 27.
- [30] Roscelli F. *Fumo e luoghi di lavoro*, in: Strumenti teorici, metodologici e operativi per Pianificatori regionali. Guida operativa a cura della Regione Emilia Romagna, maggio 2007.
- [31] Lombardi C.C., Di Cicco G. *Ambienti di lavoro liberi dal fumo: proposta di modifica del sistema sanzionatorio*. In Atti: Convegno Ministero della salute – Verso una società libera dal fumo, le tre p: progressi, problemi e prospettive. Roma - APAT, 24 gennaio 2008.
- [32] Mangiaracina G. *La Smoking Policy aziendale*. 10° SRNT European Congress, Rome, 23-26 Sept. 2008.

Impatto ambientale delle cicche di sigaretta

Carmine Ciro Lombardi*
Giuliana Di Cicco**
Vincenzo Zagà***

- * ENEA, Unità Tecnica Biologia delle Radiazioni e Salute dell'Uomo
- ** ENEA, Centro Ricerche Casaccia
- *** U.O. Pneumotisiologia Territoriale, Dip. Medico dell'AUSL Bologna

Buona parte delle sostanze chimiche prodotte dalla combustione del tabacco resta nelle cicche; di conseguenza, con 72 miliardi di sigarette consumate ogni anno in Italia, anche il piccolo mozzicone diventa un'importante fonte di inquinamento. Da qui nasce l'esigenza di classificare le cicche come rifiuto pericoloso per l'ambiente e la necessità di provvedere ad una loro raccolta differenziata

The Environmental Impact of Cigarette Stubs

Most chemical substances produced by tobacco combustion remain in cigarette stubs. As a consequence, with 72 billion cigarettes consumed each year in Italy, even a little stub becomes an important source of pollution. Hence the need to classify cigarettes stubs as a waste harmful to the environment and collect them as differentiated waste

Per inquinamento si intende un'alterazione dell'ambiente, di origine antropica o naturale, che produce disagi, danni o altera in modo significativo le caratteristiche chimico-fisiche dell'acqua, del suolo o dell'aria.

Ai fini della protezione dell'ambiente particolarmente importanti sono le norme che regolano la gestione dei rifiuti. I rifiuti sono tutti quegli oggetti, cose o prodotti non più utilizzabili, di cui un utente ha deciso di disfarsi. Al fine di ridurre il loro impatto sull'ambiente è necessaria una corretta gestione in tutte le fasi: modalità di immissione in ambiente, raccolta, trasporto, trattamento e smaltimento finale^[1].

Una moderna politica di gestione dei rifiuti deve prendere in considerazione tutto il ciclo di vita di un determinato bene: dalla produzione fino alla dismissione. Per evitare lo smaltimento indiscriminato dei rifiuti sono previste pene per chiunque illegittimamente immetta in ambiente sostanze potenzialmente in grado di causare danni.

Anche la porzione residua di una sigaretta, detta cicca, rappresenta una seria minaccia per l'ambiente. La combustione per uso voluttuario del tabacco produce più di 4.000 sostanze chimiche, molte delle quali ad azione irritante, nociva, tossica e cancerogena^[2].

Una parte di queste sostanze resta nelle cicche; di conseguenza la porzione di sigaretta non fumata contiene diversi agenti chimici pericolosi e rappresenta una seria minaccia per l'ambiente. Anche l'acetato di cellulosa, materiale costitutivo dei filtri, in quanto non biodegradabile, contribuisce alla contaminazione ambientale^[3].

Un mozzicone di sigaretta può sembrare una cosa piccola ma, quando si guarda al quadro complessivo, alle statistiche (72 miliardi le sigarette consumate ogni anno in Italia), il piccolo mozzicone diventa una importante fonte di inquinamento.

Il tabagismo negli ultimi anni è stato affrontato da molti punti di vista: effetti sulla salute, dipendenza, fumo passivo, pubblicità occulta, effetti sulla riproduzione e sulla fertilità ecc. Molto poco è stato fatto per la protezione dell'ambiente. In questo campo esiste infatti un vuoto sia normativo che culturale. Da quando è stata inventata la sigaretta, ossia da circa 160 anni, gettare in terra

la cicca è considerato un comportamento normale e da tutti accettato. Questo comportamento è sicuramente una trasgressione rispetto alle norme a tutela dell'ambiente.

Attualmente il tabagista, grazie alla mancanza di leggi, di opportuni posacenere e di poca consapevolezza circa la pericolosità di tale materiale, si libera delle cicche gettandole dove capita, senza alcuna attenzione e precauzione^[4].

Le spiagge, le strade, i marciapiedi, i siti archeologici, i parchi di tutto il mondo sono ricoperti dai mozziconi senza che nessuno si curi di questo tipo di rifiuto. Sette fumatori su dieci, ancora oggi, gettano i loro mozziconi accesi dai finestrini delle auto, a conferma di come questa pratica sia da essi ritenuta normale. Tale comportamento ha spesso causato incendi a cespugli e boschi con danni a cose e persone^[5].

In questo lavoro viene messo in evidenza il carico nocivo immesso ogni anno con le cicche sul territorio italiano. Dai dati ottenuti risulta che tale carico è importante. Da qui nasce l'esigenza di classificare le cicche di sigaretta come un rifiuto pericoloso per l'ambiente e la necessità di provvedere ad una loro raccolta differenziata.

Struttura della sigaretta

Le sigarette a prima vista sembrano tutte uguali, in realtà non è così. Ogni marca, oltre ad usare miscele di tabacco proprie, tende a imprimere un gusto unico e un sapore caratteristico al proprio prodotto. Tale unicità è determinata dalle diverse modalità di trattamento del tabacco e soprattutto dall'utilizzo di additivi chimici scelti sulla base dei requisiti della non "tossicità alimentare".

All'infuori degli stessi fabbricanti nessuno sa quali additivi, e in che percentuale, sono utilizzati per ogni marca di sigaretta. La sola cosa nota è che l'additivo deve essere privo di nocività quando viene ingerito e, per quel che ne sappiamo, non è esattamente questo l'uso abituale di una sigaretta^[6-7]. I diversi additivi utilizzati, attraverso la combustione, sono in grado di produrre decine di agenti chimici pericolosi. Gli zuccheri, bruciando, aumentano la percentuale di catrame; il caramello produce catecolo, uno dei più pericolosi agenti cancerogeni

presenti nel fumo; la glicerina produce acroleina, sostanza irritante che inibisce l'azione depuratrice delle cilia vibratili a livello bronchiale.

La quantificazione di alcune di queste sostanze ha fatto registrare elevate concentrazioni di mentolo anche in sigarette non mentolate. Il mentolo è in grado di rallentare la decomposizione della nicotina e di rendere più piacevole l'inalazione e il transito del fumo attraverso le vie respiratorie^[8].

La mancanza di adeguate informazioni nei riguardi dell'utilizzo di questi additivi, fatti passare per prodotti poco pericolosi, non solo illude i consumatori e demotiva quei fumatori che hanno intenzione di smettere, ma influisce anche sull'inalazione del fumo e sui tempi di instaurazione della dipendenza^[9].

Comunque, anche se ogni prodotto è diverso dall'altro, le sigarette (figura 1) presentano alcune caratteristiche comuni:

- la carta vergata attorno alla colonna di tabacco,
- il filtro o zona di filtrazione,
- la colonna di tabacco,
- gli additivi chimici.

Nella sigaretta il tabacco è avvolto nella carta, che ammonta a circa 15 cm² per ogni sigaretta e rappresenta il 5% del peso di una sigaretta standard. La carta delle sigarette è costituita da cellulosa, ottenuta a partire dal legno. Durante i processi tecnologici di raffinazione alla cellulosa vengono aggiunti diversi agenti chimici, tra i quali cloro (elevato potere sbiancante) e solfato di ammonio (che facilita la combustione). La carta e i relativi additivi durante la combustione reagiscono con l'ossigeno dell'aria, dando luogo alla produzione di numerosi composti chimici ad azione irritante, tossica e nociva^[10-11].

A livello mondiale, fino ai primi anni 50 del secolo scorso si consumavano prevalentemente sigarette senza filtro. A partire da quegli anni tutte le multinazionali del tabacco, per arginare le sempre maggiori evidenze scientifiche sui danni da fumo, cominciarono a sperimentare vari dispositivi filtranti allo scopo di rassicurare il più possibile l'opinione pubblica sulla nocività del fumo di tabacco.

La produzione di sigarette con filtro esplose soprattutto a partire dal 1964, quando un rapporto a cura della Surgeon General mise in evidenza che il fu-

mo di sigaretta era causa di cancro al polmone. Il timore di un calo dei consumi portò le multinazionali del tabacco alla messa a punto del filtro "migliore", più filtrante e meno ustionante^[12].

Lo strato filtrante, secondo le industrie del tabacco, doveva servire per ridurre il carico nocivo inalato dai fumatori. Nel corso degli anni è stato però evidenziato che questo è vero solo in parte: l'introduzione del filtro non solo non ha modificato gli effetti sulla salute, ma ha avuto un impatto negativo sul piano comportamentale, in quanto ha illuso molti fumatori circa il consumo di un prodotto meno pericoloso^[13].

Il filtro, infatti, è in grado di rimuovere solo una parte del carico nocivo sviluppato durante la combustione del tabacco. La restante parte è sufficiente per indurre numerose patologie come tumori, malattie respiratorie, infarti, ictus ecc.^[14-15]

Il filtro è formato da un cilindretto di fibre di acetato di cellulosa tenute insieme da un collante, il glicerolo triacetato. Attualmente, per aumentare l'efficienza filtrante, al filtro viene aggiunto carbone attivo che possiede la proprietà di catturare (adsorbire) diverse componenti del fumo, quali gas e vapori organici.

I quantitativi di carbone attivo sono selezionati in modo da non ostacolare le necessità del fumatore, ossia da non assorbire in maniera radicale i composti emessi con la combustione. Lo scopo è quello di garantire al fumatore la dovuta quantità di quegli agenti che definiscono la specificità organolettica di quel tipo di sigaretta e

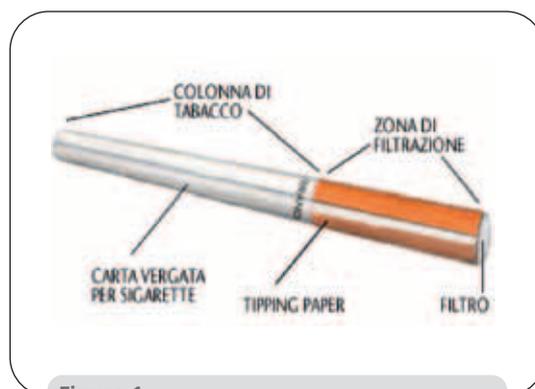


Figura 1
Struttura della sigaretta
Fonte: immagine tratta da Internet

di fornire la quantità di alcaloidi (nicotina) di cui necessita per placare la sua voglia di fumare, ossia la sua dipendenza^[16].

Poiché, come già detto, il fumo di sigaretta è costituito da un insieme di gas, vapori e particelle, è estremamente difficile progettare e costruire un filtro efficace per tutta questa tipologia di contaminanti. Inoltre esso priverebbe la sigaretta del suo gusto, degli aromi e delle sostanze chimiche responsabili della dipendenza. Tutto ciò si traduce nel fatto che non esiste, e difficilmente verrà realizzato, un filtro capace di lasciar passare le sostanze farmacologicamente attive e al tempo stesso proteggere in modo efficace la salute dei fumatori.

Più di 3.000 sostanze chimiche sono state isolate dalla sola processazione non combusta delle foglie di tabacco. Queste sono non solo costituenti naturali della pianta, ma derivano anche dall'assorbimento da parte della pianta (foglie e radici) di prodotti presenti nel suolo e nell'atmosfera. Tra i vari agenti sono stati rilevati molti composti tossici come nitrosamine, sostanze cancerogene derivate dai nitriti, amine, proteine e alcaloidi presenti naturalmente nelle piante. Sorprendentemente nel tabacco sono stati riscontrati anche elementi radioattivi, in particolare Po-210 e Pb-210. La loro presenza è da imputare essenzialmente ai fertilizzanti utilizza-

ti durante la coltivazione del tabacco, costituiti da polifosfati di calcio provenienti da terreni di Apatite ricchi di uranio^[17].

Che cosa contiene una cicca

Il fumo di tabacco, definito come l'agente cancerogeno più diffuso al mondo, è costituito da un miscuglio di oltre 4.000 composti chimici diversi. In particolare, il fumo emesso da una sigaretta contiene gas, vapori, particelle liquide e solide in prevalenza di piccolissime dimensioni, di diametro compreso tra 0,01 e 1 μm ^[18].

Nella *tabella 1* sono riportati i principali agenti chimici presenti nel fumo di tabacco espressi in mg/sigaretta^[18].

Ogni fumatore possiede un proprio modo di fumare e consumare una sigaretta. Tutti però alla fine della loro "pratica" buttano via la porzione residua della sigaretta; molti la gettano via, ancora accesa, con noncuranza, altri la schiacciano sotto le scarpe. Le cicche rappresentano la porzione residuale della combustione delle sigarette e, a causa delle proprietà filtranti, contengono numerosi composti chimici. Non esistono dati quantitativi esaustivi sul contenuto di agenti chimici nelle cicche, anche perché questo dipende da molti fattori come le mo-

Tabella 1 – Alcuni agenti chimici emessi durante la combustione di una sigaretta, espressi in mg/sigaretta

Componenti in fase gassosa	Concentrazione media/sigaretta	Componenti in fase particolata	Concentrazione media/sigaretta
Ossido di carbonio	17,0	Polveri totali	40
Toluene	0,15	Nicotina	1,8
Formaldeide	0,09	Fenolo	0,08
Acroleina	0,08	Catecolo	0,23
Acetone	0,18	Idrochinone	0,2
Acido cianidrico	0,45	Acido lattico	0,12
Ammoniaca	0,1	Acido glicocolico	0,08
Ossidi di azoto	0,4	Benzo (a)pirene	0,07
Acido acetico	0,57	Nichel	0,03
Benzene	0,28	Arsenico	0,013
Piridina	0,09	Polonio-210 (pCi)	0,5 pCi
Acetaldeide	0,7	Cadmio	0,002

Fonte: Spiridozzi^[18]

dalità con cui il tabagista fuma, gli additivi usati dalle industrie, la colonna di tabacco residuo ecc.

Il filtro delle sigarette presenta una diversa efficienza in relazione alle caratteristiche chimico-fisiche delle sostanze generate dalla combustione del tabacco. Per i vari componenti (gas, vapori, micro particelle) questa quota varia tra il 40 e 60%. Per fornire un'idea sul possibile carico inquinante apportato con le cicche al territorio italiano viene da noi considerata una efficienza filtrante del 50%, ossia ipotizziamo che il filtro trattenga la metà di tutte le sostanze emesse durante la combustione.

Come detto in precedenza le sostanze chimiche presenti nel fumo sono migliaia. Al fine di inquadrare il problema e le dimensioni del fenomeno viene focalizzata l'attenzione su alcuni agenti, scelti come rappresentativi della contaminazione ambientale. In particolare prenderemo in esame i seguenti contaminanti: nicotina, polonio-210, composti organici volatili, materiale particellare o condensato, gas tossici, acetato di cellulosa, materiale costitutivo del filtro.

Nicotina: è il più importante fra i principi attivi contenuti nel tabacco. È un alcaloide volatile, facilmente solubile in acqua, responsabile della dipendenza. È un veleno così potente che 50-60 mg sono in grado di indurre effetti letali sull'uomo. La ragione per cui la nicotina è presente nella pianta del tabacco (*figura 2*) è da ricercare nelle sue proprietà insetticide, ossia di difesa della pianta dai parassiti.

Ogni sigaretta contiene in media 10-15 mg di nicotina, di cui il 20% passa nel fumo e il 50% viene degradato durante la combustione. In tal caso possiamo ipotizzare che nella cicca resti intrappolata una quota pari a circa 4,5 mg di nicotina. Poiché in Italia si consumano 72 miliardi di sigarette all'anno, e ogni cicca contiene 4,5 mg di nicotina, con le cicche immettiamo in ambiente circa 324 tonnellate di alcaloide. La nicotina, oltre a indurre dipendenza, è una sostanza chimica classificata tossica per gli organismi acquatici e pericolosa per l'ambiente^[3].

È presente nel latte materno in quantità direttamente proporzionali al tabacco fumato, tanto che un elevato consumo di sigarette da parte della nutrice può indurre tutta una serie di disturbi al



Figura 2
Pianta del tabacco
Fonte: immagine tratta da Internet

neonato, quali irrequietezza, tachicardia, vomito e diarrea. Nei casi più gravi è possibile arrivare anche al blocco respiratorio. Il latte materno contaminato da nicotina e altri derivati dalla combustione del tabacco risulta positivo nei test di mutagenesi.

Polonio-210: elemento radioattivo alfa emittente, possiede un elevato potenziale cancerogeno. Ogni sigaretta presenta un contenuto di polonio-210 variabile a seconda del luogo e delle modalità di coltivazione del tabacco. La scoperta di questo radionuclide risale ai primi anni 60. La presenza di radioattività alfa è dovuta in parte all'assorbimento diretto da parte delle radici dei radioelementi presenti in terreni ricchi di uranio, e in parte ai fertilizzanti polifosfati ricchi di radio^[19].

Esistono molti studi sulla distribuzione del carico radioattivo da polonio-210 di una sigaretta. Uno di questi, svolto dalla Società di Tabaccologia in collaborazione con la Facoltà di Farmacia dell'Università di Bologna e con l'ENEA, ha messo in evidenza che il fumo di una sigaretta occidentale contiene una radioattività alfa da polonio-210 di circa 75mBq, variamente distribuito tra fumo attivo, fumo passivo e cenere^[17].

