

Sostituzione di Combustibili Fossili con Bio-Combustibili e Solare Termico nelle Aree Urbane maggiormente inquinate

**G. Pino, L. Seller, M. Paolucci, R. Marceca,
F. Geri, S.Venga**

**APAT- Dipartimento Nucleare, Rischio Tecnologico ed Industriale
Servizio Osservatorio sulle Tecnologie – Settore Innovazione Tecnologica**

Abstract

L'obiettivo principale che si intende conseguire attraverso la sostituzione parziale dei combustibili fossili con Bio-Combustibili (Bio-Diesel, Bio-Etano, Biogas e Syngas) con l'introduzione di miscele di Bio-combustibili (come da Dlgs 30 Maggio 2005, n.128 in attuazione della Direttiva 2003/30/CE), ed anche con il solare termico (pannelli solari) in una area metropolitana (come Torino, Milano, Trieste, Genova, Bologna, Roma, Napoli, ecc.), è quello di valutare gli effetti benefici sulla qualità dell'aria urbana, come la riduzione dei gas serra e di inquinanti, oltre ad un notevole risparmio di combustibili fossili sostituiti così da fonti rinnovabili.

A tal fine, partendo dagli inventari delle emissioni in atmosfera nelle aree urbane e note pure le quantità e le rispettive percentuali dei combustibili fossili utilizzati (es. benzina, gasolio, metano, carbone, ecc.) nei rispettivi servizi come il trasporto locale ed il riscaldamento domestico, si potranno evidenziare e valutare per le rispettive miscele che si realizzeranno, in funzione delle quantità di Bio-Combustibili disponibili a livello nazionale e locale, così come pure per le rispettive superfici disponibili per il solare termico, i vantaggi locali come la riduzione degli inquinanti nell'aria e quelli globali come la riduzione dei gas serra.

Alternativa interessante, ed anche di più immediata realizzazione, potrà essere quella di sviluppare un **modello locale** per aree (o quartieri) di una città che sono normalmente molto inquinate, dove sono pure disponibili dei dati di inquinamento effettivi in Comuni e/o Circoscrizioni, ma anche in APAT e/o ARPA, facendo appropriate analisi e valutazioni di sostituzione parziale dei combustibili utilizzati e mettendo a punto una vera e propria metodologia da potere successivamente convalidare attraverso i continui monitoraggi locali.

Al momento questa proposta potrebbe riguardare i Comuni o le Aree Metropolitane che hanno la gestione dei rifiuti urbani (solidi ed umidi) e gli impianti di depurazione delle acque reflue, dai quali si ricava normalmente Biogas che può essere utilizzato, previa separazione della CO₂, come **Bio-Metano** sia immettendolo nella rete esistente del gas naturale, per tutti gli usi che se ne possono fare negli edifici pubblici e privati, nelle piccole e medie industrie, ecc. sia utilizzarlo direttamente nel campo dei trasporti pubblici urbani, come gli autobus e taxi a metano.

Sarebbe pure proponibile, fin da subito, cominciare a dotare gli edifici pubblici (asili nido, scuole, uffici, ospedali, caserme, piscine, ecc.) ma anche quelli privati (in ristrutturazione o di nuova costruzione), di pannelli solari per la produzione di acqua calda per tutti gli usi che se ne potrà fare nel riscaldamento/raffrescamento di locali e nell'utilizzo come semplice acqua per usi sanitari con notevole risparmio di fossili e conseguente riduzione di inquinanti vari e gas serra.

Un tale **modello**, già convalidato a livello locale, di sostituzione parziale dei fossili con fonti rinnovabili, quali i bio-combustibili e l'energia solare termica, potrà essere di immediato utilizzo

per tutte le aree urbane più inquinate che producono energia dalla combustione dei fossili, sia nel trasporto che nel riscaldamento/raffrescamento, estendendolo successivamente anche alle aree metropolitane più densamente popolate.

Parole Chiavi: *Bio-Combustibili (Bio-Diesel, Bio-EtanoLo, Bio-Gas) per Trasporto Urbano; Solare Termico per Riscaldamento/ Raffrescamento di Edifici e Produzione di Acqua Calda Sanitaria.*

Messaggi chiave:

Produzione ed utilizzo, anche parziale, di Bio-Combustibili derivati da Biomasse, inclusi i rifiuti urbani solidi ed umidi, per la riduzione di gas serra e degli inquinanti che vengono prodotti normalmente dalla combustione dei combustibili fossili nei sistemi di trasporto e nel riscaldamento/produzione di acqua calda-sanitaria nelle grandi aree metropolitane, con risparmio degli stessi fossili.

Utilizzo del solare termico sui tetti degli edifici delle aree metropolitane per la produzione di acqua calda in usi sanitari e per l'integrazione del sistema di riscaldamento domestico, con riduzione di gas serra e degli inquinanti che vengono prodotti normalmente nella combustione dei combustibili fossili e con risparmio degli stessi fossili.

Introduzione

Gli attuali modelli di trasporto difficilmente potranno continuare ad essere alla base del nostro sistema socio-economico per lungo tempo, sia per l'impatto non sostenibile sull'ambiente e la salute, sia per le prospettive a lungo termine sulla disponibilità delle varie fonti energetiche. (De Santi et al. 2005)

Nella UE i trasporti sono responsabili di oltre il 30% dei consumi energetici ed il 98% di questi è soddisfatto attraverso l'utilizzo di fonti fossili importate da altri Paesi, di conseguenza la crescita delle emissioni di CO₂ in questo settore è considerata come una delle principali cause del mancato raggiungimento degli obiettivi di Kyoto (UE, 2005).

A breve termine non esistono soluzioni definitive ed in attesa di nuove tecnologie ad "emissioni zero (ZEV)", i veicoli con motore a combustione interna (MCI) alimentati con combustibili fossili rappresenteranno ancora, probabilmente, la tecnologia dominante almeno fino al 2030.

In questo lasso di tempo i Bio-Combustibili derivati dalle biomasse: BioDiesel, BioEtanolo e Biogas rappresentano una valida alternativa per sostituire quote di combustibili fossili; infatti sono compatibili con le tecnologie già esistenti, non contribuiscono all'aumento delle emissioni di gas serra ed infine possono fornire nuove opportunità di sviluppo economico.

L'UE ha elaborato una strategia comune per il loro sviluppo e con la Direttiva 2003/30/Ce ha individuato degli "obiettivi indicativi nazionali" che ogni Stato Membro dovrà raggiungere entro il 2010; in Italia questa Direttiva è stata recepita con il Decreto 30 maggio 2005, n.128.

Il presente lavoro si propone di stimare gli effetti sulla qualità dell'aria (in termini di emissioni) correlati alla parziale sostituzione di una quota di combustibili fossili con Bio-Combustibili e con il Solare Termico sia nel campo dei trasporti che in quello del riscaldamento/raffrescamento/acqua sanitaria, mediante l'utilizzo di un "modello locale".

Successivamente tale "modello locale" sarà esteso ad un'area urbana o metropolitana attraverso una possibile sperimentazione in un'area prescelta, con un ulteriore studio di valutazione dell'efficacia della sostituzione, correlando la riduzione delle emissioni alle concentrazioni rilevate nell'aria.

