

QUALITÀ DELL'ARIA E CAMBIAMENTI CLIMATICI: DUE FACCE DELLA STESSA MEDAGLIA

Maria Cristina Facchini, Sandro Fuzzi*

Istituto di Scienze dell'Atmosfera e del Clima, Consiglio Nazionale delle Ricerche

Sommario – Tutte le attività antropiche sono responsabili dell'emissione di inquinanti gassosi e particolati che modificano la composizione dell'atmosfera. Questi cambiamenti, a loro volta, causano il degrado della qualità dell'aria a scala locale e regionale e nello stesso tempo influenzano i cambiamenti climatici. Qualità dell'aria e cambiamenti climatici sono quindi due tematiche ambientali strettamente collegate. Tuttavia, queste due emergenze ambientali sono tuttora considerate in modo separato sia a livello della comunità scientifica che dei responsabili delle politiche ambientali. In realtà, molte opzioni di limitazione delle emissioni antropiche danno la possibilità di migliorare la qualità dell'aria e, allo stesso tempo, di mitigare il riscaldamento climatico. Esistono però anche politiche di riduzione delle emissioni che beneficiano uno dei due aspetti mentre hanno un effetto negativo sull'altro. Per questo sono necessarie azioni coordinate che tengano conto delle connessioni fra qualità dell'aria e cambiamenti climatici e che queste siano basate su valide basi scientifiche.

Parole chiave: qualità dell'aria, cambiamenti climatici, emissioni antropiche, cambiamenti della composizione atmosferica.

AIR QUALITY AND CLIMATE: TWO SIDES OF THE SAME COIN

Abstract – Anthropogenic activities are responsible for the emission of gaseous and particulate pollutants that modify atmospheric composition. Such changes are, in turn, responsible for the degradation of air quality at the regional/local scale as well as for climate change. Air pollution and climate change are therefore two intimately connected environmental issues. However, these two environmental challenges are still viewed as separate issues, which are dealt with by different science communities and within different policy frameworks. Indeed, many mitigation options offer the possibility to both improve air quality and mitigate climate change but, at the same time, mitigation options that may provide benefits to one aspect, are worsening the situation in the other. Therefore, coordinated actions taking into account the air quality-climate linkages are required, and these actions need to be based on strong scientific grounds.

Keywords: air quality, climate change, anthropogenic emissions, atmospheric composition change.

1. INTRODUZIONE

Qualità dell'aria e cambiamenti climatici sono due emergenze critiche con le quali l'intera umanità si sta confrontando. Da una parte l'inquinamento atmosferico rappresenta, secondo l'Organizzazione Mondiale della Sanità, il principale rischio ambientale per la salute causando più di tre milioni di decessi l'anno, uno ogni nove a livello globale (WHO, 2016). Dall'altra, il 5° Rapporto IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) ha chiaramente stabilito che il riscaldamento del clima della Terra è inequivocabile e che è altresì evidente l'influenza delle attività umane sul sistema climatico terrestre (IPCC, 2014).

Benché il concetto che qualità dell'aria e cambiamenti climatici siano strettamente correlati non sia del tutto nuovo (Swedish EPA, 2009), tuttora in molti settori della ricerca e delle politiche ambientali queste due emergenze sono affrontate in modo separato da diverse comunità scientifiche e differenti organismi regolatori.

Alcuni recenti lavori scientifici hanno bene evidenziato le molteplici connessioni fra qualità dell'aria e cambiamenti climatici, concludendo che qualsiasi opzione politica intesa a contrastare una di queste due emergenze dovrebbe necessariamente tenere in considerazione le retroazioni con l'altra, per evitare che i benefici prodotti in uno dei due ambiti vadano a peggiorare la situazione nell'altro (von Schneidmesser and Monks, 2013; Maione et al., 2016; Melamed et al., 2016).

2. CONNESSIONI FRA QUALITÀ DELL'ARIA E CAMBIAMENTI CLIMATICI

Tutte le attività antropiche (produzione di energia, trasporti, processi industriali, agricoltura e allevamento, gestione rifiuti, ecc.) sono responsabili dell'emissione di composti in traccia gassosi e particolati che modificano la composizione chimica dell'atmosfera. D'altra parte, l'atmosfera possiede una propria capacità di autodepurazione e la maggior parte dei composti emessi sono rapidamente ri-

* Per contatti: Via Gobetti 101, 40129 Bologna. Tel. 051.639 9559; Fax 051.639 9547, e-mail: s.fuzzi@isac.cnr.it.