Secondo Parfenov, in media, il 50% del polonio-210 presente nel tabacco è trasferito nel fumo, il 35% resta nel mozzicone e il 15% lo si ritrova nella cenere. In base alle considerazioni di Parfenov, supponendo che il contenuto medio di Po-210 sia pari a 75mBq, abbiamo calcolato la sua distribuzione nelle diverse frazioni, che risulta così suddi-

visa: 37,5 mBq nel fumo attivo e passivo, 26,0 mBq nel mozzicone e 11,5 mBq nella cenere^[17].

Tenendo conto che ogni anno in Italia si producono circa 72 miliardi di cicche, il carico complessivo annuale di radioattività alfa immesso con le cicche nell'ambiente è pari a circa 1.872 milioni di Bq.

Esiste quindi un rischio di contaminazione per l'ambiente e per l'uomo. La contaminazione del suolo o delle acque rappresenta un pericolo per le varie comunità di insetti, batteri ecc. Tutti questi organismi potrebbero essere contaminati da tale radionuclide, assorbire e/o concentrare la sostanza e subirne gli effetti nocivi.

Composti organici volatili (VOC): la combustione del tabacco produce innumerevoli composti chimici, tra cui benzene, acetone, formaldeide, toluene, acroleina ecc. Tenuto conto che ogni sigaretta emette circa 50 mg di composti organici volatili, e che di questi il 50% resta nel filtro, ne consegue che con le cicche riversiamo in ambiente circa 1.800 tonnellate di composti organici volatili.

I composti organici volatili sono sostanze chimiche di natura diversa, comprendenti idrocarburi, terpeni, olefine, alcoli, esteri, chetoni, aldeidi ecc. Molti di questi sono gli stessi prodotti utilizzati come solventi o diluenti in colle, inchiostri, vernici, smacchiatori, pulitori casalinghi o industriali.

La maggior parte dei VOC è irritante per le mucose e molti di essi hanno un'azione neurotossica. Alcuni, come il benzene e la formaldeide, sono noti cancerogeni.

I composti organici volatili presenti nelle cicche, a causa della loro elevata volatilità, sono facilmente dispersibili in atmosfera, dove possono subire un complesso sistema di reazioni fotochimiche indotte dalla luce ultravioletta presente nei raggi del sole, con produzione di ozono e altre sostanze ossidanti pericolose per la salute dell'uomo e dell'ambiente^[4].

Ammoniaca e acido cianidrico: durante la combustione del tabacco vengono emessi diversi gas, tra i quali anche gas tossici così come definiti dal Regio Decreto del 1927. Ogni sigaretta ne emette circa 0,6 mg, di cui il 50% resta nel filtro. Quindi complessivamente con le cicche ogni anno riversiamo in ambiente circa 21,6 tonnellate di questi gas tossici. L'ammoniaca in soluzione acquosa è

una sostanza molto tossica per gli organismi acquatici. L'acido cianidrico, detto anche acido prussico, è uno tra i più potenti veleni che si conoscano. L'azione tossica è legata al blocco della catena delle reazioni ossido-riduttive che partecipano al trasporto dell'ossigeno^[4].

Materiale particolato: ogni sigaretta ne produce in media 40 mg. Il particolato include anche la frazione denominata "condensato", la quale contiene una moltitudine di composti chimici (idrocarburi policiclici aromatici-IPA, benzopirene, catrame, cromo, cadmio e altri metalli ecc.). Il catrame è un agente cancerogeno e il suo potere nocivo deriva dall'insieme dei vari componenti^[4].

Assumendo che il 50% del materiale particellare prodotto dalla combustione di una sigaretta resti nella cicca, per ogni cicca gettata mettiamo in ambiente 20 mg di particolato. Complessivamente con le cicche finiscono in ambiente circa 1.440 tonnellate di materiale particellare contenente centinaia di composti tossici, nocivi e cancerogeni.

L'esposizione a materiale particolato non dà origine a una specifica malattia, ma contribuisce ad una vasta gamma di processi biologici multi-causali. Ai fini espositivi è utile distinguere due tipologie di effetti dovute a differenti modalità di esposizione, acuta e cronica, sebbene il più delle volte queste tendano a sovrapporsi.

Gli effetti acuti sono quelli che si manifestano in un breve arco di tempo (dell'ordine di ore, giorni) a seguito di un'esposizione intensa. A piccole variazioni nella concentrazione di particolato corrispondono bruschi incrementi di sintomatologie respiratorie, tosse, bronchiti, infarto al miocardio.

Gli effetti cronici si verificano a seguito di esposizioni prolungate, mesi o anni. L'esposizione cumulativa riduce lo sviluppo polmonare nei bambini, accelera l'invecchiamento delle funzioni polmonari negli adulti, sembra accelerare il processo di arteriosclerosi, aumenta la comparsa di sintomi respiratori a carattere cronico, dando luogo anche ad una maggiore incidenza del tasso di tumore al polmone, laringe, faringe, ecc.^[20]

Acetato di cellulosa: componente principale del filtro, costituisce un rischio per l'ambiente. Questa sostanza infatti è fotodegradabile, ma non biode-

Tabella 2 – Quantitativi di sostanze pericolose immesse annualmente nell'ambiente con le cicche in Italia

Nicotina	324 tonnellate
COV	1.800 tonnellate
Gas tossici	21,6 tonnellate
Catrame e condensato	1.440 tonnellate
Acetato di cellulosa	12.240 tonnellate
Polonio-210	1.872 milioni di Bq

Fonte: Lombardi (et al)¹⁴⁾

gradabile. Di conseguenza le fibre, dopo attacco degli agenti atmosferici (sole, acqua, variazioni termiche), vengono fisicamente sgretolate e disperse nel suolo e nelle acque³⁾. Ogni filtro ne contiene circa 170 mg. Considerando il consumo annuale di sigarette in Italia risulta che complessivamente finiscono in ambiente 12.240 tonnellate di acetato di cellulosa.

Impatto ambientale delle cicche

Il carico nocivo di ogni singola cicca è relativamente basso, dell'ordine dei mg; ciò che amplifica il problema è l'elevato numero di fumatori. In Italia, secondo l'indagine DOXA-ISS, il numero dei fumatori nel 2009 è stato stimato in circa 13 milioni. Considerando un consumo medio di 15 sigarette al giorno pro capite, ogni giorno in Italia vengono prodotti 195 milioni di cicche, corrispondenti a 72 miliardi di cicche all'anno¹⁴⁾.

Poiché non esistono norme che regolano lo smaltimento di tale rifiuto, la maggior parte di queste vengono abbandonate senza alcun criterio e attenzione in tutti i luoghi possibili.

Nella *tabella 2* sono riportati i quantitativi di alcune sostanze chimiche pericolose immesse annualmente in ambiente in Italia con le cicche.

È importante tener presente che, dopo il calo iniziale conseguente all'entrata in vigore della legge Sirchia, il consumo di tabacco negli ultimi anni è tornato gradualmente ad aumentare, e di conseguenza sono aumentate anche le cicche.

Il divieto di fumo ha costretto i fumatori a cambiare abitudini: la sigaretta viene consumata fuori dai

Tabella 3 – Tempo di degradazione dei rifiuti

Tipologia del rifiuto	Tempo di degradazione
Mozziconi di sigaretta	da 1 a 5 anni
Buste di plastica	da 10 a 20 anni
Prodotti in nylon	Da 30 a 40 anni
Lattine in alluminio	500 anni
Bottiglie di vetro	1000 anni
Bottiglie di plastica	Tempo indefinito

Fonte: Legambiente

locali dove, in assenza di posacenere, la cicca viene abbandonata nell'ambiente circostante senza alcun criterio o precauzione. A dimostrazione di ciò, le cicche stanno in cima alla lista della cosiddetta sporcizia urbana.

A livello urbano i mozziconi sono di difficile gestione, in quanto rimangono incastrati in tutti gli interstizi dove le scope e i mezzi meccanici di spazzamento non riescono ad arrivare. Almeno il 50% di tutti i rifiuti delle aree urbane sono correlati a prodotti del tabacco: cicche, cellophan, carta interna di rivestimento e pacchetti vuoti.

Una ricerca svolta tra il 2002 e il 2006 nell'ambito del programma di ricerca delle Nazioni Unite per l'Ambiente (UNEP), ha evidenziato che le cicche (*tabella 3*) sono nettamente al primo posto nella top ten dei rifiuti che soffocano il Mediterraneo²¹⁾.

Anche per quanto riguarda le spiagge italiane la situazione non è delle migliori. Una recente campagna dimostrativa promossa da Focus e Legambiente ha messo in evidenza che in media ogni metro quadrato di sabbia ripulita dai volontari contiene almeno 2 mozziconi di sigaretta, 2,5 tappi di plastica o metallo, una cannuccia e uno stecco di gelato²¹⁾.

Se è vero che in estate la popolazione va in vacanza, è altrettanto vero il fatto che i fumatori non conoscono ferie ed esercitano la loro pratica per 365 giorni l'anno. Rapportando tali dati all'intero patrimonio spiaggistico possiamo ipotizzare che sulle spiagge italiane ogni anno vengano abbandonati circa 12,4 milioni di cicche, 15,5 milioni di tappi, 6 milioni di cannucce e altrettanti bastoncini di gelato.

A livello urbano le cose non vanno meglio. Infatti, basta gettare uno sguardo fuori dai negozi, dai bar, dai ristoranti, alle fermate degli autobus, nei parchi, sui bordi dei marciapiedi, per vedere un autentico tappeto di mozziconi gettati alla rinfusa da chi consuma la propria sigaretta per poi disfarsene senza la minima cura.

In diverse città italiane negli ultimi tempi sono stati posizionati contenitori di rifiuti che presentano un apposito alloggiamento per le cicche (figura 3). Purtroppo va annotato che questo tipo di contenitore non è sicuramente ergonomico, in quanto lo spazio per le cicche è limitato ed è di difficile svuotamento e pulizia. Inoltre, la scarsa sensibilizzazione al problema ambientale fa sì che i cittadini gettino negli spazi dedicati alle cicche anche altri rifiuti, intasandoli, per di più con il rischio di provocare pericolosi incendi.

Le cose non vanno meglio all'estero: anche in America e Australia, infatti, le cicche sono ai primi posti della classifica dei rifiuti che si trovano nei centri urbani e sulle spiagge.

Recenti studi (microtox test) hanno messo in evidenza la tossicità acuta di estratti acquosi delle cicche di sigaretta. Le cicche, se non raccolte, restano in loco per diverso tempo e possono essere ingerite da vari animali. Sono state trovate cicche di sigaretta nello stomaco di giovani uccelli, tartarughe e altre creature marine^[3].

Recenti studi dell'US National Oceanic and Atmospheric Administration hanno evidenziato che le cicche

sono responsabili ogni anno della morte di almeno un milione di pesci e uccelli marini e di circa centomila mammiferi^[3].

Nella *tabella 3* sono riportati i tempi di degradazione di alcuni rifiuti che normalmente vengono riscontrati sulle spiagge e in ambienti urbani.

Le cicche di sigaretta possono a tutti gli effetti essere considerate un rifiuto tossico che, oltre ad entrare con i suoi componenti nella articolata e complessa catena alimentare, può essere responsabile, se ingerito, di intossicazioni acute. In letteratura sono riportati molti casi di avvelenamento da nicotina nei bambini, in seguito ad ingestione di sigarette, sigari o di cicche. L'avvelenamento acuto da nicotina è caratterizzato da una rapida insorgenza di sintomi che possono essere tanto più severi quanto maggiore è stata la quantità di nicotina ingerita. Questi avvelenamenti sono più frequenti in bambini di età inferiore ai 6 anni che vivono con genitori e parenti che fumano in casa. Si tratta di una fascia di età in cui i bambini tendono ad esplorare attivamente l'ambiente che li circonda, aumentando così il rischio di ingerire sostanze tossiche^[3].

Conclusioni

In questo lavoro abbiamo voluto porre l'attenzione su un problema che all'apparenza sembra di poco conto e di cui finora sono stati trascurati i possibili effetti: l'impatto ambientale e sanitario delle cicche di sigaretta.

Il divieto di fumo negli ambienti chiusi, senza una adeguata strategia di gestione delle cicche, ha accentuato le problematiche legate all'impatto ambientale del tabagismo. In precedenza una buona parte delle cicche finivano nei rifiuti urbani ed erano trattate come un prodotto poco pericoloso. Le cicche di sigaretta, costituiscono a tutti gli effetti un rifiuto pericoloso.

Va evidenziato che, mentre per quanto riguarda la salvaguardia della salute dei lavoratori le emissioni industriali, lo smaltimento dei rifiuti pericolosi, le emissioni degli inceneritori esistono norme, leggi, regolamenti, Testi Unici, anche molto restrittivi, non esiste nulla, invece, che limiti la dispersione delle cicche nell'ambiente.



Figura 3
Portarifiuti per cicche in vaso da carta e altre tipologie di rifiuti
Fonte: foto di proprietà degli autori



Figura 4
Cicche e alberi in città
Fonte: foto di proprietà degli autori

Ciò deriva sia da una scarsa informazione scientifica, sia da una bassa percezione della nocività dei mozziconi da parte dell'opinione pubblica e dei legislatori; infatti da sempre è comunemente accettata da tutti la dispersione incontrollata di tale rifiuto.

La nicotina contenuta nelle cicche presenta la stessa tossicità di molti pesticidi. Recenti studi ne hanno messo in evidenza la tossicità acuta su alcune specie di microrganismi acquatici. Essa inoltre potrebbe essere responsabile della riduzione numerica di alcune specie animali utili all'agricoltura come le api^[3].

Recentemente è stata segnalata dall'European Food Safety Authority (EFSA), la presenza di nicotina in campioni di funghi selvatici secchi provenienti da diversi paesi.

Da dove provenga e che cosa abbia causato la presenza di tale sostanza è tutto da accertare. Potrebbe essere l'uso di pesticidi o una serie di altri fattori, come una contaminazione accidentale durante la lavorazione, oppure una contaminazione prodotta da materiali contenenti tabacco gettati in modo indiscriminato in ambiente.

L'EFSA considera non sicura la presenza di nicotina in funghi freschi fino a 0,5 mg/kg. Gli effetti del consumo di funghi contaminati includono cefalea, tachicardia e vertigini.

Nei paesi europei, l'uso di prodotti che contengono nicotina, come gli insetticidi, saranno eliminati entro la fine di giugno 2010, ma il loro uso in altri paesi potrebbe continuare e incrementare il rischio di contaminazione da nicotina in determinati alimenti.

L'Agenzia per la Protezione dell'Ambiente della California ha classificato il fumo di tabacco un "inquinante tossico" dell'aria. Poiché le cicche contengono gli stessi prodotti chimici presenti nel fumo sarebbe opportuno classificare le cicche come un'inquinante tossico per l'ambiente^[22].

I comuni, gli amministratori locali, i datori di lavoro dovrebbero, al fine di proteggere l'ambiente, non solo emanare norme comportamentali, ma anche farsi carico di installare, ove opportuno e il più diffusamente possibile, appositi raccoglitori per le cicche^[14].

In analogia a quanto previsto per altre tipologie di rifiuti (carta, pile, metalli, plastica ecc.), si dovrebbe provvedere ad approntare una filiera appositamente dedicata al problema cicche.

I contenitori per le cicche dovrebbero essere strumenti progettati appositamente per contenere tali rifiuti, essere dotati per esempio di bagno a sabbia e di chiusura ermetica. I contenitori dovrebbero essere facilmente svuotabili e il materiale raccolto dovrebbe essere inviato in una discarica per prodotti pericolosi oppure trattato in modo apposito.

Va ricordato che molti Comuni hanno emanato obblighi, per i conduttori di cani, di rimozione degli escrementi dei propri animali a fini di igiene, decoro e per non causare disturbo e disagio ai pedoni. Non esistono disposizioni analoghe per le cicche di sigaretta che imbrattano i marciapiedi e il suolo, o finiscono nelle fogne e nelle acque superficiali contaminandole.

Unica nota positiva riguarda le possibili sanzioni per gli automobilisti che gettano le cicche di sigaretta dalle auto in corsa, norme dettate dal codice della strada legate però solo alla prevenzione degli incendi e non alla protezione dell'ambiente.

Negli ultimi anni, c'è stato un incremento notevole delle vendite del tabacco trinciato (per le sigarette "fai da te"), le cui vendite sono più che raddoppiate dal 2004. Questo tipo di tabacco ha un costo inferiore rispetto alle sigarette ed è quindi particolarmente appetibile per i giovani consumatori. Le sigarette "fai da te" vengono utilizzate mediante l'applicazione di un piccolo filtro di dimensioni ridotte rispetto al filtro di una sigaretta normale. Questo nuovo tipo di cicca è più pericoloso di quello standard in quanto, essendo più piccolo, è



Figura 5
Posacenere
portatile
Fonte:
Immagine
tratta da
Internet

più facilmente ingeribile da animali e uccelli. Per quanto riguarda il modo di agire dei fumatori esiste sicuramente un evidente conflitto tra il loro comportamento e la protezione dell'ambiente, conflitto reso ancora più evidente dalla mancanza di consapevolezza circa il potenziale nocivo delle cicche. A tale proposito è quindi necessario approntare campagne informative e formative per indirizzare il fumatore a comportamenti più idonei e rispettosi dell'ambiente. Utile ricordare la recente iniziativa dell'associazione Marevivo "Ma il Mare non vale una cicca" spiagge della nostra penisola. L'iniziativa si propone di sensibilizzare i fumatori al problema dell'abbandono selvaggio dei mozziconi sulle spiagge. In alcune nazioni come Stati Uniti e Australia questo tipo di sensibilità è molto alta, sia a livello governativo che di opinione pubblica. In America vengono promosse sistematiche campagne di informazione sul rischio di incendi da cicche di sigaretta^[23]. In Australia da diversi anni sono in commercio posacenere portatili, il cui uso è in grado di ridurre in modo considerevole l'impatto ambientale delle cicche di sigaretta. Nella *figura 5* è riportato un posacenere personale resistente al fuoco, lavabile e quindi riutilizzabile. Lo Stato di Vittoria (Australia) ha lanciato dalla fine degli anni 90 campagne di sensi-

bilizzazione e raccolta differenziata dei mozziconi di sigaretta.