1. Riferimenti Normativi

Contesto Europeo

La promozione dei biocombustibili è una delle azioni adottate dalla Unione Europea per raggiungere obiettivi di più ampio respiro, ovvero l'incremento delle fonti energetiche rinnovabili, la diminuzione delle emissioni di CO₂ ed una maggiore indipendenza energetica.

A livello europeo, i provvedimenti di carattere normativo più rilevanti che riguardano la promozione dei biocombustibili sono :

- La **Direttiva 2003/30/CE** che invitava ogni Stato Membro a fissare degli obiettivi quantitativi di utilizzo dei biocombustibili. Tali obiettivi dovevano essere basati sui livelli di riferimento proposti della direttiva, ossia il 2% sul totale di carburanti (benzina e diesel) immessi nel mercato entro dicembre 2005 e il 5,75% entro dicembre 2010.
- La **Direttiva 2003/96/CE** che modificava il quadro comunitario delle accise sugli oli minerali per consentire l'applicazione di aliquote ridotte sulle miscele contenenti biocombustibili.

Attualmente, la quota del 2% prevista per il 2005 non è stata raggiunta; anche se ogni Stato Membro avesse centrato gli obiettivi fissati a livello nazionale, complessivamente saremmo arrivati all'1,4%. La Commissione Europea al riguardo ha avviato procedimenti di infrazione per sette Paesi, tra cui l'Italia, nei quali sono stati fissati obiettivi ridotti rispetto alla Direttiva 2003/30/Ce senza addurre una motivazione adeguata.

La necessità di sviluppare maggiormente la produzione dei biocombustibili è stata comunque ribadita nella comunicazione "Strategia dell'UE per i biocarburanti" (COM (2006) 34 del 8.2.2006), nella quale si esamina il ruolo che gli stessi possono ricoprire nell'ambito dello sviluppo delle fonti energetiche rinnovabili e della sicurezza degli approvvigionamenti energetici.

In particolare, la strategia dell'UE per i biocombustibili si propone tre finalità precise:

- promuovere maggiormente i biocombustibili nell'UE e nei paesi in via di sviluppo e garantire che la loro produzione e il loro utilizzo siano in generale compatibili con l'ambiente;
- avviare i preparativi per un utilizzo su vasta scala dei biocombustibili migliorandone la competitività in termini di costi attraverso l'ottimizzazione della coltivazione di materie prime dedicate ed il sostegno alla diffusione sul mercato; incrementando il fattore di scala dei progetti dimostrativi ed eliminando gli ostacoli di carattere non tecnico;
- esaminare le opportunità che si aprono per i paesi in via di sviluppo grazie alla produzione di materie prime per biocombustibili e di biocombustibili e definire il ruolo che l'UE potrebbe svolgere nell'incentivare lo sviluppo di una produzione sostenibile.

Parallelamente a queste iniziative, nella "strategia per i biocarburanti", allo scopo di agevolare l'impiego di un più ampio ventaglio di biomasse¹ nella produzione del biodiesel, si fa riferimento alla possibilità di modificare le attuali norme tecniche riguardanti gli standard qualitativi ed i relativi metodi di misura (EN 14214 Autotrazione; EN 14213 Riscaldamento).

Contesto Italiano

In Italia la Direttiva 2003/30/CE è stata recepita con il Decreto Legislativo 30 maggio 2005 n.128, anch'esso finalizzato a promuovere l'utilizzazione dei biocombustibili o di altri carburanti rinnovabili in sostituzione del diesel e della benzina nei trasporti

Nel decreto vengono fissati degli obiettivi nazionali espressi come percentuale sul totale del carburante immesso al consumo nel mercato nazionale e calcolati sulla base del tenore energetico:

¹ Vedi definizione di biomassa art. 2 Direttiva 2003/30/Ce

- 1% entro il 31 dicembre 2005
- 2,5% entro il 31 dicembre 2010

Recentemente, in relazione al Decreto n. 128, è stata emanata la Legge 11 marzo 2006 n.81 dove viene stabilito che :

- *Per il conseguimento degli obiettivi di cui all'articolo 3 del Decreto Legislativo 30 maggio 2005, n. 128, e per favorire lo sviluppo della filiera agroenergetica, è incentivata la produzione e la commercializzazione di bioetanolo, per un periodo di sei anni a partire dal 1° gennaio 2008.*
- *Dal 1° luglio 2006 i produttori di carburanti diesel e di benzina sono obbligati ad immettere al consumo biocarburanti di origine agricola oggetto di un'intesa di filiera, o di un contratto quadro, o di un contratto di programma agroenergetico in misura pari all'1 % dei carburanti diesel e della benzina immessi al consumo nell'anno precedente. Tale percentuale, espressa in potere calorifico inferiore, è incrementata di un punto per ogni anno, fino al 2010.*

Al fine di garantire l'origine nazionale dei prodotti destinati a biocombustibili, la legge prevede la stipulazione di intese di filiera, accordi quadro o di un contratto di programma e la garanzia di tracciabilità per ricostruire il percorso del biocarburante attraverso le fasi della produzione, trasformazione e distribuzione con particolare riferimento all'origine del prodotto agricolo.

Da questo provvedimento si aspetta un nuovo impulso al settore; nel 2005 in Italia sono state consumate 13.461.000 t di benzina e 24.408.000 t di gasolio per autotrazione (dati Unione Petrolifera) e l'immissione dell'1% di biocombustibili significherebbe commercializzare 278.000 t di BioDiesel e 221.000 t di bioetanolo.

2. Tecnologie di produzione dei Biocombustibili

Attualmente, le tecnologie utilizzate su larga scala per la conversione delle biomasse in biocombustibili liquidi e gassosi sono: il processo di esterificazione per la produzione di BioDiesel a partire da oli vegetali; il processo di fermentazione per la produzione di etanolo a partire da piante saccarifere e amidacee, ed infine il processo di digestione anaerobica per la produzione di biogas da residui organici.

Bio-Diesel

Bio-diesel è il nome con cui, generalmente, si indica una miscela di esteri-metilici ottenuti da diverse tipologie di sostanze grasse: oli di origine vegetale e materie grasse di scarto.

In Europa come sostanza di partenza viene utilizzato principalmente olio di colza ma possono essere utilizzati anche altri oli vegetali: l'olio di girasole, l'olio di soia e l'olio di cocco.

L'olio viene estratto attraverso pressatura e per via chimica mediante solventi, con rese che arrivano al 36-38 % in peso. Una volta raffinato, l'olio è sottoposto alla reazione di transesterificazione, ovvero viene fatto reagire con una miscela di metanolo e catalizzatori. Questo procedimento ha come risultato la scissione delle molecole di trigliceridi in tre molecole più piccole di estere diminuendo così la viscosità dell'olio che altrimenti non potrebbe essere utilizzato direttamente negli attuali motori a combustione interna. La successiva aggiunta di additivi aumenta la stabilità del biodiesel all'ossidazione nel lungo periodo e migliora le sue prestazioni nelle diverse condizioni climatiche.

Alla fine del processo si ha una miscela composta al 97% da esteri metilici e come co-prodotto si ottiene glicerina. Approssimativamente, per i territori italiani, possiamo considerare una produzione di 1t di BioDiesel per ettaro coltivato ad oleaginose.