Tabella 1 – Tempo di permanenza in atmosfera ed effetti sul clima, la salute e gli ecosistemi dei principali composti in traccia derivanti dalle attività antropiche

Composto	Tempo di permanenza in atmosfera	Effetti sulla salute e gli ecosistemi	Effetti sul clima
Biossido di carbonio (CO ₂)	Secoli	Acidificazione dell'oceano, fotosintesi	Riscaldamento
Metano (CH ₄)	8 anni	Precursore di O ₃	Riscaldamento
Ozono (O ₃)	1 mese	Danni alla salute e alla vegetazione	Riscaldamento
Biossido di zolfo (SO ₂)	1 settimana	Danni alla salute, acidificazione degli ecosistemi	Precursore di PM raffreddamento
Ossidi di azoto (NO _x)	1 settimana	Danni alla salute, precursore di O ₃ effetti sugli ecosistemi	Precursore di PM raffreddamento
Ammoniaca (NH ₃)	1 settimana	Acidificazione degli ecosistemi, eutrofizzazione delle acque	Precursore di PM raffreddamento
Black carbon (BC)	1 settimana	Danni alla salute	Riscaldamento
Composti organici volatili (VOC)	Variabile	Danni alla salute, precursori di O ₃	Precursori di O ₃

mossi dall'atmosfera per deposizione secca e umida o attraverso reazioni chimiche, principalmente catalizzate dalla radiazione solare (reazioni fotochimiche). Questi composti che persistono in atmosfera per tempi variabili da poche ore ad alcune settimane sono definiti composti con breve tempo di vita. La capacità di autodepurazione dell'atmosfera è molto più ridotta per altri composti poco reattivi emessi dalle sorgenti antropiche, quali il biossido di carbonio (CO₂), che rimangono in atmosfera per tempi molto maggiori (composti con lungo tempo di vita) (Tabella 1).

CO₂, il principale gas a effetto serra, non viene tradizionalmente considerato un inquinante in quanto non ha un effetto diretto sulla salute umana ma, d'altra parte, alcuni degli inquinanti tradizionali con breve tempo di vita interagiscono con il sistema climatico, in particolare l'ozono (O₃, Monks et al., 2015) e il particolato atmosferico (PM, Fuzzi et al., 2015). Il metano (CH₄), che ha un tempo di vita dell'ordine di 8 anni, rappresenta una situazione intermedia: è un gas a effetto serra e, allo stesso tempo, interagisce con il ciclo degli ossidanti atmosferici e con l'inquinamento atmosferico in generale (Monks et al., 2015).

Occorre considerare comunque che le emissioni antropiche di una stessa sorgente contengono sia gas a effetto serra che inquinanti tradizionali. Lo scarico di un'automobile, ad esempio, emette sia CO₂ che ossidi di azoto (NO_x) che particolato. Per questo non è possibile separare in modo inequivocabile le emissioni antropiche in due gruppi distinti: inquinanti atmosferici e specie climatoalteranti. Regolamentando le emissioni inquinanti, e tenuto conto delle non-linearità introdot-

te dal sistema atmosfera (processi di trasporto, trasformazioni chimiche, processi di rimozione), si punta ad ottenere i benefici voluti in relazione agli effetti sulla salute e gli ecosistemi. Dato che inquinanti atmosferici e gas serra sono generalmente co-emessi dalle stesse sorgenti, regolamentando queste ultime si può, in linea di principio, ottenere la mitigazione sia della qualità dell'aria che del clima. Occorre però considerare che i cambiamenti climatici da una parte influenzano i processi atmosferici (trasporto, reattività, ecc.) e dall'altra causano cambiamenti nel funzionamento degli ecosistemi terrestri e marini che possono, a loro volta, condizionare i processi atmosferici. Per questo, le politiche per migliorare la qualità dell'aria e per mitigare il riscaldamento del clima devono necessariamente essere integrate.