Ulteriori elementi formativi e informativi sulla pericolosità delle cicche potrebbero venire da apposite scritte che mettano in evidenza i potenziali effetti nocivi indotti dalle cicche sull'ambiente: "le cicche sono pericolose, le cicche inquinano, le cicche contaminano il suolo le acque, tieni lontano le cicche dal tuo bambino, la cicca può uccidere tuo figlio, butta la cicca negli appositi contenitori".

Il messaggio potrebbe essere ancora più incisivo se accompagnato da immagini che richiama i rischi ambientali, come ad esempio una tartaruga rovesciata con una cicca nello stomaco, oppure insetti morti intorno ad una pozza con l'acqua in cui sono presenti alcune cicche, o un granchio con una cicca fra le chele.

Campagne informative sulla pericolosità delle cicche dovrebbero essere condotte nelle scuole, nei luoghi di lavoro al fine di indurre una crescita culturale che deve sempre affiancare le disposizioni sanzionatorie. Sarebbe opportuno che ogni fumatore si munisse di posacenere portatile e/o tascabile.

Formare gli individui, soprattutto i giovani, al rispetto della propria e altrui salute, rappresenta un importante momento di civiltà e un'opportunità per sviluppare cambiamenti duraturi di stili di vita che abbiano come fine anche la tutela ambientale.

Il problema delle cicche è rilevante e va affrontato da vari punti di vista, coinvolgendo diversi attori e notevoli risorse finanziarie. Per la loro gestione occorre utilizzare tutta una serie di strumenti e norme.

Da molte parti vengono proposte multe per chi getta le cicche in terra. Sanzioni e restrizioni da sole non bastano, è necessario mettere a disposizione dei fumatori un numero importante di posacenere da distribuire il più diffusamente possibile. I Comuni, le associazioni dei commercianti, i datori di lavoro pubblici e privati, i bar, i ristoranti, i cinema, i negozi, i centri commerciali dovrebbero farsi carico di acquisire e mettere a disposizione appositi posacenere per le cicche. Sarebbe opportuno organizzare per le cicche una raccolta differenziata come avviene attualmente per la carta, le pile, il vetro ecc. Le cicche di sigaretta non sono solo brutte da vedere in quanto deturpano il decoro urbano, ma

sono anche tossiche. Per ridurre il loro impatto sull'ambiente sarebbe auspicabile fare ricorso al principio di prevenzione "chi inquina paga". La proposta è quella di attuare un piccolo aumento del costo delle sigarette di pochi centesimi da dedicare alle attività di raccolta differenziata e smaltimento in sicurezza di tale rifiuto.

Su questo problema, nonostante le carenze normative e culturali è possibile fare molto. La sua soluzione è legata intimamente al modo di agire dei fumatori. Infatti solo con un comportamento consapevole e responsabile di questi soggetti, è possibile ridurre l'impatto ambientale delle cicche.

Bibliografia

- [1] D. Lgs. 152/2006. *Norme in materia Ambientale*. Gazzetta Ufficiale n 88 del 14 aprile - Supplemento ordinario n 96.
- [2] Jenkins R.A, Guerrin MR, Tomkins BA. *The Chemistry of Environmental Tobacco Smoke: Composition and measurements*. Indoor Air Research, series, 1999.
- [3] Novotny T.E., Lum K., Smith E., Wang V. and Barnes R. *Cigarettes Butts and Case for an Environmental Policy on Hazardous Cigarette Waste*. Int. J. Environ. Res 2009; 6: 1691-1705.
- [4] Invernizzi G, Boffi R, Mazza R. *Che cos'è il fumo di tabacco. Divieto di fumo. Norme, Rischi, Prevenzione*. Dossier Ambiente 2004; 68: 10-13.
- [5] Mangiaracina G, Palombo L. *Fumo al volante e rischio infortunistico stradale*. Tabaccologia 2007; 2: 19-23.
- [6] Hoffman D, Wynder EL. *Chemical constituent and bioactivity of tobacco smoke*. IARC. Tobacco: a major international health hazard. Lyon: IARC Scientific Publications, Peto Ed, 1986; 74: 145-65.
- [7] Hoffman D. *Analysis of toxic smoke ingredients in toxicity testing plan*. U.S. Consumer Product Commission and Department of Health and human services, 1993.
- [8] Merchel C., Pragst F. *Analisi delle sigarette secondo gli additivi*. Abschlussbericht Projekt Tabakzusatzstoffe 2009 – Verfügung – Nr: 05.000927.
- [9] Benowitz NL. *Cigarette smoking and nicotine addiction*. Med Clin North Am. 1992; 76: 415-437.
- [10] US Department of Agriculture. *World Tobacco Situation*. Foreign Agriculture Service Circular Series FT 8-92, August 1992: 52
- [11] Pacifici R. *Rapporto annuale sul fumo in Italia*. <http://www.iss.it/binary/ofad/cont/29>
- [12] US Department of Health and Human Service. *The Health consequences of involuntary smoking*. Report of Surgeon General. Washington, D.C, Public Health Service, 1986.
- [13] US Department of Health, Education, and Welfare. *Smoking and health*. Report of the Advisory Committee to the Surgeon General of the Public Health Service. Washington, DC: Public Health Service, 1964; PHS Publication, No. 1103.
- [14] Lombardi C.C., Di Cicco G, Zagà V. *Le cicche di sigaretta: un rifiuto tossico dimenticato*. Tabaccologia 2009; 4: 27-36.
- [15] Corte di Cassazione. Sentenza n 26516/09.
- [16] Norma A. *Cigarette manufacture: cigarette design and materials*. In: Davies DL., Nielsen MT, Tobacco: production, chemistry and technology. Oxford: Blackwell Science, 353-387.
- [17] Zagà V, Gattavecchia E. *Polonio 210 nel fumo di tabacco: il killer radioattivo*. Tabaccologia 2006; 4: 22-28.
- [18] Spiridozzi S, Fioravanti S, Muzi M. *Aspetti igienici e tecnici della normativa antifumo*. Inserto di ISL – Igiene e Sicurezza sul lavoro n. 5/2004.
- [19] Zagà V. *Polonio: arma letale anche nel fumo di tabacco*. Leader for Chemist 2007;177:30-41.
- [20] Cesaroni G, Forestiere F, et. al. *Effect on the Italian smoking ban on population rates of acute coronary events*. Circulation 2008; 117: 1121-1123.
- [21] Focus – Legambiente. *Stessa spiaggia ... stessa cicca*. Tabaccologia 2008; 2:24.
- [22] Commissione delle Comunità Europee. Libro Verde. *Verso un'Europa senza fumo: opzioni per un'iniziativa dell'Unione Europea*. COM (2007) 27.
- [23] National Institute of Standard and Technology: www.firesafecigarettes.org/assets/files/NISTstandard.pdf

Le possibili tecnologie veicolari del futuro: analisi delle prospettive delle opzioni più interessanti

Francesco Di Mario*
Antonio Mattucci*
Marina Ronchetti**

* ENEA, Unità Tecnica Fonti Rinnovabili

** ENEA, Unità di Progetto Ricerca di Sistema Elettrico

Tra le tecnologie veicolari che si candidano per sostituire i veicoli convenzionali, i veicoli elettrici a batteria e i veicoli a idrogeno a celle a combustibile sembrano avere le carte migliori. Viene fatta pertanto un'analisi comparativa di pregi e difetti delle nuove tecnologie e delle complesse azioni richieste per una loro concreta presa di mercato

Possible Future Vehicle Technologies: Prospects of the Most Interesting Propulsion Options

Among the technologies options available to replace conventional vehicles, battery electric and hydrogen fuel cell vehicles appear to have the best chances. Therefore a comparative analysis related to such technologies strengths and weaknesses and the complex actions required for their market take-off has been carried out

Nella prima parte di questo studio^[1] sono state descritte le tecnologie veicolari che potrebbero sostituire in un futuro più o meno lontano i veicoli a combustione interna (ICE) basati su combustibili tradizionali. Si sono considerate in particolare le tecnologie elencate nella *tabella 1*, dove sono stati anche riportati i possibili effetti della loro introduzione nel mercato delle autovetture, attraverso la scelta di opportuni indicatori. Le tecnologie prese in considerazione prevedono sia veicoli a combustione interna con nuovi carburanti (biocombustibili, gas naturale, idrogeno), sia veicoli di nuova concezione a combustione interna (veicoli ibridi nelle diverse tipologie) o utilizzando nuovi sistemi di propulsione o combustibili (veicoli elettrici a batteria e a celle a combustibile con idrogeno).

Le indicazioni riportate nella tabella sono di carattere qualitativo, ipotizzano uno sviluppo soddisfacente delle tecnologie e sono riferite all'acquisto (o alla conversione) dei soli veicoli; ciò vale in particolare per i costi, per i quali politiche di detassazione potrebbero consentire risparmi significativi che potrebbero compensare i maggiori esborsi iniziali. Ad esempio questa considerazione vale in Italia per i veicoli a gas naturale in cui il costo del combustibile, a parità di energia erogata, risulta notevolmente inferiore sia alla benzina sia al diesel. Analoghi effetti potrebbero avere sussidi per convertire ad esempio un veicolo convenzionale all'uso del gas naturale.

Occorre però segnalare che gli incentivi, come pure la leva fiscale, possono assumere un effetto incentivante solo in una fase di prima penetrazione del mercato e fino al momento in cui le nuove tecnologie abbiano raggiunto una sufficiente competitività, agendo nella direzione di ridurre i costi e rendendo le tecnologie più interessanti per l'utente finale. Allorché un mercato di una certa consistenza sarà stato raggiunto dovrà evidentemente essere abbattuta o eliminata ogni forma di incentivo. Infatti il continuare nell'erogazione dei sussidi, accanto all'esborso notevole che ne risulterebbe per la collettività, che dovrebbe reperire risorse tanto più ingenti quanto più numerosi risultano i veicoli che usufruiscono di tali benefici, produrrebbe una forte di-

storsione del mercato nei confronti delle opzioni alternative, cosa evidentemente non desiderabile; anche la detassazione dei combustibili dovrebbe essere eliminata, per evitare che si creino negli Stati sbilanciamenti tra entrate ed uscite, in dipendenza dei minori introiti dovuti alle accise sui carburanti. In mancanza di ciò si renderebbe necessaria l'imposizione di nuovi tributi, penalizzando presumibilmente categorie di cittadini diverse da quelle che hanno beneficiato dei vantaggi ed abbassando di conseguenza il livello di equità sociale.

La *tabella 1* sulle tecnologie alternative è organizzata in 3 sezioni che riguardano le prestazioni, gli impatti ambientali ed energetici e quelli relativi al mercato. I confronti hanno come riferimento temporale una data collocabile nei primi anni dopo il 2010. Fanno eccezione i veicoli a idrogeno e a batteria, le cui valutazioni sono fatte considerando periodi successivi, ovvero allorquando le relative tecnologie avranno raggiunto un soddisfacente livello di sviluppo.

In alcuni casi le indicazioni riportate preconfigurano scelte particolari; ad esempio l'indicazione di emissione di CO₂ per i veicoli a idrogeno non tiene conto della possibilità che questo possa essere prodotto da fonti rinnovabili e/o fossili con cattura e sequestro della CO₂. In questo caso l'emissione sarebbe, infatti, nulla, mentre l'indicazione riportata dà una valutazione "minore", perché l'utilizzo di tecnologie più efficienti permette l'impiego di minori quantità di fonti fossili e riduce perciò la quantità di CO₂ emessa. Per avere la possibilità di effettuare una valutazione comparativa dell'efficienza energetica di alcune delle tecnologie ci si può riferire alla *figura 1*, dove sono riportati i consumi unitari di autovetture di diversa tipologia, suddivisi nelle due porzioni della catena energetica *Well To Tank* (WTT) e *Tank To Wheel* (TTW)^[2]. Come si può notare, i combustibili convenzionali hanno buone rese di conversione dal petrolio, ma consumi per l'intera catena più alti. Per l'idrogeno si ipotizza una produzione da fossili con cattura e sequestro della CO₂ (CCS), mentre per i veicoli elettrici si può notare come divenga particolarmente importante la ricarica delle batterie, legata inevitabilmente alla disponi-

bilità di energia elettrica. L'ipotesi adottata nel grafico è quella di considerare il valore medio del mix di produzione. Non sono stati considerati nell'istogramma né i veicoli a biocarburante, dove si assiste ad un'efficienza simile a quella dei corrispondenti carburanti convenzionali nella porzione TTW, ma un consumo specifico nella catena di produzione alquanto elevato, né i veicoli ibridi *plug-in*, per i quali non è facile dare valutazioni energetiche perché fortemente dipendenti dal loro tipo di impiego. Infatti, per uno stesso veicolo la ricarica delle batterie fatta attraverso la rete elettrica comporta, a seconda del tipo di percorrenza, consumi specifici che oscillano tra quelli dei veicoli elettrici a batteria e quelli dei veicoli convenzionali, non essendo il motore a combustione interna ottimizzato come per alcune tipologie di veicoli ibridi. Nella costruzione della *tabella 1*, che confronta le

tecnologie veicolari, si sono fatte le seguenti ipotesi: che la produzione dell'elettricità e dell'idrogeno da fonti fossili non sia abbinata a cattura e sequestro della CO₂; che l'inquinamento atmosferico sia rilevato solo al punto d'uso; che i veicoli ibridi *plug-in* abbiano un serbatoio di capacità simile a quella dei veicoli convenzionali; che i veicoli la cui fonte primaria sia diversa dal petrolio rendano meno critica la sicurezza degli approvvigionamenti. Nella tabella deve inoltre essere preso in considerazione come parametro primario di valutazione il colore, mentre la descrizione all'interno serve solo a caratterizzare meglio il risultato del confronto. Per quanto attiene la colonna "Gradimento dell'utente finale" si deve tener presente che essa cerca di sintetizzare la disponibilità dello stesso ad acquistare i veicoli basati sulle nuove tecnologie, posto che ci sia già un livello sufficiente di infrastrutture e che i

Tabella 1 – Confronto delle alternative veicolari rispetto a quelle convenzionali (veicoli a benzina e diesel)

Tecnologia/Impatto	Prestazioni				Società			Mercato		
	Efficienza (TTW)	Efficienza (WTW)	Autonomia	Comfort	Emissione CO ₂	Inquinamento atmosferico	Sicurezza approvvigionamenti	Infrastruttura	Costo veicolo	Gradimento utente finale
Veicoli ICE a Biofuel	Simile	Minore	Simile	Simile	Minore	Minore	Maggiore	Disponibile	Simile	Maggiore
Veicoli ICE a Gas Naturale	Simile	Simile	Simile	Simile	Minore	Minore	Maggiore	Da migliorare	Maggiore	Minore
Veicoli elettrici a batteria	Decisamente maggiore	Maggiore	Minore	Maggiore	Minore	Zero	Decisamente maggiore	Da realizzare	Decisamente maggiore	Minore
Veicoli ibridi	Maggiore	Maggiore	Simile	Simile	Minore	Minore	Simile	Disponibile	Maggiore	Maggiore
Veicoli ibridi <i>plug-in</i>	Maggiore	Simile	Simile	Maggiore	Minore	Minore	Maggiore	Da ampliare	Maggiore	Maggiore
Veicoli ICE a idrogeno	Simile	Minore	Minore	Simile	Simile	Minore	Decisamente maggiore	Da realizzare	Maggiore	Minore
Veicoli ICE a miscela Idrogeno/Gas Naturale	Simile	Simile	Simile	Simile	Minore	Minore	Maggiore	Da ampliare	Maggiore	Minore
Veicoli a celle a combustibile a idrogeno	Decisamente maggiore	Maggiore	Simile	Maggiore	Minore	Zero	Decisamente maggiore	Da realizzare	Decisamente maggiore	Minore

Fonte: elaborazione ENEA

costi siano sostenibili. Ci si pone quindi in una fase di primo avvio del mercato dove l'utente, accanto a fattori positivi, legati ad esempio alla maggiore efficienza e sostenibilità ambientale e all'avere a disposizione un veicolo non comune, deve valutare elementi di altra natura per scegliere i nuovi veicoli. Accanto ad elementi di natura più psicologica (ad es. riluttanza ad effettuare scelte troppo innovative in mancanza di certezze assolute sulla loro bontà) se ne ritrovano altri, come costi e tempi maggiori per rifornire, stante la minore capillarità delle infrastrutture, incertezza sulla possibilità di rivendita del veicolo, difficoltà ad effettuare manutenzioni, eventuali modifiche dello stile di guida ecc. Questi elementi hanno generalmente un peso tanto più importante quanto più innovative sono le tecnologie specifiche e possono frenare lo sviluppo del mercato in assenza di azioni esterne. Ta-

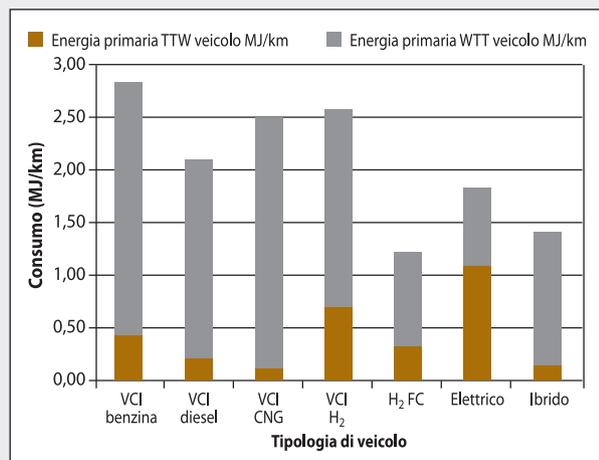


Figura 1
Consumi unitari di tecnologie veicolari
Fonte: elaborazione ENEA da fonti diverse

li azioni, come incentivi, vantaggi derivanti dall'uso dei nuovi veicoli (accessibilità e sosta in aree riservate, esenzioni dai blocchi del traffico ecc.) devono essere considerate come necessarie per vincere le remore di una porzione sufficiente di consumatori e creare le condizioni per un mercato che si possa sviluppare e successivamente autosostenere anche allorquando tali provvedimenti saranno in parte o in toto rimossi.