Bio-Etanolo

La produzione di Etanolo a partire da biomasse avviene tramite il processo fermentativo ad opera di microrganismi capaci di scindere i polimeri della biomassa in composti sempre più semplici tramite idrolisi enzimatica. Per questo motivo, la complessità del processo è funzione della struttura molecolare della biomassa di partenza: per piante saccarifere (canna da zucchero, barbabietola) non sono richieste particolari operazioni di pretrattamento e idrolisi mentre diventano necessarie sulle biomasse amidacee (grano, mais, orzo e sorgo) e ancora più su quelle lignocellulosiche. A valle della fermentazione è necessario concentrare l'etanolo prodotto riducendo l'acqua residua a valori accettabili.

Dai trattamenti successivi alla fermentazione si ottiene, al massimo, una soluzione azeotropica acqua-alcool che deve essere ulteriormente arricchita in etanolo fino al 98,5%, valore previsto per la commercializzazione come combustibile. Ciò può essere ottenuto con vari processi: distillazione azeotropica, distillazione estrattiva, estrazione liquido-liquido ed uso di filtri molecolari anche in combinazione con i metodi precedenti.

La resa dell'etanolo per il territorio nazionale è di circa 4500 l/ha ovvero circa 3,5 t/ha.

Bio-Metano

Il Bio-Metano viene prodotto principalmente attraverso il trattamento del biogas derivato dalla degradazione biologica anaerobica della sostanza organica presente nei RSU e nei reflui organici ad opera di microrganismi.

La conversione biologica dei substrati organici più complessi avviene tramite una catena di processi biologici diversi che si sviluppano in fasi distinte: idrolisi, acidogenesi, acetogenesi ed infine metanogenesi.

Il prodotto finale dell'intero processo può essere considerato proprio il metano in quanto l'unico composto non reattivo dell'intero processo.

Questa reazione avviene spontaneamente nelle discariche o in reattore dedicati chiamati digestori anaerobici.

Il biogas per essere utilizzato come combustibile deve rispettare delle specifiche molto precise per non compromettere i motori in cui viene utilizzato, per tale motivo sono necessari dei trattamenti volti ad eliminare tutte le sostanze indesiderate presenti: CO₂, H₂O, H₂S e alogenati .

La sequenza dei trattamenti necessari per utilizzare il biogas come combustibile normalmente comprende:

- una compressione a 10 – 15 bar
- una desolfurazione ed una decarbonatazione (separazione della quota di CO₂) attraverso un water scrubbing
- una disidratazione
- una dealogenazione attraverso l'utilizzo di carboni attivi
- una compressione a 250-300 bar

Tabella 1 Componenti del biogas dannosi per i motori e relativi sistemi di trattamento

Componente	Effetto	Pretrattamento/sistema
Acqua	Ostruzione condotte di gas	Condensazione per refrigerazione
	Formazione di condense acide	Estrazione per assorbimento
Anidride carbonica	Modifica dei parametri di combustione	Estrazione per adsorbimento
	Acidificazione delle condense	Estrazione per assorbimento
Composti solforati	Emissioni maleodoranti	Estrazione per adsorbimento
	Produzione di SO ₂ dopo combustione	
	Acidificazione delle condense	
Composti clorurati	Produzione di HCl dopo combustione	Estrazione per adsorbimento
	Tossicità	
Composti fluorurati	Produzione di HF dopo combustione	Estrazione per adsorbimento
	Impatto sulla atmosfera	

Fonte: Spazzafumo, 2004

Al termine dei trattamenti si ottiene una miscela di biogas arricchita in metano al 97-98% con un PCI vicino a quello del gas naturale che può essere utilizzata nei motori senza particolari svantaggi.

La produzione di biocombustibili per autotrazione a livello europeo è stimabile intorno ai 2 Mtep, una quota che rappresenta meno dell'1% del mercato.

La difficoltà nello sviluppo e nella diffusione dei biocombustibili è legata sostanzialmente al loro costo di produzione non competitivo rispetto a quello dei derivati del petrolio; per questo motivo, nonostante l'aumento del prezzo del greggio attualmente in atto, è necessario un miglioramento delle tecnologie esistenti e lo sviluppo di una seconda generazione di combustibili prodotte attraverso processi innovativi (Gassificazione, Fisher-Tropsch, Idrolisi del materiale lignocellulosico, ecc.).

3. Emissioni da Biocombustibili

3.1 Emissioni regolamentate

Le misure legislative finalizzate alla riduzione delle emissioni e lo sviluppo tecnologico hanno portato ad un miglioramento delle prestazioni ambientali dei motori a combustione interna; ciò nonostante il trasporto rappresenta ancora una delle principali fonti d'inquinamento delle aree urbane.

In attesa degli sviluppi tecnologici necessari per arrivare a veicoli ad "emissioni zero" occorre proseguire nell'affinamento delle tecnologie esistenti per migliorare le loro prestazioni ambientali;

per far questo è possibile intervenire migliorando la qualità dei combustibili e degli oli lubrificanti, ottimizzando il processo di combustione e perfezionando i sistemi di trattamento dei prodotti della combustione.

Considerato che il rinnovo del parco veicolare richiede tempi medio-lunghi, l'UE considera l'introduzione su larga scala di biocombustibili liquidi e gassosi, utilizzati in miscela con i fossili, un'alternativa capace di produrre effetti in tempi rapidi. Tali miscele, infatti, sono utilizzabili nei veicoli a motore esistenti ed integrabili nell'attuale sistema di distribuzione del carburante.²

L'effetto dell'utilizzo di carburanti alternativi sulle emissioni inquinanti dei motori è tuttora oggetto di discussione in quanto i risultati degli studi effettuati non sono sempre confrontabili ed a volte discordano tra loro su alcune tematiche, come è possibile verificare dall'esame dei lavori presenti in letteratura³ e citati in bibliografia.

Il problematico confronto dei risultati delle esperienze sperimentali può essere in parte ascrivibile ai diversi standard emissivi (Euro I, II, III, IV) dei motori su cui sono effettuati i test ed alle miscele utilizzate in quanto queste spesso contengono quote variabili di combustibili tradizionali che a loro volta possono differire per caratteristiche chimico fisiche. Un'ulteriore variabilità dei risultati è dovuta ai diversi dispositivi di post-trattamento per la riduzione delle emissioni allo scarico, quali catalizzatori ossidanti o filtri antiparticolato. Il calcolo delle emissioni infine viene effettuato utilizzando dei cicli di prova standardizzati che possono interessare l'intero veicolo (prove su rulli) o il solo motore (banco di prova). Questo tipo di valutazioni, seppure approvate e ritenute rappresentative, non riescono a rispecchiare fedelmente l'utilizzo reale dei veicoli e variano a seconda del metodo utilizzato.

Tra i numerosi studi reperibili in letteratura, ai fini della nostra trattazione ed in considerazione della completezza dei dati presentati e degli argomenti trattati, è interessante citare quello che è stato sviluppato nel 2000 dall'istituto di ricerca finlandese VTT nell'ambito di un'attività dell'IEA (International Energy Agency) sulle emissioni di diverse tipologie di biocombustibili utilizzati su mezzi di trasporto pubblici.