Molte opzioni di riduzione delle emissioni antropiche offrono infatti la possibilità di migliorare la qualità dell'aria e mitigare allo stesso tempo il riscaldamento del clima. Ma vi sono anche altre opzioni che favoriscono uno dei due aspetti peggiorando la situazione dell'altro (politiche *win-lose*). Azioni coordinate che tengano nel dovuto conto le connessioni fra qualità dell'aria e cambiamenti climatici costituiscono la strategia migliore in termini di costi economici e sociali (politiche *win-win*) (Williams, 2012).

La Figura 1 (a pag. 346) riporta un esempio di alcune delle opzioni di regolamentazione delle emissioni che possono identificarsi come politiche *win-win* o *win-lose* in termini del contemporaneo miglioramento della qualità dell'aria e della mitigazione del riscaldamento climatico.

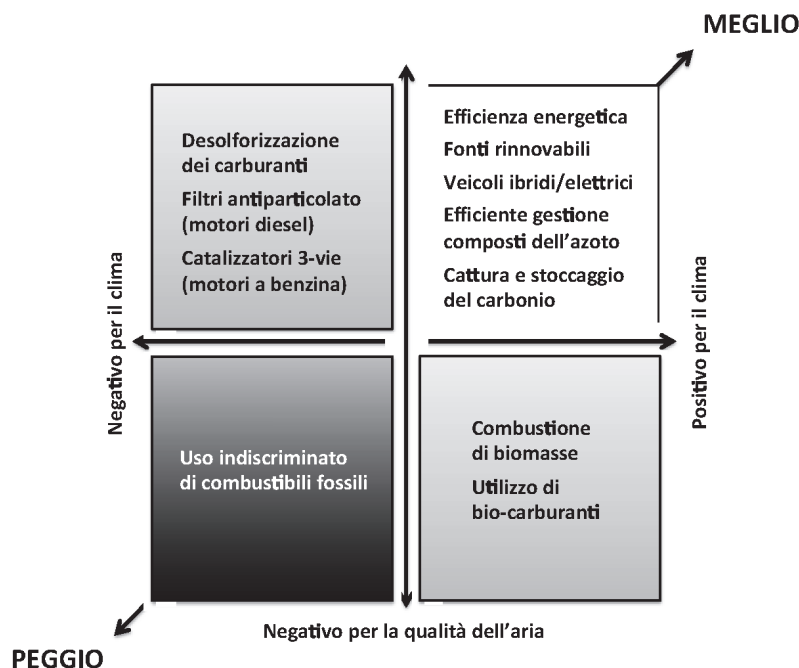


Figura 1 – Opzioni e tecnologie per il miglioramento della qualità dell'aria e il riscaldamento del clima (adattato da Williams, 2012)

Nel quadrante in alto a sinistra sono incluse misure che tendono a limitare le emissioni di particolato atmosferico e che sono per questo molto positive per la qualità dell'aria e la salute, ma che sono complessivamente negative per mitigare il riscaldamento climatico in quanto il particolato atmosferico ha un effetto netto di raffreddamento del clima (IPCC, 2014). Nel quadrante in basso a destra vi sono misure, la combustione di biomasse e l'uso di bio-carburanti, che tendono alla mitigazione del riscaldamento climatico in quanto fonte di energia *carbon-neutral*. D'altra parte, la combustione di biomasse emette in atmosfera particolato carbonioso (BC e particolato organico) che influisce negativamente sulla qualità dell'aria e la salute umana. Ambedue questi tipi di azione sono quindi da ascrivere alla categoria delle politiche *win-lose*. Il quadrante in alto a destra contiene invece una serie di azioni virtuose che migliorano la qualità dell'aria e, allo stesso tempo, tendono a mitigare il riscaldamento climatico (politiche *win-win*). Non deve ovviamente neppure essere considerato il quadrante in basso a sinistra che propone politiche dannose sia per la qualità dell'aria che per il clima.

3. IMPATTO DEGLI INQUINANTI ATMOSFERICI SUL CLIMA

Come già ricordato, le emissioni antropiche influenzano il clima direttamente emettendo gas a ef-

fetto serra e indirettamente emettendo inquinanti con breve tempo di vita che sono alternativamente essi stessi specie clima-alteranti o loro precursori. La Figura 2 (a pag. 347) mostra una valutazione del *forcing* radiativo dei principali composti atmosferici in traccia derivanti da attività antropiche. Come si vede dalla figura, specie clima-alteranti con breve tempo di vita come il *black carbon* (BC), solfati, nitrati, e composti organici, tutti costituenti il particolato atmosferico, e l'ozono sono, allo stesso tempo, inquinanti che danneggiano la salute umana e gli ecosistemi e anche agenti clima-alteranti, in senso positivo o negativo (riscaldamento/raffreddamento del clima).