Prospettive

La riduzione delle riserve degli idrocarburi, gli effetti ambientali e la sicurezza degli approvvigionamenti, impongono che, soprattutto nell'ambito dei trasporti, si adottino soluzioni energetiche diverse. Per semplificare il più possibile un'analisi sulle prospettive delle diverse alternative a disposizione ci si può riferire alle due soluzioni che sembrano dover caratterizzare il mercato dei veicoli nel lungo termine e che sono riconducibili sostanzialmente a: veicoli a batteria e veicoli a idrogeno a celle a combustibile. Tutte le altre opzioni potranno avere una notevole importanza nell'affrontare la transizione e facilitare il successo di una o dell'altra soluzione, ma difficilmente potranno divenire una soluzione vincente nel lungo termine, sia perché comunque ba-

Note
L'erogazione dei biocarburanti potrebbe avvenire nelle stazioni di servizio esistenti o in miscela con i carburanti convenzionali.
Esiste in Italia una rete di distribuzione del GN abbastanza estesa. L'utente finale è spesso contrario all'uso di combustibili gassosi.
L'efficienza WTW è legata all'efficienza di produzione dell'elettricità.
Si assume per l'efficienza un percorso misto urbano-extraurbano.
La ricarica delle batterie penalizza l'efficienza WTW, essendo legata all'efficienza media di produzione dell'elettricità. La ricarica delle batterie può avvenire a casa o in ufficio durante i periodi di bassa domanda di elettricità.
La produzione di idrogeno richiede un impiego di energia primaria maggiore rispetto ai carburanti convenzionali.
L'aggiunta di idrogeno in proporzione < 30% tende ad incrementare i benefici del Gas naturale, senza richiedere modifiche rilevanti ai veicoli.
La produzione di idrogeno richiede un impiego di energia primaria maggiore rispetto ai carburanti convenzionali. Le celle consentono di recuperare efficienza nella porzione TTW della catena.

Codice colori (rispetto a tecnologie veicolari convenzionali)	
■	Effetto molto negativo
■	Effetto negativo
■	Effetto modesto/nulla
■	Effetto positivo
■	Effetto molto positivo

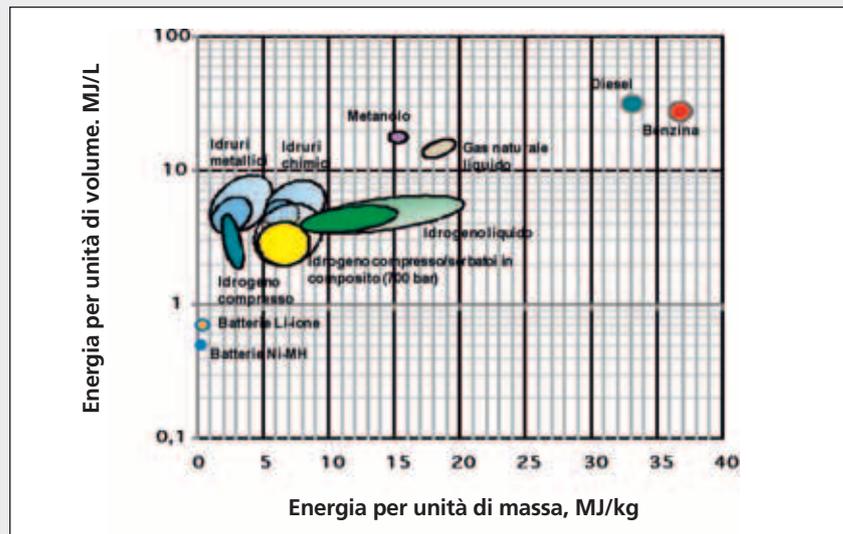


Figura 2
Densità di energia di diversi combustibili e di sistemi a batteria
Fonte: elaborazione ENEA da fonti diverse

sate sull'uso di fonti fossili che sono inevitabilmente destinate ad estinguersi (ad es. veicoli a gas naturale), sia per la difficoltà di garantire sufficiente disponibilità di combustibile che vincoli di varia natura tendono a limitare (ad es. biocarburanti). Pertanto un'analisi comparativa sulle prospettive dei veicoli a batteria e a idrogeno può essere interessante, senza che da essa si pretenda di avere complete certezze circa i possibili vincitori, essendo ancora entrambe le tecnologie lontane dai target richiesti per divenire pienamente competitive. La necessità di conseguire miglioramenti tecnologici importanti può far sì infatti che si abbiano sviluppi futuri al momento non ipotizzabili, ma tali da ribaltare completamente le previsioni attuali.

In figura 2, ottenuta con dati di diverse fonti^[3,4], viene riportato un diagramma che dà la posizione sia dell'idrogeno che delle batterie rispetto ai carburanti convenzionali (l'area tratteggiata rappresenta le prestazioni raggiungibili nel medio termine). Le distanze rimangono notevoli e devono essere colmate per avere volumi di accumulo più ridotti (asse verticale) e pesi accettabili (asse orizzontale), elementi di fondamentale importanza soprattutto nelle applicazioni veicolari. Occorre considerare che,

in termini di densità di energia, le differenze tra i veicoli convenzionali e quelli a batteria sono di circa due ordini di grandezza e di un ordine di grandezza rispetto a quelli a idrogeno, considerando che l'asse verticale è di tipo logaritmico. L'idrogeno manifesta perciò sensibili vantaggi rispetto alle batterie, ma rimangono rilevanti in generale i problemi di minore autonomia, rispetto ai combustibili convenzionali. Ciò comporta quindi ricariche più frequenti e di maggior durata, pur considerando che le alte efficienze di conversione dei motori elettrici che caratterizzano sia i veicoli a batteria che quelli a idrogeno a celle a combustibile agiscono in senso migliorativo, richiedendo minor consumo di carburante (in termini energetici) a parità di percorso.

D'altra parte, anche se al momento le limitazioni sopra indicate possono sembrare insuperabili, occorre pensare che nuovi paradigmi, sensibilmente diversi da quelli attuali, potrebbero caratterizzare l'acquisto dei veicoli da parte dei consumatori. Al presente, infatti, sebbene la gran parte degli spostamenti sia tipicamente inferiore a 100 km (quindi realizzabili sia dai veicoli a idrogeno che da quelli a batteria senza dover rifornire il veicolo), l'acquisto di un'autovettura con limitazioni di percorrenza

non trova un ampio interesse da parte dell'utente, che invece predilige soluzioni capaci di soddisfare tutte le proprie esigenze (o almeno la gran parte di esse) come nel caso dei veicoli convenzionali. In futuro, però, si potrebbero affermare nuovi schemi comportamentali legati più al soddisfacimento delle funzioni che alla proprietà dei beni. In tal senso il concetto di *car-sharing*, che permette di condividere l'uso dei veicoli tra gruppi di persone, potrebbe dare un ampio spazio ai veicoli di nuova concezione per affrontare gli spostamenti in ambito urbano, dove tra l'altro tali veicoli forniscono i migliori risultati, lasciando ad altre soluzioni il compito di effettuare percorsi più lunghi.

L'elemento successivo da analizzare è la disponibilità di infrastrutture per il rifornimento dei veicoli. È chiaro che, rispetto a ciò, la posizione dei veicoli a batteria è teoricamente più favorevole, perché si potrebbe pensare ad una grossa quota di ricariche effettuate nelle abitazioni, prevalentemente nelle ore notturne, caratterizzate da minore domanda di energia. Questo contrasterebbe però con l'ipotesi di creare un mercato di veicoli condivisi, per i quali sarebbe difficilmente giustificabile l'idea che l'utente divenga l'unico (o quanto meno il prevalente) possessore del veicolo. Occorrerebbe realizzare perciò un numero notevole di punti di ricarica, con l'ulteriore aggravante che una quota consistente delle ricariche stesse sia effettuata in orari diversi da quelli notturni e la necessità che la produzione di elettricità e la rete di distribuzione debbano essere opportunamente potenziate per sopportare i nuovi carichi. I costi da sostenere per realizzare gli interventi per tali infrastrutture potrebbero essere alti, e comunque non troppo distanti da quelli ipotizzabili per realizzare i sistemi per il trasporto e la distribuzione dell'idrogeno. Si deve però considerare che l'elemento infrastruttura potrebbe giocare nel tempo a favore dei veicoli elettrici, considerando l'evoluzione attuale della generazione elettrica che prevede in futuro un più ampio ricorso ad una generazione distribuita, un maggiore utilizzo delle fonti rinnovabili e una più efficiente e mirata gestione della rete elettrica, per garantire, oltre il soddisfacimento della domanda, livelli di affidabilità e sicurezza sempre più spinti. Il ricorso a reti di trasmissione e distribuzione intelligenti, le co-

siddette *smart grids* sembra essere un'opzione di cui difficilmente si potrà fare a meno negli anni a venire. Limitandosi ai soli interfacciamenti tra i veicoli e la rete elettrica si potrebbero rendere disponibili nuove funzionalità; in particolare la presenza di sistemi intelligenti, oltre che ottimizzare la carica delle batterie, potrebbe provvedere alla gestione delle stesse come riserva di energia da utilizzare nei momenti di picco e dare ulteriori gradi di libertà per le società erogatrici di elettricità nella gestione della rete elettrica e della domanda e offerta di energia. Una capacità intelligente di ricarica delle batterie potrebbe assicurare funzioni di accumulo dinamico dell'energia, regolazione della tensione, disponibilità di potenza anche in situazioni di emergenza ed abbattimento dei picchi e livellamento dei carichi^[5,6], a condizione di un adeguato potenziamento della rete elettrica. Sotto questa ipotesi si potrebbero altresì creare nuovi rapporti e schemi di affari tra le imprese e gli utenti finali e ciò potrebbe comportare vantaggi per tutti i soggetti coinvolti.

L'idrogeno, che pure potrebbe rappresentare un'alternativa per l'accumulo di energia, non avrebbe la stessa efficacia sotto questo profilo, perché la sua produzione, ad esempio in condizione di eccesso di disponibilità delle fonti rinnovabili, sarebbe caratterizzata da una modesta efficienza (l'elettrolisi dell'acqua al momento ha rendimenti non superiori al 50%) come pure la sua conversione in elettricità nei momenti di alta domanda (comunque minore di quella assicurata dalle batterie), anche se la contemporanea produzione di calore potrebbe dar luogo ad efficienze complessive interessanti ad esempio nel residenziale. L'accumulo di energia attraverso l'idrogeno con il suo utilizzo nei veicoli rimarrebbe invece un'opzione di tutto rilievo e comunque da perseguire, soprattutto se saranno ottenuti significativi incrementi della resa dell'elettrolisi. I veicoli a idrogeno, a loro volta, non appaiono soddisfacenti per applicazioni relative al trasporto merci, in particolare per i mezzi pesanti, per i quali la soluzione preferita continuerà ad essere ancora costituita dai motori a combustione interna alimentati con carburanti convenzionali o similari, in coerenza con le indicazioni della *figura 2*. Ovviamente, per evitare di ampliare la discussione, si prescinde in questo esame dall'ipotesi di considerare

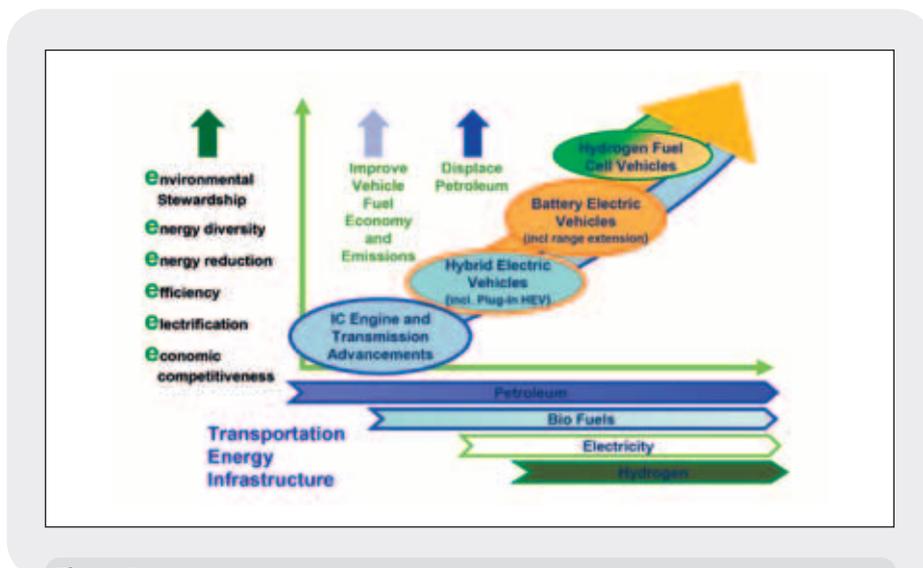


Figura 3
Evoluzione delle tecnologie veicolari
Fonte: General Motors

nuove modalità di trasporto o di sostanziali spostamenti di quote di trasporto verso altri modi (ad es. ferrovia o nave), che potrebbero avere prospettive interessanti nel lungo termine. Andando ad esaminare quali potrebbero essere le prospettive delle diverse tecnologie, ci si può riferi-

re ad un grafico proposto dalla General Motors (figura 3)^[7] in cui si fa un quadro sulla possibile evoluzione temporale nel lungo termine delle tecnologie veicolari. Dalla figura si evince che, da una parte, diventeranno nel tempo sempre più importanti gli obiettivi ambientali e di sicurezza degli ap-

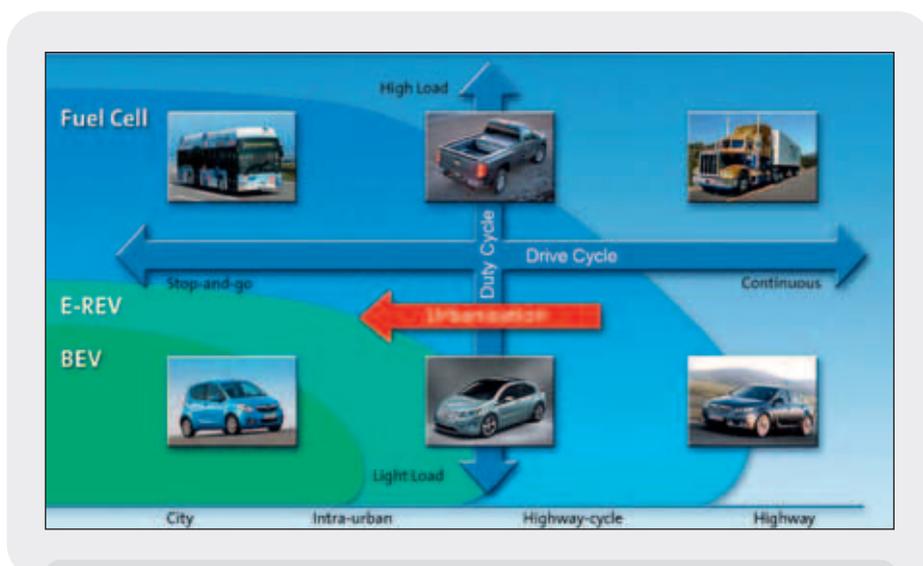


Figura 4
Campi di applicazione delle nuove tecnologie veicolari
Fonte: EUCAR

provisionamenti (asse verticale), almeno rispetto a quelli economici, e dall'altra (asse orizzontale) altri combustibili si aggiungeranno man mano a quelli convenzionali. Nel lungo termine l'orientamento sarà comunque rivolto verso l'idrogeno, utilizzato nelle celle a combustibile, mentre nel medio termine avranno un ruolo molto importante sia i veicoli elettrici che ibridi, avviando di fatto il processo di elettrificazione nel trasporto stradale. Ciò è confermato anche dalla *figura 4*^[6], dove il raggruppamento dei costruttori europei esprime il proprio orientamento circa le applicazioni dei veicoli a batteria (BEV), ad aumentata percorrenza (E-REV o ibridi *plug-in*) e a celle a combustibile. Si può notare come l'utilizzo dei veicoli a batteria vada ad interessare un numero minore di categorie di veicoli e possibilità di utilizzo (rispettivamente autovetture; aree urbane e regionali) rispetto a quelle rese invece possibili dai veicoli a idrogeno (autovetture, furgoni ed autobus urbani; aree urbane, regionali ed autostradali).

Sul versante della disponibilità di materiali particolari nei quantitativi necessari per garantire un mercato di ampie dimensioni, i problemi sono molteplici, anche perché le soluzioni più interessanti potrebbero venire soppiantate da nuove possibilità messe a disposizione da una forte spinta data alla ricerca. Limitandoci ad analizzare ciò che al momento sembra più promettente, le criticità maggiori potrebbero individuarsi nella disponibilità di quantità sufficienti di:

1. litio per le batterie;
2. platino, utilizzato con funzioni di catalizzatore nelle celle a combustibile.

Per il primo punto sono state fatte diverse analisi con indicazioni non sempre coincidenti. Parecchie preoccupazioni derivano dalle riserve di litio disponibili^[8], confrontandole con le necessità prevedibili di produzione annuale sulla base dell'utilizzo di tale metallo sia nell'elettronica che nei veicoli. Preso a riferimento l'anno 2005, si può indicare che, a fronte di una produzione annua di poco più di 21.000

t, le riserve stimate sono pari a circa 13 Mt¹. Supponendo un consumo *Tank to Wheel* pari a 0,15 kWh/km di ogni veicolo elettrico e un'autonomia per lo stesso di 150 km, le batterie dovrebbero essere dimensionate per almeno 22,5 kWh, cui corrispondono 6,7 kg di litio metallico². Ciò implica che, per una produzione di 1 milione di veicoli/anno, si debbano destinare 6.700 t di litio alle batterie dei veicoli. Ciò sembrerebbe compatibile con tale destinazione d'uso; in realtà, considerando che il mercato mondiale delle autovetture si colloca intorno ai 60 milioni di veicoli/anno, si comprende bene come sia necessario aumentare in modo notevole la produzione del litio, se si vuole realizzare un mercato ampio e non di nicchia. D'altro canto, pur essendo le riserve sufficienti per coprire le necessità di tale materiale, politiche di recupero del litio dalle batterie esaurite dovranno essere attuate sia per evitare complessi problemi di smaltimento dei materiali, sia per contenere i costi.