Lo studio considerava 11 diverse tipologie di combustibili tra cui :

- diesel conforme alla norma EN590 con un contenuto di zolfo inferiore a 500 ppm
- BioDiesel al 100% derivato da colza, soia e oli vegetali esausti
- miscela al 30% di BioDiesel con diesel EN590
- diesel svedese con contenuto di zolfo inferiore a 10 ppm
- miscela al 30% di BioDiesel con diesel a basso tenore di zolfo
- miscela al 15% di etanolo con diesel a basso tenore di zolfo
- una emulsione canadese di diesel e acqua al 10 %.

Queste diverse tipologie di combustibili sono state utilizzate in bus omologati Euro II, uno standard molto diffuso anche tra gli autobus circolanti in Italia. I veicoli testati erano provvisti di due diverse tipologie di trattamento dei gas esausti; in un caso un catalizzatore ossidante, nell'altro un catalizzatore ossidante ed un filtro antiparticolato CRT (Continuously Regenerating Trap).

I risultati dello studio finlandese hanno evidenziato che miscelando bio-esteri con il diesel fossile si è riscontrata una riduzione delle emissioni di CO e di incombusti (HC) rispetto al diesel non miscelato. Le differenze tra le emissioni comunque diminuiscono se i motori sono provvisti di sistemi di trattamento dei gas di scarico in quanto tali sistemi, in alcuni casi, portano comunque alla riduzione del 95% dell'inquinante trattato. Utilizzando diesel a basso contenuto di zolfo miscelato con il bio-estere la quantità di particolato prodotto mostrava un'ulteriore diminuzione.

Riguardo al particolato, all'aumentare della quota di biodiesel in miscela, è stata inoltre riscontrata una variazione qualitativa dello stesso; ovvero un aumento della Frazione Organica Solubile (SOF)

² Vedi note introduttive Direttiva 2003/30/Ce

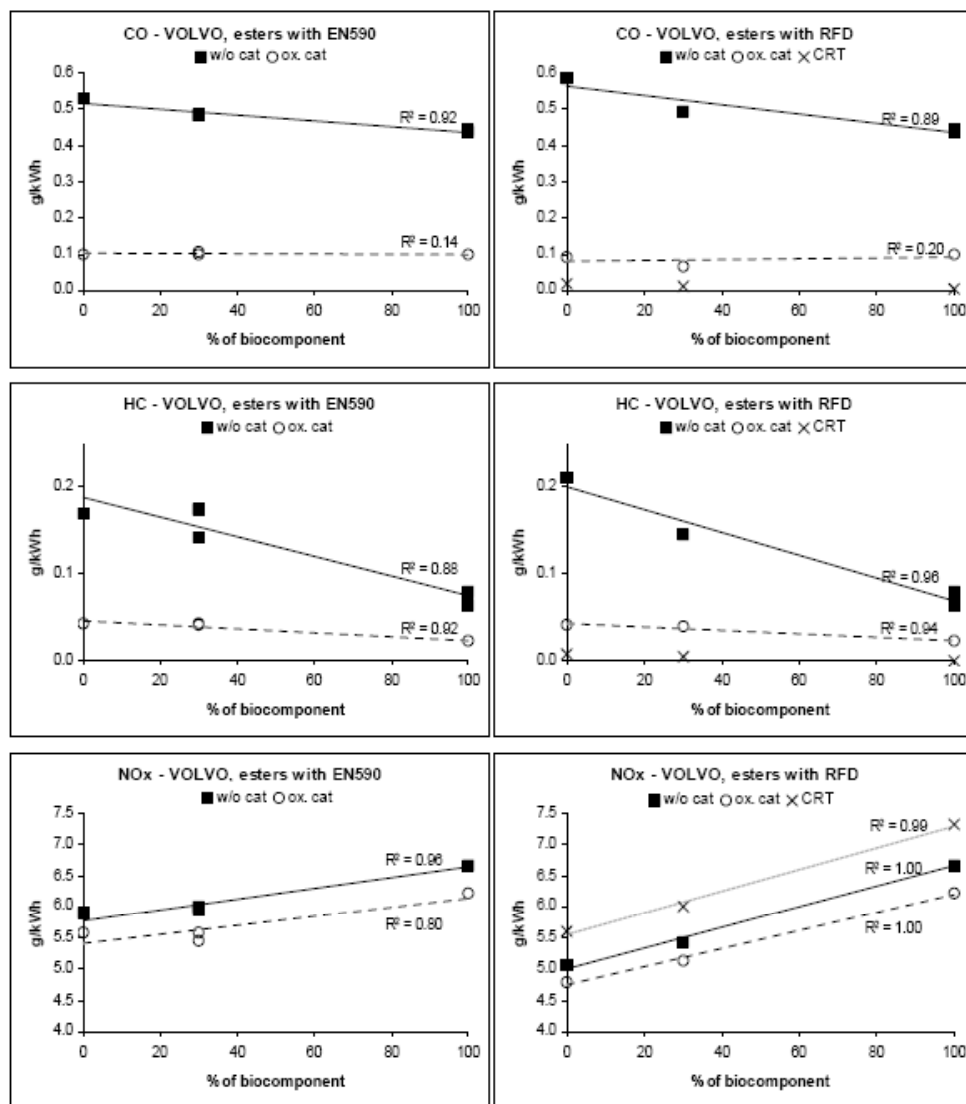
³ La combustione di gasolio o di una miscela biocombustibile/gasolio in un motore diesel produce oltre un migliaio di composti più o meno pericolosi per l'ambiente e per l'uomo. La composizione di tale mix varia sensibilmente sotto l'influsso di diversi fattori, pertanto una trattazione tecnica esaustiva richiederebbe molto spazio ed esula dalle finalità di questo lavoro.

a scapito della frazione carboniosa, nonché una riduzione della granulometria che rende il particolato più facilmente inalabile.

Per quel che riguarda l'azoto lo studio ha evidenziato un aumento lineare delle emissioni di NO_x proporzionale alla percentuale del combustibile di origine vegetale miscelato. Questo effetto si è riscontrato sia con il bio-estere miscelato a diesel ad alto contenuto di zolfo che con quello a basso contenuto di zolfo. Va comunque sottolineato che, con miscele fino al 30% di BioDiesel, l'aumento delle emissioni di NO_x è contenuto e non supera il 6-7% rispetto alle emissioni del diesel fossile.

Nella figura 1 e nella figura 2 sono riassunti gli effetti sulle emissioni regolamentate e sulla mutagenicità del particolato all'aumentare della quota di bio-estere miscelata con il diesel.