Composti di rilevanza climatica a breve e medio tempo di permanenza in atmosfera quali le particelle carboniose (BC), le particelle riflettenti (solfati, nitrati, composti organici) ozono e metano sono specie inquinanti e allo stesso tempo influenzano il clima. Strategie mirate di abbattimento delle emissioni di questi composti, possono portare a una efficace mitigazione del cambiamento climatico ed al tempo stesso migliorare sensibilmente la qualità dell'aria.

4. EFFETTI DEL CLIMA SULLA QUALITÀ DELL'ARIA

La qualità dell'aria è influenzata dalla meteorologia e, di conseguenza, i cambiamenti delle condizioni meteorologiche conseguenza del riscalda-

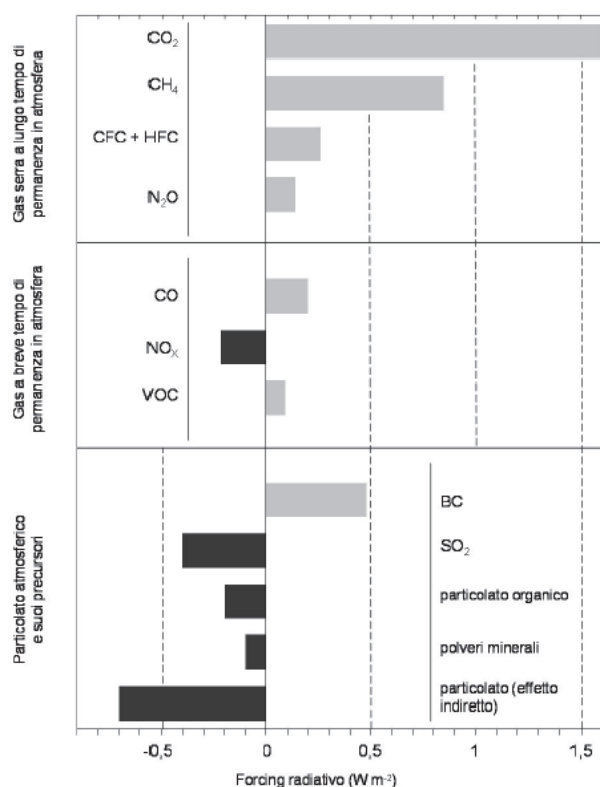


Figura 2 – Forcing radiativo dei principali composti atmosferici in traccia emessi dalle attività antropiche dall'inizio della rivoluzione industriale. Le barre grigie indicano forcing positivo (riscaldamento del clima), le barre nere indicano forcing negativo (raffreddamento del clima) (adattato da Macione et al., 2015)

mento climatico hanno senz'altro un impatto sulle condizioni di inquinamento atmosferico a diverse scale spaziali e temporali. Questo effetto è stato definito con il termine inglese *climate penalty*.

In primo luogo, il riscaldamento climatico causa cambiamenti della circolazione atmosferica, provocando, a sua volta, cambiamenti nei processi di trasporto e dispersione degli inquinanti sia a scala orizzontale che verticale. Questo causa variazioni del tempo di permanenza degli inquinanti in atmosfera. In questo contesto sono di particolare importanza i cambiamenti previsti nei regimi di precipitazione che influenzano i processi di rimozione degli inquinanti, mentre il previsto aumento nell'intensità e durata degli episodi di stagnazione dell'aria, porta necessariamente ad un deterioramento della qualità dell'aria. Un esempio fra i tanti che si possono fare: la concentrazione di ozono, inquinante di natura fotochimica dannoso per la salute umana, per gli ecosistemi terrestri e per le rese in agricoltura, che aumenta

in condizioni meteorologiche di alta pressione persistente, bassa convezione e temperature elevate.