Relativamente invece alle necessità di platino per le celle a combustibile, la tecnologia ha fatto passi importanti per ridurre la quantità di tale metallo per unità di potenza, che al momento si colloca in 0,35 g/kW^[9]. Ciò impone che per un veicolo a celle a combustibile di 80 kW di potenza netta (potenza di stack pari a circa 90 kW) siano necessari circa 32 g di platino che, ad un costo di 1.500 \$/oncia, comportano costi unitari di 19 \$/kW, ovvero di 1.690 \$ per l'intero veicolo, con un'incidenza significativa sul sovracosto totale. Considerando una produzione annuale di 1 milione di autovetture, si avrà una domanda di platino pari a 32 t. Questo dato va confrontato con la domanda annua di platino che nel 2009 è stata pari a circa 190 t^[10], con una stima delle riserve pari a 76.000 t. Circa il 42% di platino è stato utilizzato dal settore dell'industria automobilistica, che impiega questo metallo nei convertitori catalitici. Da questo settore oggi il recupero annuo è dell'ordine di 22 t.

Per il platino valgono le stesse considerazioni fatte in precedenza per il litio, nel senso che per un mer-

1. In realtà questa cifra, che comprende tutti i giacimenti di litio, deve essere ridotta a poco più di 6 Mt, corrispondenti alle riserve che realmente sono a disposizione a costi praticabili.

2. Si assume un impiego di 0,3 kg di Li per kWh.

cato di nicchia le disponibilità di riserve ed i sistemi di produzione attuali sono in grado di coprire l'aumento di domanda, mentre per un mercato ampio si entrerebbe subito in difficoltà, a meno di non riuscire ad abbattere ulteriormente le quantità di platino per unità di potenza o sostituirlo con altri catalizzatori di maggiore disponibilità e più facile reperimento, adottando al tempo stesso opportune tecniche per aumentarne il recupero al termine del ciclo di vita del veicolo.

Sempre per quanto riguarda la disponibilità dei materiali più critici, un cenno va fatto anche agli elementi delle terre rare, utilizzati, tra l'altro, per i magneti permanenti dei motori elettrici ad alta efficienza, componente essenziale di tutti i sistemi di trazione elettrica. L'elevata crescita della domanda di questi materiali (>20% all'anno negli ultimi anni), e la loro produzione solo in certe aree geografiche (soprattutto la Cina), potrebbero porre in prospettiva seri problemi di disponibilità e di costo degli stessi^[11].

Passando infine ad analizzare i costi si vede come ancora i livelli desiderati siano distanti da quelli corrispondenti allo stato attuale delle tecnologie, sia per i veicoli a batteria che a celle a combustibile. Per i veicoli a batteria, pur in presenza di un effetto di scala che ridurrà i costi di realizzazione, non si avranno riduzioni sensibili per il costo del litio come materiale primario, per cui il costo unitario delle batterie non potrà ridursi a piacere^[12]: non si prevede possa scendere al di sotto dei 200 \$/kWh, considerando che il litio incide per circa 150 \$/kWh. Riprendendo l'esempio precedente, il costo delle batterie si potrebbe attestare perciò tra i 4.500 e 5.000 \$. In realtà tale maggiore spesa iniziale potrebbe essere compensata dalla migliore efficienza dei veicoli e da probabili minori costi di gestione (soprattutto se la durata delle batterie sarà sufficientemente estesa), per cui sull'intera vita si potrebbero avere recuperi consistenti che potrebbero anzi più che compensare tale voce.

Per i veicoli a celle a combustibile sembra difficile nei prossimi anni riuscire a raggiungere gli obiettivi più ottimistici^[9], anche se le distanze non sembrano essere incolmabili, considerando che gli ultimi dati sui costi, sia pure estrapolati su una produzione di 500.000 unità/anno, si attestano su circa 60 \$/kW.

Si deve sottolineare che ultimamente la maggiore incidenza sul costo finale non è più dovuta allo stack, ma al complesso degli altri dispositivi necessari per rendere pienamente funzionale la cella. Con un costo di 30 \$/kW, che è l'obiettivo del Department of Energy (DoE) al 2015^[13], si avrebbe una spesa per il sistema cella di \$ 2.700 per un veicolo da 80 kW di potenza netta. Anche in questo caso le migliori efficienze procurate da tali veicoli potrebbero più che compensare i costi addizionali durante l'utilizzo del veicolo stesso.

Occorre notare tuttavia che, mentre nell'ambito della Commissione Europea è stata lanciata la *Joint Undertaking* sull'idrogeno e le celle a combustibile, che è pienamente operativa e contribuirà certamente ad un importante sviluppo delle tecnologie, in altre nazioni, in particolare negli Stati Uniti, si sta procedendo ad un ripensamento sulle iniziative dell'idrogeno, considerate troppo di lungo termine; in tal senso i finanziamenti del DoE per l'anno 2010^[14] hanno subito una riduzione (237 M\$ contro i 266 M\$ del 2009), privilegiando le tecnologie che possono contribuire più rapidamente a miglioramenti di efficienza. Se questa tendenza dovesse perdurare e soprattutto estendersi ad altre nazioni, si potrebbe verificare un rallentamento dell'innovazione, con il risultato di spostare ancora più in avanti nel tempo il dispiegamento delle tecnologie dell'idrogeno nel trasporto stradale.

Confronto tra veicoli a celle a combustibile ad idrogeno ed elettrici a batteria

Per cercare di dare un quadro più completo per le due soluzioni veicolari più innovative, ovvero i veicoli a idrogeno a celle a combustibile e quelli elettrici a batteria, sembra utile cercare di quantificarne alcuni aspetti, anche alla luce delle soluzioni che si stanno proponendo al momento. Ovviamente un'analisi del genere è sempre soggetta ad incertezze legate all'evoluzione più o meno rapida delle tecnologie e della loro introduzione sul mercato, che potrebbe concorrere ad un notevole abbattimento dei costi, rendendole quindi ancora più appetibili ai consumatori. Perciò, per cercare di essere il più possibile neutrali, ci si può riferire a modelli

Tabella 2 – Caratteristiche del veicolo Toyota FCHV-adv

Veicolo	Lunghezza/ampiezza/altezza, m	4,735/1,815/1,685	
	Peso, kg	1.880	
Prestazioni	Autonomia, km	Ciclo Japan 10-15/JC08	830/760
		US EPA LA4	790
	Velocità max, km/h	155	
Cella a combustibile	Tipo	PEFC (stack Toyota)	
	Potenza, kW	90	
Motore	Tipo	Magnete permanente	
	Potenza max, kW	90	
	Coppia max, Nm	260	
Combustibile	Tipo	Idrogeno	
	Sistema di accumulo	Serbatoio di H ₂ , compr.	
	Pressione serbatoio, MPa	70	
	Capacità serbatoio, L	156	
Batteria	Tipo	Ni-MH	

Fonte: Toyota

Tabella 3 – Caratteristiche del veicolo Nissan Leaf

Veicolo	Lunghezza/ampiezza/altezza, m	4,445/1,770/1,550	
	Peso, kg	2700	
Prestazioni	Autonomia, km	US LA4	> 160
	Velocità max, km/h	> 140	
Motore	Tipo	Motore elettrico AC	
	Potenza max, kW	80	
	Coppia max, Nm	280	
Batteria	Tipo	Li-ione laminata	
	Capacità, kWh	24	
	Potenza, kW	> 90	
	Densità di energia, Wh/kg	140	
	Densità di potenza, kW/kg	2,5	
	Numero di moduli	48	
	Tempo di ricarica	Carica rapida DC 50 kW (da 0 a 80%) < 30 min Ricarica domestica AC 200 V < 8 ore	

Fonte: Nissan

che stanno per entrare sul mercato ed estendere alcune considerazioni, ove necessario. I veicoli su cui si effettueranno le analisi sono:

- Toyota Fuel Cell Hybrid Vehicle (FCHV);
- Nissan Leaf electric car.

Alcune caratteristiche dei due veicoli sono riportate rispettivamente nelle *tabelle 2 e 3*^[15,16].

I due veicoli non appaiono completamente equivalenti, ma appartengono comunque a categorie

simili. D'altra parte ciò rispecchia anche alcune delle indicazioni che sono state date in precedenza. In particolare il veicolo ibrido a celle a combustibile Toyota mostra una percorrenza di quasi 800 km, pienamente allineata a quella dei veicoli convenzionali, una buona velocità, anche se il peso risulta essere maggiore di quello di un veicolo convenzionale della stessa categoria³. L'incremento di peso è legato al serbatoio di idrogeno e parzialmente

3. Ad esempio la Toyota Avensis ha simili caratteristiche in dimensioni e potenza e un peso di circa 1.400 kg.

anche alle batterie, capaci di erogare una potenza di 21 kW, per permettere l'avviamento del veicolo in tutte le condizioni operative previste, fornire uno spunto addizionale in fase di accelerazione e recuperare energia in fase di frenata. Tuttavia, essendo gli interventi del pacco batterie destinati a periodi di tempo ridotti, l'energia richiesta è limitata.

I dati relativi alle batterie della Toyota FCHV-adv indicano che il peso del pacco batterie corrisponde a circa 45 kg (100 libbre), per cui, applicando i dati che caratterizzano l'energia specifica delle batterie a nichel-idruri metallici, pari a 46 Wh/kg, ciò corrisponde ad un'energia immagazzinata nelle batterie pari a poco più di 2 kWh. Come si può vedere, l'incidenza del pacco batterie sul peso complessivo è modesta. Occorre poi considerare che, in dipendenza del programma adottato per la gestione delle batterie, generalmente non tutta l'energia sarà disponibile per evitare un rapido degrado delle prestazioni, ma solo una porzione della stessa, che si può stimare nell'ordine del 70%.

Per quanto riguarda l'autovettura Nissan Leaf si può calcolare il peso del pacco batterie, ipotizzando che le batterie non siano comunque scaricate a meno del 10% dell'energia nominale. Il risultato dà circa 190 kg per il peso delle batterie, del tutto confrontabile con quello di 200 kg indicato dalla casa. In termine di volumi, assumendo 200 Wh/L per le batterie al litio si può calcolare un volume risultante pari a circa 120 L, che può essere distribuito con una certa facilità nell'autovettura. È evidente che le differenze più marcate si hanno sulla percorrenza, come d'altra parte già descritto in *figura 4*. Rimane valida l'ipotesi iniziale di associare al veicolo elettrico solo applicazioni che non richiedano lunghe percorrenze, come i collegamenti casa-lavoro. Non si hanno invece limitazioni per i veicoli a celle a combustibile, posto che sia disponibile una rete di stazioni di servizio per l'erogazione di idrogeno sufficientemente ampia. D'altra parte occorre considerare che, per aumentare la percorrenza dei veicoli elettrici a batteria al livello di quella dei veicoli convenzionali o a celle a combustibile, si dovrebbero ag-

giungere molti altri moduli, con un incremento del peso che sarebbe impossibile rendere compatibile con un dimensionamento accettabile del veicolo. Ad esempio per la Nissan Leaf il solo raddoppio della percorrenza (320 km) richiederebbe l'inserimento di almeno 400 kg di batterie, che probabilmente non potrebbero essere alloggiare facilmente nel veicolo senza compromettere altre caratteristiche fondamentali, come sicurezza, manovrabilità ecc. Un altro parametro importante da tenere in considerazione è ovviamente il costo dei veicoli, che però al momento può solo essere stimato prendendo a riferimento alcune analisi. In particolare, riferendosi a quanto riportato in letteratura^[12], il costo addizionale per le batterie al litio di un veicolo elettrico puro come l'autovettura Nissan Leaf è stimabile in circa 6.500 \$, per le sole batterie (il costo del sistema di trazione elettrico non viene considerato, essendo analogo a quello dei veicoli a celle a combustibile e quindi caratterizzato da costi simili). Per un veicolo come l'autovettura Toyota FCHV devono essere portati in conto il costo sia delle celle che del serbatoio dell'idrogeno. Utilizzando i dati della stessa fonte si può assumere, nell'ipotesi conservativa, un costo pari a 76 \$/kW che, con un serbatoio capace di contenere circa 6,3 kg di idrogeno, comporterà un costo del sistema di accumulo pari a circa 3.800 \$. In definitiva il maggiore costo si potrà collocare in circa 10.600 \$.

Risulta evidentemente molto importante fare un confronto sull'efficienza delle due tipologie di veicoli, prendendo a riferimento l'intera catena, dall'estrazione della fonte primaria fino all'utilizzo del veicolo. L'esame viene fatto considerando come fonti primarie le fonti fossili (gas naturale e carbone), che consentono di avere le efficienze più alte, senza considerare il possibile processo di cattura e sequestro della CO₂, che richiede energeticamente una certa quantità di energia e che andrebbe quindi a ridurre di qualche punto percentuale l'efficienza complessiva delle catene. Tuttavia, essendo tale processo teoricamente applicabile ai

4. La compressione dell'idrogeno fa sì che esso possa essere trasferito al sito di utilizzo, supposto ad una distanza minore o uguale a 150-200 km, senza la necessità di dover apportare energia a tale fase.

Tabella 4 – Confronto delle efficienze energetiche dei veicoli a celle a combustibile, batteria e a benzina

Veicolo\ Processi	Estrazione fonte primaria	Trasporto fonte primaria	Produzione combustibile	Trasporto	Distribuzione	Conversione e Trazione	Totale	Note
Idrogeno / Celle a combustibile	96,15%	88,50%	75,76%	100,00%	81,83%	59,00%	31,12%	Produzione H ₂ da NG con <i>steam reforming</i> centralizzato
Batteria	96,15%	88,50%	54,35%	93,98%	90,09%	85,11%	33,32%	Produzione elettricità da NG in cicli combinati
Batteria	91,41%	92,17%	46,08%	93,98%	90,09%	85,11%	27,98%	Mix italiano produzione elettricità
Benzina	97,56%	99,00%	90,91%	97,30%	98,64%	23,26%	19,60%	

Fonte: elaborazione ENEA da fonti diverse

veicoli sia a celle a combustibile sia elettrici, non viene ad essere inficiata l'analisi, nel senso di non modificare i risultati in termini comparativi. Il confronto è riportato nella *tabella 4*.

Per il veicolo a idrogeno si è ipotizzato che la fonte primaria sia il gas naturale (NG) estratto e trasportato attraverso un metanodotto di 4.000 km^[17], la produzione di idrogeno sia effettuata attraverso *steam reforming* in impianto centralizzato dove l'idrogeno è anche compresso (20-30 bar) per il trasporto ai siti di utilizzo attraverso idrogenodotti⁴, l'idrogeno venga ulteriormente compresso (350-700 bar) per essere accumulato in bombole a bordo del veicolo e quindi convertito nelle celle a combustibile per la trazione attraverso un motore elettrico (sono stati combinati i rendimenti delle celle e del motore).

Per il veicolo a batteria si considerano due casi: elettricità prodotta da gas naturale e come mix energetico italiano.

Nel primo caso la catena del gas naturale è analoga a quella del veicolo a idrogeno per la parte estrazione e trasporto; il gas viene utilizzato nei cicli combinati per produrre elettricità con alta resa (> 54%)^[17] che viene trasportata^[18] ed utilizzata per ricaricare le batterie (voce Distribuzione)^[19] che poi provvederanno a fornire l'energia al motore elettrico^[20].

Nel secondo si considera invece il mix energetico italiano^[21], perché più rispondente all'efficienza dell'elettricità che si avrebbe in un periodo sufficientemente

lungo per ricaricare le batterie. Non essendo facile calcolare le fasi a monte della produzione di elettricità per il mix delle fonti primarie, si è preso come riferimento il carbone, che ha un'efficienza per la produzione di elettricità simile a quella del mix. Le differenze sono in ogni caso abbastanza modeste.

Come si può vedere dalla *tabella 4* il veicolo a idrogeno ha un'efficienza dell'intera catena pari a circa il 31% e si colloca in una posizione intermedia tra le efficienze dei veicoli a batteria; di fatto però la sua efficienza risulta significativamente migliore rispetto alla produzione di energia elettrica da mix delle fonti primarie in Italia. Ambedue le tipologie di veicoli (elettrico e a celle a combustibile) danno inoltre vantaggi rispetto al veicolo a benzina; in particolare, il veicolo a celle a combustibile garantisce una resa energetica maggiore del 50% rispetto a quello convenzionale. Ciò vuol dire che, se si fa riferimento per assurdo al solo petrolio e nell'ipotesi di completa sostituzione del parco veicolare, il suo utilizzo per la produzione di idrogeno e/o elettricità potrebbe consentire che il trasporto stradale possa estendere del 50%, a parità di domanda, l'intervallo di tempo a disposizione prima che il petrolio sarà stato completamente consumato. Questo senza contare che altre fonti fossili e rinnovabili potrebbero essere utilizzate in alternativa. Il risultato è perciò una riduzione della vulnerabilità del trasporto stradale oltre che del miglioramento della sua sostenibilità.

Conclusioni

Nei paragrafi precedenti si è cercato di investigare la possibile penetrazione delle tecnologie più innovative per la trazione, l'idrogeno e le batterie, che implicano un cambiamento radicale nella progettazione del veicolo e richiedono investimenti di grossa entità per realizzare le infrastrutture necessarie per permettere il loro rifornimento.