Figura 1 Effetti del BioDiesel sulle emissioni allo scarico



EN590: diesel conforme alla norma EN590

RFD: Swedish Environmental Class 1 diesel fuel. Diesel con contenuto di zolfo <10 ppm

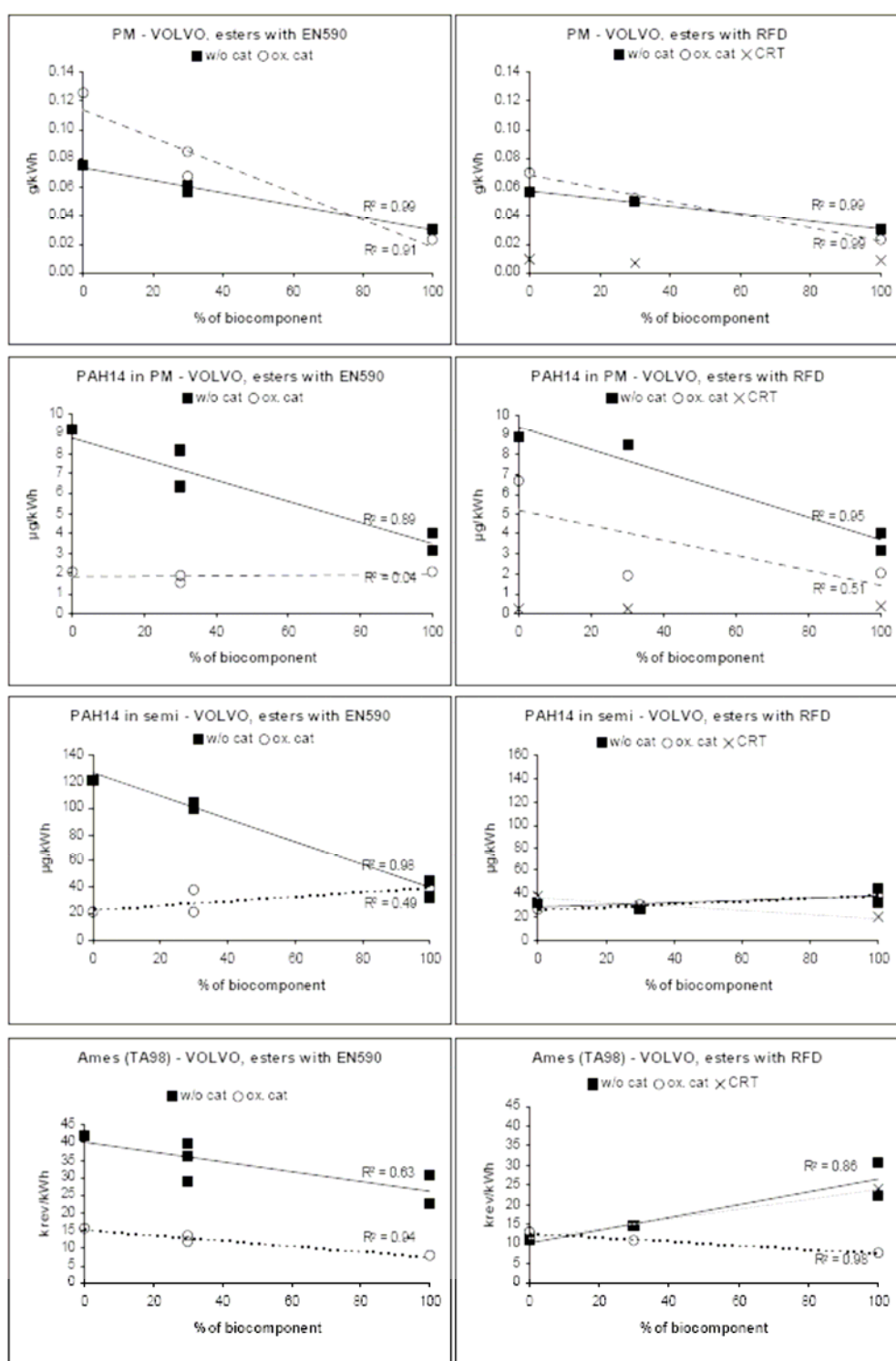
W/O cat: senza catalizzatore

OX cat: con catalizzatore ossidante

CRT: Continuously Regenerating Trap

Fonte: VTT, 2000

Figura 2 Gli effetti del BioDiesel sulle emissioni di PM e PAH e sulla mutagenicità (test Ames) del particolato



Esters: Biodiesel

EN590: diesel conforme alla norma EN590

RFD: Swedish Environmental Class 1 diesel fuel. Diesel con contenuto di zolfo <10 ppm

W/O cat: senza catalizzatore

OX cat: con catalizzatore ossidante

CRT: Continuously Regenerating Trap

Ames (TA98): Test di mutagenicità condotto su batteri

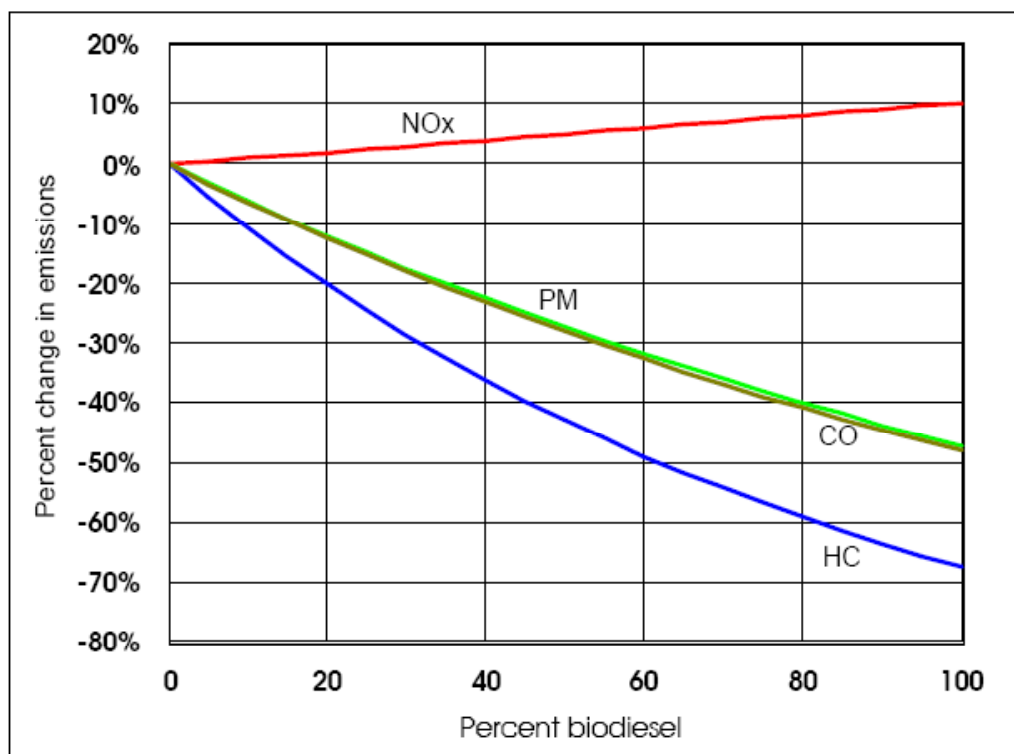
PAH14 in PM: Polifenoli aromatici presenti nel particolato

Fonte: VTT, 2000

L'EPA in uno studio titolato "A Comprehensive Analysis of BioDiesel Impacts on Exhaust Emissions" (EPA420-P-02-001 October 2002) arriva a risultati analoghi ed evidenzia le correlazioni tra quantità di BioDiesel usato in miscela con il diesel tradizionale e le emissioni degli inquinanti nei gas esausti dei motori.

La Figura 3 mostra una sintesi dei risultati che sostanzialmente indicano una diminuzione generalizzata degli inquinanti ad eccezione degli NOx che aumentano fino al 10% rispetto al diesel convenzionale.

Figura 3 Variazione delle emissioni di inquinanti in relazione alla quota di BioDiesel



Fonte EPA, 2002

3.2 Emissioni non regolamentate

Le emissioni di gas ad effetto serra derivate dall'utilizzo dei biocombustibili sono da tempo oggetto di studi che comprendono non solo la fase di combustione ma si estendono all'intero ciclo di vita utilizzando la metodologia LCA (Life Cycle Assessment).