Inoltre, i cambiamenti climatici hanno effetti di retroazione sulle emissioni naturali in termini sia quantitativi che temporali. Esempi importanti, già da tempo studiati, sono l'emissione di polveri dal suolo (si pensi alle polveri desertiche che rappresentano la sorgente principale di particolato atmosferico a livello globale) e l'aumento delle emissioni di composti organici volatili dalla vegetazione, che è fortemente dipendente della temperatura. Si prevede inoltre che in un clima più caldo aumenteranno anche frequenza ed intensità degli incendi forestali. Tutti questi fenomeni, oltre ad influenzare la qualità dell'aria hanno anche effetti di amplificazione del cambiamento climatico.

Il riscaldamento del clima può però influenzare anche le emissioni antropiche. Ad esempio, il consumo di energia elettrica e quindi le emissioni collegate alla produzione possono cambiare, e in un clima più caldo ci si aspetta che il consumo di energia aumenti a causa dell'accresciuta domanda di raffrescamento degli edifici.

5. CONCLUSIONI

A dispetto del consenso scientifico oggi largamente acquisito sulle sinergie e retroazioni fra le politiche e le strategie per ridurre le emissioni di inquinanti atmosferici e dei composti clima-alteranti di cui si è brevemente dato qui conto, si tende tuttora a seguire approcci diversi e non coordinati nei due casi, come se si dovessero limitare le emissioni da sorgenti completamente diverse o come se i processi che determinano la qualità dell'aria ed i cambiamenti climatici avvenissero in parti separate dell'atmosfera. Vi è quindi una chiara mancanza di visione generale e compito della comunità scientifica (anch'essa non esente da mancanze in questo ambito) deve essere quello di fornire ai decisori tutti gli elementi conoscitivi che possano favorire l'adozione di politiche integrate per due fenomeni così strettamente legati, utilizzando un approccio multi-composto/multi-effetto basato su un'analisi scientifica integrata.

Le politiche per la qualità dell'aria sono state tradizionalmente orientate all'uso delle misure tecnologiche di abbattimento, cosiddette *end-of-pipe*, mentre le politiche per il clima comprendono molto più spesso cambiamenti strutturali che debbo-

no portare ad una riduzione dei consumi di energia o alla sostituzione dell'energia prodotta da combustibili fossili con quella prodotta da fonti rinnovabili. Un approccio integrato può agevolare il raggiungimento di significativi obiettivi di contrasto sia al deterioramento della qualità dell'aria che all'aumento del riscaldamento climatico, con notevoli risparmi anche in termini economici.

Sfortunatamente, come è stato accennato in precedenza, non tutte le misure di limitazione delle emissioni hanno effetti *win-win* rispetto alle due problematiche ambientali, per questo non affrontare questi problemi con un approccio integrato che tenga conto sia delle sinergie esistenti che dei processi di retroazione può portare a decisioni che sono meno efficienti dal punto di vista dei costi o che risolvono uno dei due a scapito dell'altro.

Una strategia integrata deve essere diretta ad individuare una *mix* ottimale di misure *end-of-pipe*, strutturali e comportamentali che possano raggiungere gli obiettivi di limitazione dell'inquinamento atmosferico e del riscaldamento climatico tenendo conto sia delle dinamiche dello sviluppo tecnologico che delle conoscenze dei processi atmosferici secondo i quali gli inquinanti influiscono sui cambiamenti climatici e viceversa. Per questo sono in corso di sviluppo modelli di valutazione integrata (*integrated assessment models*) che tengono conto di un ampio spettro di fattori, inclusi gli aspetti economici e sociali. Un esempio significativo di studio volto a proporre misure integrate per il miglioramento della qualità dell'aria e la mitigazione del riscaldamento climatico è l'*Integrated Assessment of Black Carbon and Tropospheric Ozone* commissionato dal Programma Ambientale delle Nazioni Unite (UNEP) e dall'organizzazione Meteorologica Mondiale (WMO) (UNEP-WMO, 2011; Shindell et al., 2012).