Senza poter dare per certo al momento il successo di una o l'altra delle due opzioni, sembra però che inevitabilmente nel lungo periodo esse rappresenteranno soluzioni da cui non si potrà prescindere, visto che l'orientamento della nostra società vede un sempre più marcato utilizzo dell'elettricità negli usi finali, considerando la relativa facilità di trasferire tale *commodity* dal punto di produzione a quello di utilizzo. L'idrogeno potrebbe essere considerato un vettore energetico duale, la cui penetrazione non provocherebbe altresì effetti in contrasto con questa visione. La funzione dei veicoli potrebbe ampliarsi notevolmente rispetto a quella tradizionale di trasporto di persone, e integrare anche quella di sistema dinamico di accumulo di energia. Tornando infatti alla futura disponibilità di reti elettriche di trasmissione e distribuzione intelligenti si può prevedere che esse potranno creare punti di contatto tra settori che in passato poco avevano a che fare l'uno con l'altro. In particolare i settori della produzione di energia, del residenziale, dell'industria e dei trasporti, grazie alle reti, potranno avere strette connessioni e comportarsi, in momenti diversi della giornata, sia come utilizzatori che come fornitori di energia. Ciò sarà possibile solo in presenza di alti livelli di automazione, capaci di consentire una facile e piena interazione tra l'infrastruttura di distribuzione dell'elettricità, le risorse distribuite e i sistemi di uso finale. In particolare la presenza di *smart grids* particolarmente evolute potrebbe provvedere alla gestione delle batterie dei veicoli elettrici (ma anche presenti nei veicoli a idrogeno) come riserva di energia da utilizzare nei momenti di picco e dare gradi di libertà alle società erogatrici di elettricità nella gestione ottimizzata della rete elettrica e della domanda e offerta di energia. Ciò consentirebbe ulteriori aumenti di efficienza energetica del sistema, con effetti positivi sia sui

costi dell'energia, sia sull'impatto sull'ecosistema. Oviamente al momento si è ben lungi dal traguardo, perché le tecnologie mancano ancora dei requisiti di economicità, affidabilità, durata e prestazione indispensabili per renderle appetibili sul mercato alla gran massa degli utenti. Occorre quindi procedere ancora per lungo tempo con attività di ricerca, sviluppo e dimostrazione e che risorse consistenti siano destinate al settore in oggetto in modo sia di non disperdere i risultati frutto degli investimenti fatti in passato, sia di raggiungere nel più breve tempo possibile i traguardi ipotizzati. Evidentemente impegni di tale portata e durata possono verificarsi solo in presenza di uno sforzo considerevole da parte di tutti i soggetti interessati e cioè costruttori di veicoli, imprese energetiche, istituti di ricerca, fornitori di servizi ecc., e soprattutto in dipendenza di una forte presa di posizione da parte dei decisori pubblici che non solo devono garantire l'erogazione di finanziamenti cospicui e di lungo termine, ma anche predisporre una serie di azioni di supporto. Tra queste vanno sicuramente collocate l'adozione di norme che favoriscano l'introduzione di tecnologie ambientalmente benigne (o penalizzino il ricorso a quelle più inquinanti), la semplificazione delle procedure per la dimostrazione di veicoli e combustibili innovativi, l'accelerazione dello sviluppo delle norme di sicurezza e per l'omologazione dei nuovi veicoli, la pianificazione di nuove figure professionali e la conseguente creazione di nuovi corsi di formazione a livello sia universitario che tecnico, l'informazione nei confronti dell'utente finale, creando nello stesso tempo le condizioni necessarie per una scelta meditata e consapevole delle nuove tecnologie. In tal senso occorre considerare che il cambiamento potrà essere reso più facile se il cittadino medio sarà in grado di dare il giusto valore all'importanza dell'energia per lo sviluppo della società. Ciò sarà tanto più importante quanto più il nuovo paradigma di produzione e gestione dell'energia si avvicinerà a soluzioni distribuite a fronte di quelle attuali in cui prevalgono quelle centralizzate, come ipotizzato nell'ambito delle *smart grids*. Sotto tali ipotesi l'utente finale dovrà giocare un ruolo di attore protagonista nella catena energetica, divenendo frequentemente il produttore (o meglio l'autopro-

duttore) e il gestore dell'energia di cui ha bisogno, e ciò renderà necessario un cambiamento radicale del modello di sviluppo della nostra società e dell'assetto energetico conseguente, cosa possibile solo a fronte di una piena presa di coscienza di tutte le implicazioni relative all'energia da parte della cittadinanza. La realizzazione di questo passo

diventerà quindi la pietra miliare per avviare un processo globale che possa permettere di dare maggiore spazio alle nuove tecnologie, capaci di fornire vantaggi consistenti in efficienza energetica e salvaguardia ambientale e dare una risposta efficace alla sete di energia che caratterizza la società moderna.

Riferimenti

- [1] F. Di Mario, A. Mattucci, M. Ronchetti, *Le possibili tecnologie veicolari del futuro: caratteristiche e problemi aperti*, Energia, Ambiente e Innovazione, n. 3, 2010.
- [2] M. Conte, F. Di Mario, A. Iacobazzi, R. Infusino, A. Mattucci, M. Ronchetti, R. Vellone, *Veicoli a idrogeno: stato attuale e prospettive di sviluppo*, Energia, Ambiente e Innovazione, n. 1, 2003, pag. 33-70.
- [3] Srinivasan, V., *The Batteries for Advanced Transportation Technologies (BATT) Program*, 27 agosto 2009. <http://www.almaden.ibm.com/institute/2009/resources/2009/presentations/VenkatSrinivasan-AlmadenInstitute2009-panel.pdf>
- [4] *Hydrogen Technology. Mobile and Portable Applications*, Ed. A. Leon, Springer 2008.
- [5] Kalhammer, F.R. et al., *Status and prospects for zero emissions vehicle technology*. California Air Resources Board; Report of the ARB independent expert panel 2007, Sacramento 2007.
- [6] EUCAR, *The electrification approach to urban mobility and transport system*, luglio 2009, <http://www.eucar.be/mobility-and-transport/publications/the%20Electrification%20of%20the%20Vehicle%20and%20the%20Urban%20Transport%20System.pdf>
- [7] *Hydrogen Research for Transportation: The USCAR Perspective* http://www.uscar.org/guest/article_view.php?articles_id=312
- [8] Tahil, W., *The Trouble with Lithium. Implications of Future PHEV Production for Lithium Demand*, Meridian International Research, 2006. http://tyler.blogware.com/lithium_shortage.pdf
- [9] S. Satyapal, *Overview of Hydrogen and Fuel Cell Activities*, Hydrogen and Fuel Cell Technical Advisory Committee Meeting, November 4-5, 2009. http://www.hydrogen.energy.gov/htac_meeting_nov09.html
- [10] Johnson Matthey. *Platinum today reports*, <http://www.platinum.matthey.com/>
- [11] G. Frenette, D. Forthoffer, *Economic & commercial viability of hydrogen fuel cell vehicles from an automotive manufacturer perspective*, International Journal of Hydrogen Energy, 34 (2009) 3578.
- [12] M.A. Kromer and J.B. Heywood, *Electric Powertrains: Opportunities and Challenges in the U.S. Light-Duty Vehicle Fleet*. LFEE 2007-03 RP, Sloan Automotive Laboratory Laboratory for Energy and the Environment Massachusetts Institute of Technology, May 2007. http://web.mit.edu/sloan-autolab/research/beforeh2/files/kromer_electric_powertrains.pdf
- [13] U.S. Department of Energy (DoE), *Fuel Cell Technologies Program, Multi-Year Research, Development and Demonstration Plan*, updated April 2009. <http://www1.eere.energy.gov/hydrogenandfuelcells/mypp/index.html>
- [14] R. Farmer, DoE Fuel Cell Technologies: FY 2011 Budget Request Briefing, 12 febbraio 2010; http://www.hydrogen.energy.gov/pdfs/2011_budget_request_briefing.pdf
- [15] Toyota Company – Fuel Cell technology. <http://www2.toyota.co.jp/en/tech/environment/fchv/>
- [16] *Nissan Leaf electric car: In person, in depth - and U.S. bound*, 2010. <http://www.autoblog.com/2009/08/01/2010-nissan-leaf-electric-car-in-person-in-depth-and-u-s-b/>
- [17] EUCAR, CONCAWE and JRC, *Well-to-Wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the European context*. Version 2c, March 2007, 03/2007. <http://ies.jrc.ec.europa.eu/WTW>
- [18] *IEA Statistics o Electricity/Heat Data for Italy*. http://www.iea.org/stats/electricitydata.asp?COUNTRY_CODE=IT
- [19] *Electropaedia – Battery and Energy Technologies*. <http://www.mpoweruk.com/chargers.htm>
- [20] T. Yokoyama, *Progress and Challenges for Toyota's Fuel Cell Vehicle Development*, 2009 ZEV Symposium, Sacramento, California, 21 settembre, 2009.
- [21] http://www.autorita.energia.it/allegati/docs/dc/08/080220_02.pdf

Potenzialità autodepurative di una zona umida costiera e ipotesi di trattamento terziario dei reflui civili

Loris Pietrelli*
Giorgia Del Piano**
Geneve Farabegoli**
Corrado Battisti***

- * ENEA, Unità Tecnica Tecnologie Ambientali
- ** Università di Roma La Sapienza, Dip. Idraulica, Trasporti e Strade
- *** Provincia di Roma, Uff. Conservazione Natura

La palude di Torre Flavia può essere considerata a tutti gli effetti un sistema di trattamento terziario dei reflui provenienti da un vicino impianto di trattamento dei reflui civili. Il monitoraggio condotto ed il modello matematico applicato hanno messo in luce la potenzialità della palude. I vantaggi sarebbero molteplici in termini di salvaguardia della risorsa idrica e di mantenimento della biodiversità in un'area umida residuale

Coastal Wetland as Tertiary Treatment of Wastewater

Applying a field monitoring of parameters such as COD, BOD₅ and NH₃ and a plug & flow mathematical model, the water balance and the intrinsic nutrient abatement capacity was evaluated at Torre Flavia wetland. The strong water stress, mainly due to the large urbanization, can be avoided using the wetland as tertiary treatment of the wastewater treated at the Ladispoli treatment plant that actually discharge into the sea

Il problema della carenza della risorsa idrica caratterizza molte Regioni italiane e il fenomeno sembra aggravarsi per le conseguenze dei mutamenti climatici. Parallelamente alla carenza idrica permangono gravi problemi di eutrofizzazione e d'inquinamento delle acque superficiali e del mare, con i negativi riflessi d'ordine igienico, ambientale ed economico. In questa ottica, la rinnovata sensibilità ai problemi delle risorse idriche sta portando allo sviluppo di strategie di risparmio idrico nei settori civile, industriale ed agricolo, così come di azioni di depurazione e riuso delle acque reflue migliorate, capaci di permettere un recupero di risorse altrimenti perse e fonte di nuova eutrofizzazione.

Le problematiche aperte dall'applicazione dei piani di tutela, del deflusso minimo vitale e quelli relativi alla necessità di tutelare le residue zone umide per la protezione della biodiversità e del paesaggio, sollecitano inoltre ad un nuovo approccio integrato di salvaguardia quantitativa e qualitativa delle acque e del territorio.

La depurazione delle acque con metodi naturali, come la fitodepurazione ed in particolare la tecnica a "superficie libera" (FWS), risulta capace di riunire in sé le più ampie possibilità del miglioramento ricercato: ricostruzione di zone umide seminaturali di elevata ricchezza biologica e paesaggistica, recupero, miglioramento e possibilità di riuso irriguo delle acque reflue depurate, riduzione dell'eutrofia e dell'inquinamento, economica sostituzione o integrazione della depurazione tradizionale per il raggiungimento dei più elevati standard oggi necessari per lo scarico delle acque reflue⁽¹⁾. In particolare le attività di restauro e costruzione delle aree umide sono enormemente aumentate negli ultimi anni, parallelamente alla presa di coscienza che la tecnologia di depurazione e la prevenzione dell'inquinamento, da sole, non garantiscono la qualità dei corpi idrici richiesta da sempre crescenti esigenze di qualità dell'ambiente.

Proteggere o restaurare aree umide esistenti significa innanzitutto non prosciugarle, ripristinando le

condizioni per la loro sopravvivenza nel rispetto delle caratteristiche naturali dell'ecosistema. Ciò garantisce la salvaguardia della biodiversità e dell'habitat naturale e contribuisce a prevenire le inondazioni, a ricaricare le falde e a depurare le acque. Significa, inoltre, recuperare aree topograficamente depresse a scarsa resa agricola e quindi, in termini economici, aree molto marginali.

I vantaggi delle aree umide ricostruite possono essere così elencati:

- integrano la tecnologia di depurazione con trattamenti di finissaggio del refluo e con capacità di stoccaggio delle acque di sfioro delle reti fognarie durante gli eventi di precipitazione;
- sono particolarmente adatte a trattare l'inquinamento residuo e diffuso caratterizzato da carichi variabili in concentrazione e portata e da concentrazioni molto basse degli inquinanti;
- sono particolarmente adatte a ricostituire la capacità di auto-depurazione dei corpi idrici superficiali;
- oltre al vantaggio della rimozione degli inquinanti, possono offrire anche molti altri vantaggi quali la ricostituzione dell'habitat naturale, la conservazione della biodiversità, il controllo delle inondazioni, la ricarica delle falde e l'uso ricreativo o didattico dell'area.

Lo spettro delle tipologie di aree umide è molto ampio e la tecnologia impiegata per la loro costruzione, gestione e mantenimento decresce passando dalle aree umide costruite a quelle ricostruite ed a quelle naturali, mentre il grado di naturalità aumenta progressivamente.

La zona umida costiera di "Torre Flavia"

La Palude di Torre Flavia è situata nel litorale tirrenico a nord di Roma, tra Ladispoli e Campo di Mare (figura 1).



Figura 1
Localizzazione e zonizzazione del
"Monumento naturale Palude di Torre
Flavia"
Fonte: Google Earth

L'area, estesa su circa 40 ha, si sviluppa parallelamente alla linea di costa per una lunghezza di circa 1.500 m., una profondità massima verso l'entroterra di circa 500 m ed un'altitudine compresa tra 0 e 3 m slm.

In particolare Torre Flavia rappresenta uno degli ultimi lembi rimasti delle zone umide che, insieme alle aree forestali ed arbustive, caratterizzavano la maremma laziale fino ai primi decenni del secolo scorso e che hanno subito intense trasformazioni da parte dell'uomo. La regimentazione dei fossi Zambra e Vaccina che alimentavano la Palude, in particolare, ha causato un enorme deficit idrico della Palude. La conseguente lottizzazione di alcuni settori a nord dell'attuale area umida hanno ulteriormente contribuito a modificare il locale mosaico paesistico.

Nel 1995 la palude è stata inserita tra le Oasi di Protezione della Fauna nel Piano Faunistico Venatorio Provinciale e successivamente, con il D. Reg. 613 del 14/3/1997, è stato istituito il Monumento na-

turale "Palude di Torre Flavia" sull'area di 40 ha che ancora oggi la caratterizza^[2].

Nel tempo si è reso necessario predisporre un apporto idrico artificiale, attraverso una Convenzione con il "Consorzio di Bonifica Tevere e Agro Romano", per una fornitura di 100.000 m³/annui di acqua per uso irriguo. La Palude viene allagata a settembre e in inverno il livello idrico viene mantenuto costante dalle precipitazioni; infine in estate la palude viene lasciata prosciugare con pesanti conseguenze su flora e fauna presenti nella zona umida e con problemi di salinizzazione della falda sottostante la palude, attribuibile alla risalita del cuneo salino.

Il tipo di gestione della risorsa idrica adottato provoca, inoltre, un prolungato ristagno delle acque soprattutto nei mesi estivi, creando così le condizioni ottimali per la contaminazione batterica: attualmente la zona umida presenta una contaminazione periodica da parte del *Clostridium Botulinum*, una tossina che si sviluppa a temperature elevate ed in condizioni di anossia, che causa la morte di numerosi uccelli.

All'interno dell'area non risultano presenti scarichi civili ed eventuali inquinanti possono essere conferiti dal Fosso della Piscina di Torre Flavia (lato sud), dai canali di raccolta delle acque piovane e dei campi, che possono contenere composti chimici provenienti dal traffico veicolare e dal dilavamento delle acque da ambienti agricoli e urbani. Non è affatto da escludere la presenza di altre fonti di inquinamento anche più pericolose, magari più localizzate o irregolari nel tempo^[2].

Dell'estensione totale attualmente la zona paludosa occupa circa 15 ha. ed è caratterizzata dalla presenza imponente del fragmiteto.

In particolare la caratterizzazione ha messo in luce la presenza di tre aree schematizzabili in:

- **fragmiteto**: occupa circa il 62% dell'area, ha un battente idraulico compreso tra 40-60 cm e una densità delle specie superiore a 200 fusti/m²;
- **zone profonde**: sono le zone centrali della palude in cui la vegetazione si dirada e la profondità dell'acqua aumenta. Esse occupano circa il 24% dell'area, hanno una densità di *Phragmites australis* inferiore a 200 fusti/m², ma sono



Figura 2
Alcune immagini della Palude di Torre Flavia ai giorni nostri e nel 1940
Fonte: ENEA

presenti specie natanti. La profondità di queste zone è di circa 80-100 cm;

- **canali:** occupano all'incirca il 14% dell'area e sono a superficie libera, con una profondità variabile dai 100 ai 140 cm.

La possibilità di utilizzare la palude di Torre Flavia come trattamento terziario nasce proprio dalla presenza abbondante della *Phragmites australis*, una specie appartenente alla famiglia delle macrofite radicate emergenti, comunemente utilizzata negli impianti di fitodepurazione.