In questo campo, recentemente (2004), è stato svolto uno studio da JRC/EUCAR/CONCAWE per conto della Commissione Europea nel quale sono stati comparati, in termini di costo e di CO₂ evitata, differenti biocombustibili considerando l'intero ciclo di vita "well to wheels", ovvero dal pozzo alle ruote.

I risultati hanno mostrato che tutti i biocombustibili contribuiscono ad evitare delle quote variabili di emissione di gas serra a seconda della tecnologia utilizzata per la loro produzione e per il loro utilizzo. Il biocarburante più vantaggioso è risultato comunque il bio-metano derivato dalla digestione anaerobica dei rifiuti e dei reflui zootecnici, in quanto il suo utilizzo ne evita l'immissione in atmosfera.

4. Confronto con le emissioni dei combustibili fossili nel Trasporto Urbano: il Caso di Roma.

Il trasporto pubblico locale di Roma è gestito da due società Trambus e SITA, che si avvalgono di una flotta di oltre 2700 autobus. La flotta è composta da motorizzazioni diesel con standard emissivi differenti alle quali si aggiungono 63 mezzi a zero e a basse emissioni.

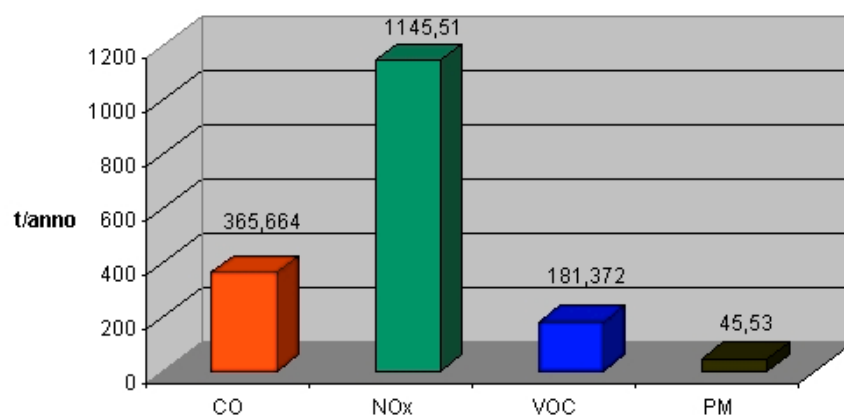
Tabella 2 Composizione Flotta ATAC

Standard emissivo	N. Bus
EURO 0	474
EURO 2	853
EURO 3	1130
EURO 3 + CRT	254
	2711

Fonte: Elaborazione su dati ATAC, 2005

L'ATAC, utilizzando la metodologia COPERT III, ha effettuato una stima delle emissioni della flotta di autobus alimentata a gasolio. Poiché, come è stato detto, le emissioni in atmosfera sono fortemente influenzate dalla tipologia di motorizzazione, è stato ripartito il volume di km percorsi nel 2004 dalle vetture, in base alle diverse classi di omologazione. Partendo da questi dati i responsabili ATAC hanno potuto effettuare una stima delle emissioni degli inquinanti regolamentati.

Figura 4 Emissioni inquinanti flotta ATAC – Stima Anno 2004



Fonte: ATAC, 2005.

Purtroppo, il modello COPERT III non contempla i biocombustibili tra le categorie dei combustibili per autotrazione; per poter ottenere dei risultati confrontabili, una volta sostituita una quota dei

combustibili fossili, sarebbe necessaria una calibrazione dei parametri di input del programma che consideri la variazione delle caratteristiche chimico-fisiche dei carburanti in seguito alla miscelazione e la costruzione di curve di emissione a caldo ed a freddo per i motori⁴.

Al momento la mancanza di questi dati rende inutilizzabile la metodologia COPERT III per stimare l'effettiva riduzione delle emissioni della flotta ATAC conseguente all'utilizzo di biocombustibili. Comunque, per stimare almeno l'ordine di grandezza delle emissioni che verrebbero evitate, si può pensare di applicare a questi dati i valori di riduzione calcolati su una miscela al 20% di Bio-Diesel, quali indicati nello studio dell'EPA citato precedentemente ed illustrati nella Figura 3.

Tabella 3 Stima emissioni evitate con miscela di BioDiesel al 20%

	NOx	VOC	CO	PM
Emissioni (t)	+ 23	- 38,2	- 40,2	- 4,59
% sul totale	+ 2%	-21,1%	-11%	-10, 1%

Nel 2004 i mezzi pubblici del comune di Roma hanno percorso 132,6 milioni di Km utilizzando tutti Diesel a basso contenuto di zolfo (Dati ATAC, 2005).

Considerando per Roma un consumo medio dei bus di 60,2 l/100 km (Spazzafumo, 2004) si arriva a stimare il fabbisogno medio annuo di gasolio ovvero 66.654 t/anno. Tenuto conto del diverso contenuto energetico dei combustibili sarebbero necessarie 15.190 t/anno di BioDiesel per garantire la quota per la miscelazione al 20% con il gasolio fossile.

Tabella 4 Stima consumo carburante della flotta

Percorrenza km vettura/anno	Consumo medio autobus l/100 km	Consumo medio annuo (t)	BioDiesel miscela al 20% (t)	Superficie necessaria (ha)
132.600.000	60,2	66.654	15.190	15000

La sostituzione di un kg di gasolio con circa 1,13 kg di BioDiesel (quantità equivalente in termini energetici) comporta il risparmio di una quantità di anidride carbonica variabile da 2,4 kg a 3,2 kg (CTI,2000) quindi l'utilizzo di BioDiesel al 20% nel trasporto pubblico di Roma porterebbe a una riduzione di CO₂ eq variabile tra 36.500 t/anno e 48.600 t/anno.

5. Quantità di Bio-Combustibili disponibili localmente

Biocombustibili liquidi

Il Comune di Roma ha stipulato un Protocollo d'intesa con la Federazione Provinciale Coldiretti per la promozione e l'impiego dei biocombustibili.

L'obiettivo è quello di destinare a colture per fini energetici 10.000 ha della Regione Lazio nell'anno 2007 attraverso un progetto pilota ed arrivare a 100.000 ha nell'anno 2008. Tra le priorità del protocollo si fa riferimento proprio allo studio delle problematiche connesse con l'uso dei biocombustibili nelle flotte di proprietà delle amministrazioni pubbliche.

Considerando la produzione media per il territorio Italiano, la superficie dedicata a colture energetiche per il 2007 potrebbe produrre 10.000 t di BioDiesel; dunque sufficienti a coprire i 2/3 della domanda di BioDiesel per il trasporto pubblico.

⁴ Attualmente è in fase di sviluppo la nuova versione COPERT IV che considera tali nuove tematiche.

Biocombustibili gassosi

Attualmente nella discarica di Malagrotta è presente già un impianto di produzione di bio-metano che tratta 1000 Nm³/h per produrre circa 400 Nm³/h di bio-metano. Questo combustibile alimenta una flotta di 20 autocompattatori.