Questo studio ha evidenziato le più efficaci misure di limitazione delle emissioni di BC e CH₄ (precursore della formazione di O₃) che possono avere benefici sia per la salute umana che per il clima tenendo presente che BC ed i precursori di O₃ sono co-emessi con altri composti gassosi e particolati, alcuni dei quali causano il riscaldamento del clima, mentre altri hanno un effetto di raffreddamento. Il criterio di selezione è stato basato sulla scelta unicamente di quelle misure che portano benefici sia in termini di qualità dell'aria che di riduzione del riscaldamento climatico (*win-*

win), ed escludendo tutte quelle misure che portano benefici solo ad uno dei due fenomeni, peggiorando l'altro (*win-lose*). Per tutte le misure di riduzione delle emissioni proposte sono già oggi disponibili le metodologie/tecnologie di realizzazione, anche questo un requisito di cruciale importanza.

6. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Fuzzi S., Baltensperger U., Carslaw K., Decesari S., Denier van der Gon H., Facchini M.C., Fowler D., Koren I., Langford B., Lohmann U., Nemitz E., Pandis S., Riipinen I., Rudich Y., Schaap M., Slowik J., Spracklen D.V., Vignati E., Wild M., Williams M. and Gilardoni S. (2015) Particulate matter: air quality and climate: lessons learned and future needs. *Atmos. Chem. Phys.* 15, 8217-8299.
- IPCC (2014) Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland.
- Maione M., Fowler D., Monks P.S., Reis S., Rudich Y., Williams M.L. and Fuzzi, S. (2016) Air quality and climate change: designing new win-win policies for Europe. *Environ. Sci. Policy*, 65, 48-57.
- Melamed M.L., Schmale J. and von Schneidmesser E. (2016) Sustainable policy-key considerations for air quality and climate change. *Curr. Opin. Environ. Sust.*, 23, 85-91.
- Monks P.S., Archibald A.T., Colette A., Cooper O., Coyle M., Derwent R., Fowler D., Granier C., Law K.S., Mills G.E., Stevenson D.S., Tarasova O., Thouret V., von Schneidmesser E., Sommariva R., Wild O. and Williams M.L. (2015). Tropospheric ozone and its precursors from the urban to the global scale from air quality to short-lived climate forcer. *Atmos. Chem. Phys.* 15, 8889-8973.
- Shindell D., Kuylensstierna J.C.I., Vignati E., van Dingenen R., Amann M., Klimont Z., Anenberg S.C., Muller N., Janssens-Maenhout G., Raes F., Schwartz J., Faluvegi G., Pozzoli L., Kupiainen K., Höglund-Isaksson L., Emberson L., Streets D., Ramanathan V., Hicks K., Oanh N.T.K., Milly G., Williams M., Demkine V. and Fowler D. (2012) Simultaneously mitigating near-term climate change and improving human health and food security. *Science*, 335, 183-189.
- Swedish EPA, (2009) Air Pollution and Climate Change-Two sides of the same coin? Swedish Environmental Protection Agency, Solna, Sweden.
- UNEP-WMO (2011). Integrated Assessment of Black Carbon and Tropospheric Ozone. UNON Publishing Services Section, Nairobi, Kenya.
- von Schneidmesser E. and Monks P.S. (2013) Air quality and climate – synergies and trade-offs. *Environ. Sci. Processes Impacts*, 15, 1315-1325.
- WHO (2016) Ambient air pollution: a global assessment of exposure and burden of disease. World Health Organization, Geneva, Switzerland.
- Williams M. (2012) Tackling climate change: what is the impact on air pollution? *Carbon Manag.*, 3, 511-519.



INGEGNERIA DELL'AMBIENTE

per il 2017 è sostenuta da:

STADLER[®]
STADLER ITALIA S.r.l.



 **VEOLIA**
Veolia Water Technologies Italia S.p.A.

SOLVir[®] Solutions

 **INGEGNERIA
DELL'AMBIENTE**



N. 4/2017

Ledizioni 



CiAI Consorzio
Imballaggi
Alluminio


UNICALCE
Innoviamo la tradizione


ecopneus
il futuro dei pneumatici fuori uso, oggi


iren

VOMM

 **RICREA** 20¹⁹⁹⁷
CONSORZIO NAZIONALE RICICLO
E RECUPERO IMBALLAGGI ACCIAIO 2017

ALLEGRI
ecologia
trattamento acque

KSB 

PASSAVANT
IMPIANTI 
progettazione e costruzione impianti trattamento acque, fanghi e rifiuti

 **comieco**
Consorzio Nazionale Recupero e Riciclo
degli Imballaggi a base Cellulosica

conTec

 **SEAM**
engineering
l'acqua e l'ambiente