La fitodepurazione

La fitodepurazione è un sistema biologico di trattamento delle acque reflue basato sulla ricostruzione di un ecosistema che, grazie alla contestuale presenza di processi fisici, chimici e biologici è in grado di rimuovere gli inquinanti e restituire all'ambiente un'acqua depurata. Gli impianti che utilizzano tale processo depurativo sono caratterizzati

dalla presenza di specie vegetali tipiche delle zone umide, solitamente radicate ad un substrato di crescita o flottanti sulla superficie dell'acqua.

Le piante, e soprattutto le comunità microbiche che si sviluppano all'interno del sistema, sono responsabili del sistema depurativo, caratterizzato da un'elevata tolleranza alle oscillazioni di carico organico ed idraulico.

La vegetazione praticamente fornisce il supporto e le condizioni ottimali per lo sviluppo delle comunità batterica responsabile dei processi di trasformazione delle sostanze organiche, in quanto rende disponibile, trasportandole attraverso il fusto, quantità di ossigeno sufficienti a sostenere il metabolismo dei batteri. La *Phragmites australis* in particolare è la specie che ha una capacità di trasportare ossigeno alle radici superiori di altre piante; alcuni autori, infatti, segnalano un rilascio di ossigeno che oscilla tra i 5 e i 45 g/m²d^[3].

Le funzioni più importanti che le macrofite svolgono nella fitodepurazione sono proprio legate

agli effetti fisici di trasferimento dell'ossigeno; inoltre, sviluppando un apparato radicale fitto e intrecciato, stabilizzano la superficie del substrato garantendo condizioni ottimali per i fenomeni di filtrazione fisica.

Le parti emergenti delle piante assicurano invece la protezione dal vento e mantengono la zona in ombra: questo fa diminuire la temperatura dell'acqua e la crescita delle alghe. La presenza di vegetazione aumenta la biodiversità, fornendo il giusto habitat per una vasta gamma di macro e microfauna ed inoltre non è da sottovalutare l'aspetto paesaggistico.

I processi di rimozione degli inquinanti nella fitodepurazione sono per lo più attribuibili a fenomeni di adsorbimento, degradazione biotica/abiotica, filtrazione ecc.^[4,5]. Malgrado le condizioni meteorologiche ottimali, purtroppo in Italia gli impianti di fitodepurazione sono ancora poco diffusi, nonostante la normativa di riferimento (DL 152/06) crei uno specifico legame con questa tipologia impiantistica^[6].

La capacità autodepurativa della zona umida di Torre Flavia

Per valutare le capacità autodepurative della zona umida e per confermare la possibilità di associarla a un modello di fitodepurazione, sono state ef-

fettuate delle campagne di analisi su dei campioni prelevati in vari punti georeferenziati della palude (figura 3).

Le analisi sono state effettuate nell'inverno 2009/10, quindi in assenza di concimazioni nei campi limitrofi. La stagione è risultata particolarmente piovosa (+45,5%, comparando i periodi gennaio-marzo 2009-2010) e ciò ha inoltre contribuito a diluire i nutrienti. Tuttavia, malgrado questi limiti, tra ingresso e uscita della palude si è sempre verificato un abbattimento dei valori dei parametri considerati, confermando la capacità autodepurativa intrinseca all'ecosistema "palude" (figura 4).

La denitrificazione è risultata limitata in quanto sensibile alla bassa temperatura, che inibisce la crescita batterica, ed ai tempi di residenza idraulica: questo processo, infatti, richiede tempi più lunghi rispetto all'abbattimento del BOD₅, la cui rimozione nella palude è risultata invece molto elevata.

I risultati ottenuti avvalorano l'ipotesi dell'utilizzo di Torre Flavia come sistema di trattamento di fitodepurazione. Successivamente si è proceduto alla modellizzazione impiantistica e matematica della palude, intesa come sistema di trattamento terziario dell'effluente del depuratore comunale di Ladispoli, distante circa 500 m dalla zona umida, che attualmente scarica a circa 450 m dalla costa tramite una condotta sottomarina.



Figura 3
La palude ed il posizionamento dei punti di campionamento
Fonte: Google Earth

Il modello di fitodepurazione a flusso libero (FWS: *free water surface*) utilizzato per la modellizzazione, ricrea le caratteristiche idrauliche, vegetazionali, ambientali ed i processi biologici propri delle zone umide naturali.

In questi sistemi la superficie dell'acqua è esposta all'atmosfera ed il suolo, costantemente sommerso, costituisce il supporto per le radici delle piante (figura 5).

La loro costruzione prevede la realizzazione di bacini idrici e/o canalizzazioni (profondità < 1 m) aventi il più lungo percorso possibile in relazione alla geometria dell'area a disposizione per favorire processi utili alla mineralizzazione dei nutrienti.

In un sistema FWS in genere vicino alla superficie dell'acqua è presente una zona aerobica che tende a diventare anaerobica man mano che ci si avvicina al fondo. Il livello di aerazione raggiunto dipende da diversi fattori, alcuni controllabili (grado di miscelazione, stratificazione della colonna d'acqua, canalizzazioni, turbolenza ecc.) altri non controllabili, quali ad esempio la temperatura, la disponibilità e penetrazione della luce, la velocità del vento e la fauna.

In realtà, trattandosi di una zona umida naturale, la schematizzazione in un modello è un'ipotesi, seppur suggestiva, molto approssimativa, anche se il modello di fitodepurazione scelto è quello più conservativo.

I parametri progettuali necessari per il dimensionamento di questo tipo di impianti sono:

- **carico organico in entrata** (c_{in} in mg/l), espresso come BOD_5 ;
- **portata idraulica media giornaliera in entrata** (Q , in m^3/d): sono i fattori idraulici, insieme alle percentuali di rimozione che si vuole ottenere, a determinare la geometria e la profondità dell'impianto di fitodepurazione. Questi fattori evidenziano l'importanza di conoscere esattamente le caratteristiche del reflu in entrata e i relativi carichi di inquinanti, per ottenere un valore, anche approssimato, dei tempi minimi di ritenzione idraulica e quindi delle dimensioni dell'impianto;
- **tempo di residenza idraulica e rimozione degli inquinanti** (HRT, in giorni): nella pro-

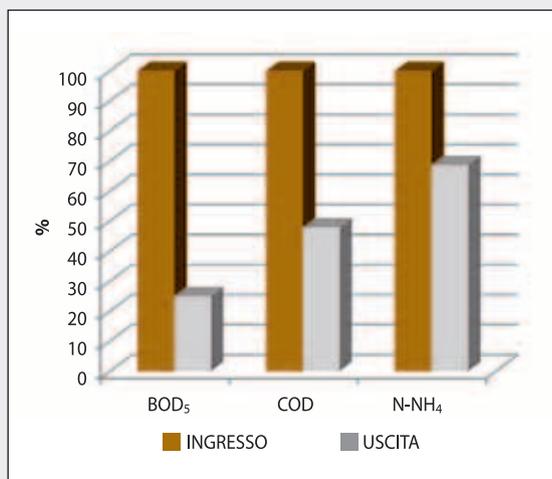


Figura 4
Abbattimenti percentuali degli inquinanti principali nella Palude di Torre Flavia
Fonte: ENEA

gettazione degli impianti è importante massimizzare il contatto tra l'acqua da depurare e i vari componenti dell'ecosistema come biofilm, piante, inerti ecc. La rimozione dell'azoto e i processi di nitrificazione subiscono una riduzione sostanziale quando le temperature scendono al di sotto dei 10 °C;

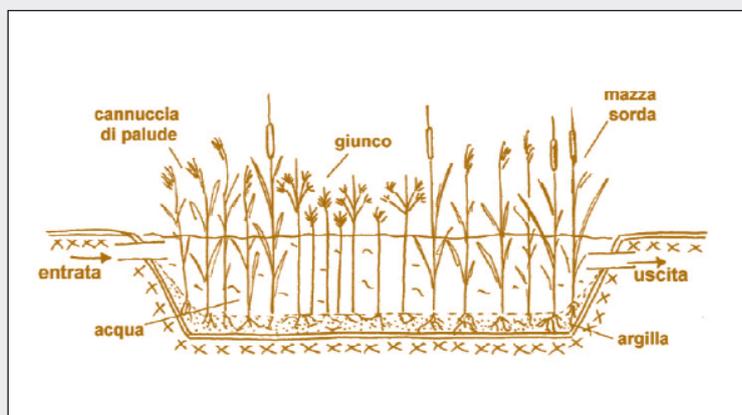


Figura 5
Schema del modello FWS e specie vegetali più utilizzate
Fonte: APAT^[5]

- **profondità delle vasche** (h , in metri): la letteratura suggerisce come profondità delle vasche un'altezza compresa tra: 0,15-1,0 m. La profondità dell'acqua è uno dei principali fattori che condizionano la crescita delle piante in un'area umida;
- **rapporto tra lunghezza e larghezza delle vasche**: la scelta del rapporto tra lunghezza e larghezza è molto importante in fase progettuale per il suo effetto sulla distribuzione del flusso e sui cortocircuiti idraulici. Un buon rendimento idraulico ottenuto tramite una progettazione ottimale della forma e delle strutture idrauliche favorisce l'efficienza di rimozione delle sostanze inquinanti;
- **area** (A , in m^2): correlato alla portata ed al carico di inquinanti;
- **porosità** ($n = 0,7$): in un'area umida la vegetazione e i detriti occupano una porzione della colonna d'acqua, diminuendo così lo spazio disponibile per l'acqua stessa. La "porosità n " è definita proprio come la frazione di volume dell'area umida disponibile per il deflusso dell'acqua. La porosità di un'area umida risulta difficile da misurare accuratamente in campo, in quanto varia lungo il piano orizzontale per la composizione e la distribuzione delle specie vegetali, e lungo la direzione verticale con valori inferiori vicino al fondo dove si accumulano i detriti vegetali. Generalmente per il dimensionamento si assumono valori medi presi dalla letteratura.

Torre Flavia come impianto di trattamento terziario: verifiche e considerazioni

La verifica dell'abbattimento di BOD5 e dell'azoto ammoniacale è stata effettuata utilizzando il modello di Reed et al.^[7] associato al sistema FWS. Sulla base delle esperienze di aree umide ricostruite, esso rappresenta ancora il modello che si è rivelato migliore per la progettazione di impianti di fitodepurazione per il trattamento delle acque di scarico. Si tratta di un modello monoparametrico, con una schematizzazione idraulica *plug-flow* che utilizza la cinetica del primo ordine secondo l'equazione:

$$c_{in} = c_{out} \cdot e^{(KT \cdot HRT)}$$

Dove $K_T = K_R \cdot \theta_R^{(T_W - T_R)}$ rappresenta la costante cinetica di rimozione alla temperatura dell'acqua nel bacino, K_R è la costante cinetica di rimozione alla temperatura di riferimento (20 °C) e θ_R è il coefficiente di temperatura per la costante cinetica. I coefficienti utilizzati sono in *tabella 1*.

Dalle caratteristiche idrauliche evidenziate per la zona umida in esame è possibile stimare il volume effettivo del bacino (V_f) mediante l'equazione:

$$V_f = A \cdot h \cdot n = 10.500 \text{ m}^3$$

e quindi una portata massimo di sfioro (Q) pari al rapporto tra il volume e il tempo di svuotamento della palude t (che assumeremo poi come tempo di residenza idraulico HRT):

$$Q = V_f / t = 15.000 \text{ m}^3/\text{d}$$

Trattandosi di un modello a *plug-flow* questa sarà la massima portata ammissibile in ingresso dalla palude. Essa tra l'altro risulta compatibile con la portata media dell'effluente del depuratore di Ladispoli, che ha un valore medio pari a 15.000 m^3/d , così come emerge dal grafico in *figura 6*.

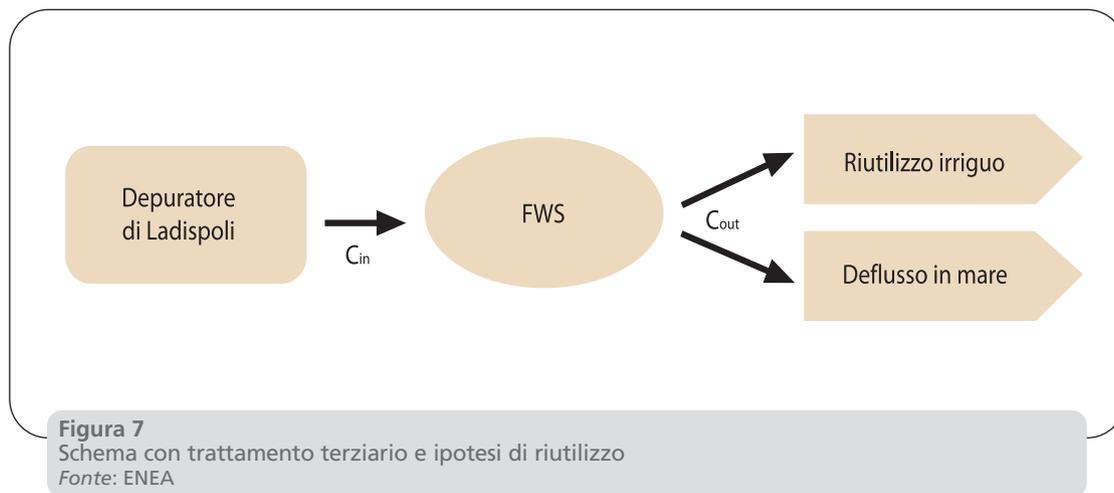
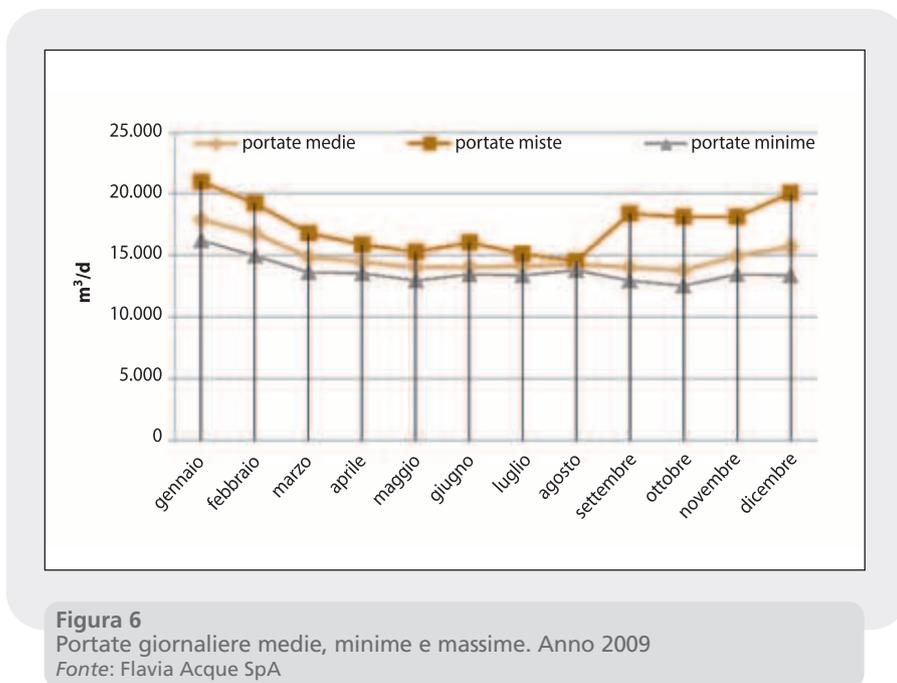
L'andamento delle portate del depuratore mette in evidenza la tipologia del sistema fognario (tipo misto) ed il fatto che Ladispoli ormai si caratterizza come una zona residenziale anziché turistica (portate minime estive anziché i picchi di portata caratteristici di località turistiche).

Lo schema generale ipotizzato, con le due varianti (riutilizzo irriguo, scarico a mare), è riportato in *figura 7*.