Un'ulteriore sviluppo nella produzione di biogas per la produzione di energia e di bio-metano per autotrazione è legato a una diversa gestione dei rifiuti. Dati AMA indicano una percentuale del 25% di frazione organica nel rifiuto indifferenziato che finisce nella discarica di Malagrotta; una migliore organizzazione della raccolta differenziata dell'umido con l'intercettazione di una quota dell'organico del 20% potrebbe alimentare uno o più impianti di digestione anaerobica capaci di produrre il biogas sufficiente per una flotta di 200-260 autobus urbani, assumendo una percorrenza media degli autobus di 48.500 km/anno ed un consumo medio per bus di 22 MJ/km (VTT,2005).

Tabella 5 Frazione Organica Disponibile nei RSU di Roma

RSU Indifferenziati t/anno	Contenuto di Frazione Organica % FO	Frazione Organica t/anno	% Raccolta Differenziata FO	Frazione Organica disponibile t/anno
2147397	25	536849,25	20	107369,85

Fonte: Elaborazione su dati APAT, AMA.

Tabella 6 Produzione Teorica media di Bio-metano da impianti di Digestione Anaerobica in base ai dati della Tabella 5

Produzione di BIO-CH ₄				
Tipologia Digestore	Produzione di Biogas Nm ³ /t	Produzione Tot Nm ³ /anno	% CH ₄	Produzione di Bio-CH ₄ (Nm ³ /anno)
Dry (Sostanza Solida >20%)	130	13958080	55	7676944
Wet (Sostanza Solida <10%)	98	10522245	55	5787234

Fonte : Elaborazione APAT

Tabella 7 Energia fossile risparmiata in base all'ipotesi di produzione contenute in Tabella 6

PCI BIO-Metano MJ/Nm ³ (97% di CH ₄)	Energia Risparmiata MJ/anno	Diesel equivalente t/anno	Litri diesel
36,6	280976160	6689	8011867
	211812797	5043	6039715

Fonte: Elaborazione APAT

6. Utilizzo di dispositivi speciali per la riduzione di inquinanti

L'avanzamento tecnologico negli ultimi anni, oltre ad aver migliorato i sistemi di iniezione e controllo della combustione attraverso l'elettronica, ha prodotto dispositivi di post-trattamento dei gas di scarico capaci di abbattere alcune specie inquinanti.

I sistemi di abbattimento attualmente disponibili comprendono:

- catalizzatori a tre vie (TWC) di nuova generazione per auto a benzina e a gas
- catalizzatori ossidanti per motori diesel
- catalizzatori de-NOx
- filtri antiparticolato

Nello specifico i sistemi antiparticolato prevedono la rigenerazione, termica e/o catalitica e meccanica, che in parte può avvenire automaticamente durante il normale funzionamento del veicolo, semplificandone la manutenzione.

La rigenerazione termica può essere agevolata attraverso l'aggiunta di additivi nel combustibile finalizzata ad abbassare la temperatura di combustione del particolato.⁵

Questi dispositivi, normalmente presenti sui veicoli di recente immatricolazione, possono essere installati anche sui veicoli circolanti tramite operazioni di retrofit, ottenendo una riduzione delle emissioni di particolato e di altri inquinanti.

In Italia, nel 2002 l'ATM (Milano) ha avviato una sperimentazione sui filtri antiparticolato CRTTM (Continuously Regenerating Trap) per il retrofit di autobus equipaggiati con motori Euro 2, estendendola successivamente anche ad autobus con motori Euro 3 per un totale di 600 unità.

Il programma di sperimentazione prevedeva una collaborazione tra ATM ed Eni Tecnologie finalizzata a verificare, attraverso la simulazione del reale percorso di linea urbana di Milano su un banco a rulli, l'efficacia di tali dispositivi in funzione del chilometraggio percorso.

Secondo tale sperimentazione, il filtro utilizzato si è dimostrato efficace nell'abbattimento di CO, HC e PM (sia totale che PM_{2,5}) anche dopo 20.000 km di percorrenza. In assenza di filtro antiparticolato il PM_{2,5} ammonta a circa 85÷90% del PM totale, in accordo con dati di letteratura, mentre nei motori equipaggiati con filtro lo stesso si colloca intorno al 70% del PM totale.

Nel filtro CRTTM, la fuliggine prodotta viene bruciata in modo continuo a temperature comprese tra 200-450 °C. Il dispositivo filtrante, infatti, è in grado di ossidare in continuo, su catalizzatore ossidante (Pt), il particolato trattenuto da un filtro con passaggio del biossido di azoto (NO₂), a sua volta generato dall'ossidazione di una parte degli NO presenti nei gas di scarico.

In questo modo la massa del particolato emessa diminuisce fino al 95%.

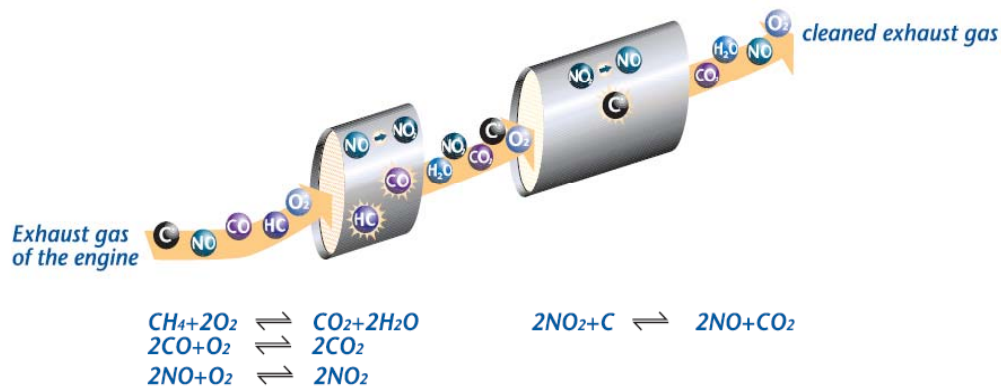
Va comunque sottolineato che l'adeguamento di questi mezzi comporta l'insorgere di alcune problematiche :

1. Per essere efficiente necessita di combustibile a basso tenore di zolfo (max 50 ppm).
2. Il funzionamento del filtro stesso porta ad un aumento, seppure contenuto, delle emissioni di NO₂ in quanto il catalizzatore ossidante muta il rapporto tra NO₂ e NO nel flusso dei gas di scarico. Purtroppo, l'NO₂ è 5 volte più tossico per le vie respiratorie rispetto all'NO.
3. Il filtro è soggetto comunque ad intasamento che può comportare un aumento della compressione dei gas di scarico con possibili ripercussioni sul buon funzionamento del motore.

⁵ La rivista dei combustibili. Vol. 56, fasc. 4-5, 2002

4. Sono necessari dei lubrificanti con caratteristiche di alta qualità. Infatti i pori dei filtri si intasano gradualmente a causa delle ceneri prodotte nella combustione dei componenti dell'olio motore (principalmente solfato di calcio e fosfato di zinco). Queste sostanze non vengono rimosse dai normali processi termici di rigenerazione dei filtri e continuano ad accumularsi nel filtro causando un aumento della contro-pressione seguita da un aumento del consumo di carburante⁶.