Durante l'elaborazione del modello, l'abbattimento dell'ammoniaca è risultato il parametro limitante della verifica, in quanto, come detto precedentemente, è molto sensibile alla temperatura e necessita di tempi di residenza idraulici maggiori ri-

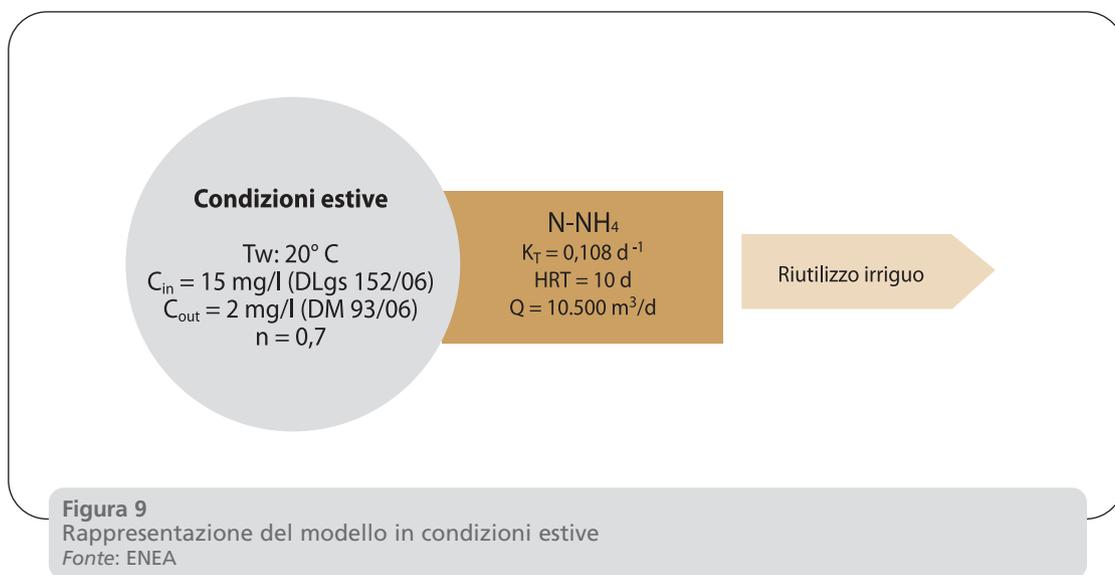
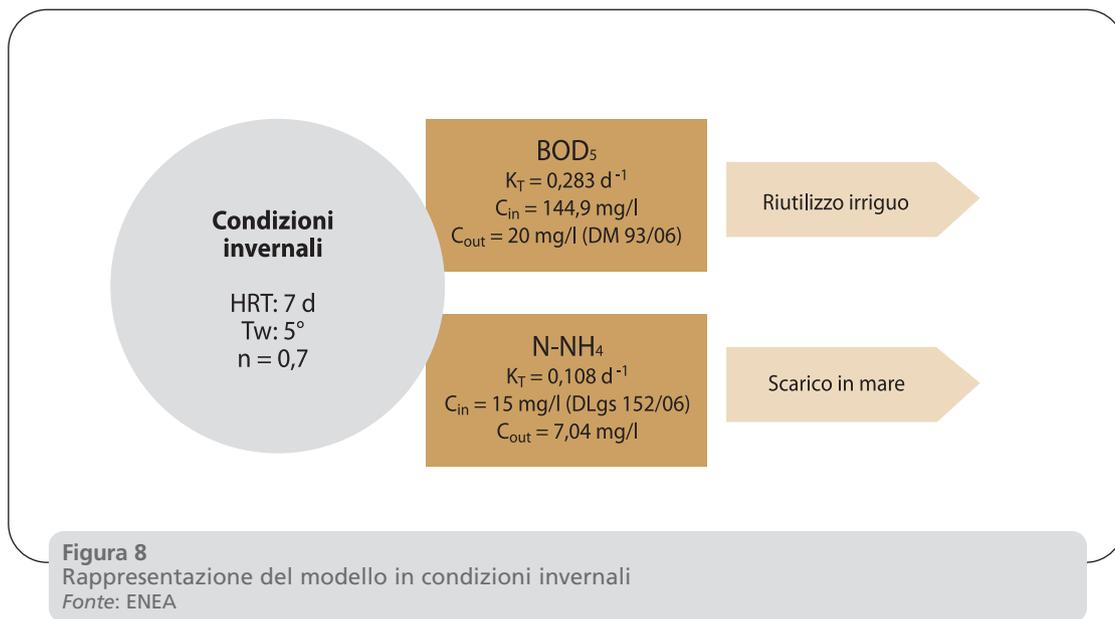
Tabella 1

Parametro	Valore	Unità di misura
Area, A	150.000	m^2
Profondità, h	1	m
Porosità, n	0,7	-
Coeff. cinetici utilizzati	Rimozione BOD ₅	Rimozione NH ₄
TR (°C)	20	20
KR (d ⁻¹)	0,678	0,2187
θ_R	1,06	1,048



spetto al caso del BOD_5 . È stato pertanto necessario ipotizzare due scenari, uno invernale con le condizioni rilevate sperimentalmente durante la stagione di monitoraggio e con lo scarico del trattamento terziario in mare, ed uno estivo, in cui si è calcolato il tempo di residenza idraulico richiesto per la depurazione dell'effluente per scopi irrigui. Per quanto riguarda le condizioni invernali (figura 8) la rimozione del BOD_5 è molto elevata e ciò con-

sente il riutilizzo irriguo dell'acqua, mentre le basse temperature invernali riducono la denitrificazione. In condizioni estive, considerando l'elevato abbattimento del BOD_5 , è stata valutata solo l'efficienza della denitrificazione; in particolare si sono assunte come concentrazioni di ingresso e uscita rispettivamente quelle del decreto 152/06, cioè la concentrazione dell'effluente del depuratore e quella del DM 93/06, e cioè la concentrazione necessaria per



il riutilizzo irriguo. In questo caso, quindi, si è proceduto a calcolare il tempo di residenza idraulico necessario al processo, schematizzato in *figura 9*.

In definitiva, verificata la capacità auto depurativa della palude, quello che si verrebbe a creare è un sistema integrato di trattamento-finissaggio-riutilizzo dei reflui civili conferiti all'impianto di Ladispoli. In particolare lo schema, riportato in *figura 10*, prevede il convogliamento e la distribuzione me-

dante un sistema "a diffusione", per non creare percorsi preferenziali, dell'acqua trattata dal depuratore direttamente nella palude.

Una stazione di sollevamento ed una chiusa per la regolazione dei deflussi e dei passaggi interni alla palude per interventi di verifica e manutenzione, completerebbero l'intervento.

L'area, attualmente abbastanza compromessa, ne riceverebbe numerosi benefici, e ciò andrebbe a



Figura 10
Ipotesi di impianto trattamento terziario
Fonte: elaborazione ENEA su immagine Google Earth

determinare un duplice risparmio idrico: la risorsa del Consorzio che attualmente alimenta la Palude e le acque reflue provenienti dal depuratore, utilizzabili (in periodo primaverile) in agricoltura. Il livello idrico, attualmente molto variabile per le motivazioni descritte precedentemente, verrebbe mantenuto costante nel corso dell'anno, creando così un ecosistema stabile ed evitando i problemi di salinizzazione della falda già descritti. Inoltre mantenendo l'alimentazione costante, l'acqua, non più stagnante, subirebbe un'ossigenazione maggiore e raggiungerebbe temperature meno elevate. Questa potrebbe essere una soluzione an-

che per la contaminazione da parte del botulino. Per quanto riguarda l'effluente del depuratore, esso subirebbe un affinamento prima dello scarico in mare in inverno con la riduzione dell'impatto ambientale che attualmente ha sulle acque costiere, in una località che tra l'altro è una delle zone balneari più frequentate del litorale romano. Infine ciò comporterebbe grandi vantaggi dal punto di vista ambientale, consentendo la sopravvivenza di una delle ultime zone umide costiere rimaste, ed offrirebbe un esempio riproducibile di integrazione tra depurazione e sistema naturale, nel complesso e delicato ciclo delle acque.

Bibliografia

- [1] Mannini P., Anconelli S., Guidoboni G., *Confronto tra le capacità fitodepurative di diversi sistemi acquatici a flusso superficiale*, Atti del convegno *La fitodepurazione: applicazioni e prospettive*. Volterra 2003, pp. 217-221.
- [2] Battisti C. (a cura di). *La palude di Torre Flavia – Biodiversità, gestione, conservazione di un'area umida del litorale tirrenico*. 2006. Provincia di Roma, Gangemi Editore, 496 pp.
- [3] Reed S.C., Brown D. S., *Constructed wetland design – the first generation*, *Wat. Env. Res.* 64, 1992, 776-781.
- [4] Pietrelli L., *Impianti di fitodepurazione: la risposta verde*. *Costruire*, 246, 2003, 84-89.
- [5] APAT, *Linee guida per la progettazione e gestione di zone umide artificiali per la depurazione di reflui civili*. 2005.
- [6] Masi F., Berdonicchio G., Conte G., Garuti G., Innocenti A., Franco D., Pietrelli L., Pineschi G., Pucci B., Romagnoli E., *Constructed wetlands for wastewater treatment in Italy: the state of the art and obtained results*, Proc. of the IWA 7th Int. Conf. on *Wetland Systems for Water Pollution Control*, Orlando, 2000, 979-985.
- [7] Reed S.C., Middlebrooks E.J., Crites R.W., 1998. *Natural system for waste management and treatment*. Mc Graw-Hill Book Company, 6: 164-202.

Energia da rifiuti organici: un mercato ad alto potenziale

Il mercato degli impianti ad energia da rifiuti organici in Europa, riferisce uno studio di Frost & Sullivan, è oggi il più grande del mondo; il mercato tedesco da solo rappresenta il 76,8% di quello europeo. Le stesse politiche sono in corso di sviluppo in altri paesi europei, fra cui l'Italia. In Asia, nel Nord e nel Sud America il mercato degli impianti ad energia da rifiuti organici continua invece ad essere sottosviluppato per tre ragioni:

- i governi di queste regioni non hanno ancora introdotto politiche a supporto del recupero di energia da rifiuti e del biogas;
- la quantità, disponibilità, qualità e la gestione dei materiali di base non sono ancora appropriati all'investimento o per una crescita a lungo termine del mercato degli impianti ad energia da rifiuti organici;
- l'industria del biogas, in larga misura tedesca ed europea, non sta mettendo a disposizione le risorse necessarie allo sviluppo di questi mercati.

La situazione sta però cambiando. Negli Stati Uniti, ad esempio, il governo federale ha lanciato un programma (AgSTAR) che incoraggia l'uso delle tecnologie per il recupero del metano e ne consente la riduzione delle emissioni. In India il governo del Punjab sta promuovendo la costruzione di questi impianti per la fornitura di elettricità allo Stato.

Il potenziale del mercato è enorme e il ritmo di crescita sarà veloce soprattutto in paesi quali Italia, Repubblica Ceca, Brasile, Stati Uniti, Canada, India e Australia. Le imprese che operano in questo settore – secondo Frost & Sullivan – potrebbero perdere preziose opportunità non investendo in questi mercati e devono quindi cominciare a pianificare una strategia di espansione internazionale.

Fotovoltaico a concentrazione più economico. Studio californiano

Abbattere i costi del solare fotovoltaico è uno dei principali obiettivi della ricerca sull'energia solare. Per il gruppo di Jason Karp della University of California di San Diego, alla realizzazione di impianti fotovoltaici "economici" potrebbe contribuire in modo decisivo una concezione di design che sappia sfruttare adeguatamente la fisica ottica. I ricercatori californiani hanno infatti ideato un concentratore che utilizza un minore numero di celle fotovoltaiche, ma con performance invariate o addirittura incrementate grazie a una gestione della luce solare ottimizzata.

Il team di Karp ha utilizzato moduli di lenti individuali collegati a singole celle, a loro volta allineate e connesse elettricamente, impiegando migliaia di piccole lenti impresse su un foglio e accoppiate a una "guida d'ombra" piatta. Parallelamente, gli studiosi stanno cercando di sviluppare un processo di produzione a basso costo utilizzando le attuali tecniche di lavorazione roll-to-roll per la fabbricazione di televisori di grandi dimensioni.

Il sistema ha come obiettivo principale quello di abbattere i costi del fotovoltaico a concentrazione, offrendo ulteriori potenziali vantaggi rispetto ai concentratori solari a elevata efficienza, già presenti nella tecnologia fotovoltaica a livello mondiale, che incorporano l'ottica per focalizzare il sole centinaia di volte e fornire il doppio della potenza dei moduli fotovoltaici piani.

Fonte: Università di California a San Diego

dal Mondo

Energia da rifiuti organici: un mercato ad alto potenziale

Fotovoltaico a concentrazione più economico
Studio californiano

L'ENEA alla Conferenza internazionale sulle fonti rinnovabili in Giappone

Dal 27 giugno al 2 luglio si è svolta a Yokohama, in Giappone, la Conferenza internazionale *Renewable Energy 2010*, alla sua terza edizione, incentrata sulle attività di ricerca e sviluppo nel campo delle energie rinnovabili e del risparmio energetico.

L'evento ha registrato più di 1.300 esperti da 65 paesi, con presentazioni orientate per la massima parte sull'energia so-

lare (19%), l'energia eolica (16%), la biomassa e i biocarburanti (14,1%).

Tali argomenti sono stati affrontati riunendo rappresentanti di tutti i settori coinvolti nella *supply chain* energetica, dalla distribuzione al consumo.

Lo slot di aree presentate e discusse nel corso del convegno era composto da 12 tematiche: politica, fotovoltaico, solare termico, architettura a basso consumo energetico, eolico, biomasse, idrogeno e celle a combustibile, energia oceanica e geotermica, sistemi di alimentazione avanzati, utilizzo del calore ed efficienza energetica, piccole centrali idroelettriche ed energia non convenzionale. Il risultato più importante del convegno è stato il convincimento generale che le tecnologie avanzate e innovative sono necessarie per accelerare la penetrazione delle energie rinnovabili, riducendone ulteriormente i costi e migliorandone l'efficienza e l'affidabilità.

Neeta Sharma, dell'Unità Tecnica Tecnologie Trisaia, ha presieduto in qualità di *chair* la sessione sulla tematica "Biomasse e Biocarburanti" ed ha inoltre presentato il contributo *Energy Crops: Potential Future Prospects and Challenges for Cost Effective and Sustainable Production*, realizzato insieme a Vito Pignatelli e Roberto Balducci.

Alla fine della conferenza la Dr.ssa Sharma ha ricevuto un attestato nel quale sono stati riportati particolari apprezzamenti per la competenza dimostrata nel presiedere la sessione, per il brillante risultato ottenuto nello svolgimento dell'incarico di *chair* della sessione e per il suo contributo alla presentazione orale, che è

stata considerata una delle migliori.

Il successo della manifestazione ha indotto gli organizzatori a convocare la 4. edizione di *Renewable Energy* a Shanghai nel 2012.

neeta@enea.it

Nuove idee per l'adeguamento sismico degli edifici storici

Le strutture storiche sono spesso inadatte a sopportare terremoti, anche di bassa intensità, e il loro adeguamento sismico risulta impossibile a meno di non ricorrere a interventi molto pesanti, che non rispetterebbero i requisiti di non invasività e di reversibilità, conditio sine qua non per poter intervenire su opere monumentali senza stravolgerne definitivamente sia la concezione strutturale sia la memoria storica.

Tale obiettivo è perseguibile soltanto con tecniche innovative, quali l'isolamento sismico e la dissipazione di energia, che si basano rispettivamente sulla minimizzazione dell'energia all'ingresso e sul miglioramento della capacità di assorbimento dell'energia da parte della struttura, anziché affidarsi alla resistenza della stessa.

Nel corso della giornata di studio dell'11 maggio scorso a Roma, è stata presentata una nuova soluzione proposta da ENEA e Politecnico di Torino per l'isolamento sismico degli edifici esistenti, basata sulla realizzazione di una piattaforma isolata sotto al piano di posa delle fondazioni, in modo da non richiedere alcun intervento sull'edificio sovrastante.

dall'ENEA

L'ENEA alla Conferenza internazionale sulle fonti rinnovabili in Giappone

Nuove idee per l'adeguamento sismico degli edifici storici

cronache

Fratello Sole Madre Terra: energie rinnovabili, ambiente ed ecosistema

Si rinnova l'appuntamento con *Fratello Sole Madre Terra*, la manifestazione dedicata all'ambiente e alla sua salvaguardia, che da sei anni rende la città di Assisi baluardo internazionale della cultura ecologica. Dal 2005 i francescani conventuali sono impegnati ad approfondire le tematiche ambientali con quest'iniziativa dal respiro internazionale, capace di unire la comunità scientifica e sensibilizzare il grande pubblico.

Quest'anno il convegno, strutturato nelle tre sessioni *scientifica, religiosa e istituzionale*, è dedicato al tema delle energie rinnovabili. Sarà approfondito il loro impatto sull'ecosistema globale e saranno affrontate le implicazioni su società, economia e mercato del lavoro.

I poli del dibattito, che avrà luogo il 16 settembre presso il Salone Papale del Sacro Convento di Assisi, saranno presieduti, per il fronte scientifico, dal Prof. Franco Cotana, Direttore del Centro di Ricerca sulle Biomasse e dall'Ing. Mauro Vignolini, responsabile dell'Unità Tecnica Fonti Rinnovabili dell'ENEA; per la sessione religiosa da Mons. Giancarlo Maria Bregantini CSS, Arcivescovo di Campobasso-Boiano e Presidente Commissione Episcopale per i Problemi Sociali e il Lavoro, la Giustizia e la Pace; per la sessione istituzionale dal Ministro dell'Ambiente Stefania Prestigiacomo, dal Sottosegretario del Ministero dello Sviluppo Economico con delega all'energia Stefano Saglia, dal Ministro del Lavoro Maurizio Sacconi e dall'Amministratore Delegato delle Ferrovie dello Stato Mauro Moretti.

Fratello Sole Madre Terra è anche una produzione televisiva, che andrà in onda su RaiUno sabato 18 settembre 2010.

ufficiostampa@gruppomeet.it

metodologia LCA: approccio proattivo per le tecnologie ambientali, si è tenuto il 22 aprile presso la Fiera di Padova all'interno dell'evento SEP 2010.

SEP (*Systems for Environmental Projects*) è il Salone triennale delle tecnologie ambientali in cui i temi dell'ambiente sono affrontati con approccio internazionale.

Articolato in due sessioni, "Fonti rinnovabili, risparmio energetico, mobilità sostenibile" e "Riciclo, eco-efficienza, ciclo di vita, tracciabilità, certificazione", una sessione poster e il Premio Giovani Ricercatori, il convegno è stato l'occasione per presentare esempi e applicazioni della metodologia LCA.

La prima sessione ha riguardato esperienze nel settore delle fonti rinnovabili: eolico, fotovoltaico e biodiesel.

Nella seconda sessione gli interventi hanno spaziato da studi di LCA a supporto della gestione integrata dei rifiuti, a studi sulla raccolta differenziata fino ad applicazioni per la progettazione di edifici a *Zero Carbon*.

La partecipazione di giovani ha avuto un culmine nella presentazione dei tre vincitori del Premio Giovani Ricercatori LCA.

Dai lavori del convegno è emerso come la metodologia LCA stia iniziando ad interessare anche le imprese, per le potenzialità offerte da questo strumento sia in termini di miglioramento di prodotti esistenti che di sviluppo di nuovi prodotti. La LCA si sta affermando anche come strumento di analisi di sistemi di gestione territoriali e di filiera e come strumento di supporto per le pubbliche amministrazioni chiamate a valutare l'efficacia di sistemi di gestione dei rifiuti o di politiche energetiche.

Eventi

Fratello Sole Madre Terra: energie rinnovabili, ambiente ed ecosistema

Terzo convegno della Rete Italiana sulla metodologia di analisi LCA

Terzo convegno della Rete Italiana sulla metodologia di analisi LCA

Il terzo convegno scientifico della Rete Italiana LCA (*Life Cycle Assessment*), dal titolo *La*