Figura 5 Schema di funzionamento del dispositivo CRT™



Fonte: HJS Fahrzeugtechnik GmbH & Co KG

7. Riscaldamento Domestico ed Acqua Calda Sanitaria: Solare Termico

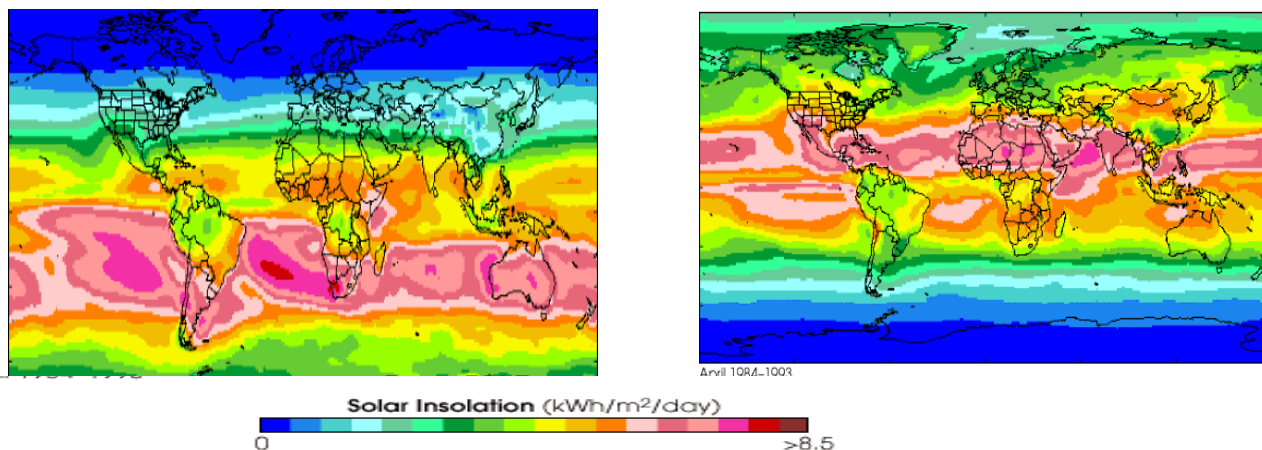
Nella utilizzazione del solare termico l'Italia, nonostante la favorevole posizione geografica, si trova al decimo posto fra i paesi dell'UE a 15, con solo 8 mq di collettori solari ogni mille abitanti, rispetto ad una media europea di 31 mq.

Oltre l'80% di tali collettori si trovano in Austria, Germania e Grecia, con una recente rapida crescita in Spagna. In particolare solo in Germania oltre 800.000 famiglie usano energia solare per riscaldare l'acqua per uso domestico.

La radiazione ha una componente diretta, costituita da quella parte di radiazione che non ha subito la diffusione delle particelle presenti in atmosfera ed una diffusa, che giunge in maniera isotropica dal cielo. La sua densità può arrivare a 1.000 W/m² (nelle giornate di cielo sereno); la radiazione solare resta la fonte energetica più abbondante e pulita sulla superficie terrestre e la sua distribuzione è visualizzata nelle due mappe sottostanti.

Figura 6 Distribuzione intensità radiazione solare a Gennaio ed Aprile

⁶ Inoltre, la parziale combustione degli oli lubrificanti contribuisce ad aumentare la frazione organica solubile del particolato, con formazione di aldeidi, IPA, ecc.



Fonte World Energy Council (WEC)

Come si vede la disponibilità di energia solare non dipende solo dalla latitudine ma anche dalla stagione.

Il rendimento dei pannelli solari è aumentato nell'ultimo decennio, rendendo commercialmente competitive varie applicazioni nell'edilizia, nel terziario e nell'agricoltura. L'applicazione più comune è il collettore solare termico utilizzato per scaldare acqua sanitaria. Un metro quadrato di collettore solare può scaldare una quantità di acqua tra 40 e 300 litri in un giorno ed a 45÷60 °C a seconda dell'efficienza di trasformazione dell'energia radiante del sole in energia termica, che varia con le condizioni climatiche e con la tipologia di collettore tra 30% e 80%.

La tecnologia è quella dei collettori piani che consistono in una serpentina di rame o un fascio di tubi disposti in parallelo che vengono posti a contatto mediante saldatura metallica con una lastra annerita. All'interno della serpentina (o dei tubi) scorre un fluido che assorbe il calore della lastra riscaldandosi e trasportando il calore alle utenze.

Per ottimizzare il riscaldamento del fluido la serpentina viene separata dall'atmosfera tramite una lastra di vetro: è fondamentale per il rendimento che l'aria sigillata all'interno del collettore sia completamente secca (si deve assolutamente evitare la formazione di condensa) per evitare le perdite per conduzione e convezione.

Tale tecnologia è impiegata immediatamente per il riscaldamento di acqua e ambienti domestici ed utilizza sia la componente diretta che quella diffusa della radiazione solare.

L'Italia offre condizioni meteorologiche molto favorevoli all'uso dell'energia solare; il valore di insolazione è compreso tra 1.200 (Nord) e 1.750 (Sud) kWh/m² all'anno.

Nonostante una differenza tra nord e sud intorno al 40 %, l'irraggiamento incidente su un m² rimane comunque maggiore del fabbisogno termico annuo pro capite necessario alla preparazione di acqua calda nel residenziale.

A queste condizioni un impianto solare standard consente di risparmiare fino all'80 % dell'energia necessaria per la preparazione di acqua calda e fino al 40 % della domanda complessiva di calore per l'acqua calda e il riscaldamento degli ambienti.

La produzione di acqua calda sanitaria è uno dei modi più semplici di utilizzare il solare termico, ottenendo rilevanti vantaggi dal punto di vista del risparmio energetico, della riduzione dei gas ad effetto serra e dell'inquinamento atmosferico.

Il Ministero dell'Ambiente ha diffuso alcuni calcoli relativi ad un progetto per soddisfare il fabbisogno di acqua calda sanitaria di una famiglia di quattro persone; si considera una necessità pro capite di 60 litri di acqua al giorno, da portare dai 15 °C dell'acquedotto a 45 °C, con un utilizzo di calore di 1.500 kcal/giorno-pro capite; si quantificano in:

- 4.249 kcal/giorno-pro capite, la corrispondente quantità di energia che deve essere spesa nella centrale termoelettrica, nel caso di scaldabagno elettrico, sulla base del rendimento dello scaldabagno, del parco elettrico italiano e delle perdite lungo la rete di distribuzione; il rendimento finale risulta del 35%;

- 1.875 kcal/giorno-pro capite, nel caso di utilizzo di una caldaia a gas, nel caso peggiore di rendimento della stessa pari all'80%;
- 748 kcal/giorno pro-capite, nel caso di caldaia integrata da collettori solari.

Nelle figure sono riportati alcuni esempi di impianti solari realizzati in Europa, che mostrano chiaramente come questa tecnologia sia applicabile sia ad edifici di piccole e grandi taglie ad uso sia residenziale e/o alberghiero (ma anche aziendale e pubblico), sia ad interi distretti come nel caso del Marstal in Danimarca, che è il più grande distretto europeo alimentato ad energia solare.

Figura 7 Esempi di applicazioni del solare termico



a) L'impianto solare per il riscaldamento di un distretto più grande d'Europa misura 20.000 m²; Marstal, Denmark – ESTIF



b) Impianto di riscaldamento solare e a Biomasse, 4.900 m², Aeroeskov, Denmark – ESTIF



c) L'impianto solare per il riscaldamento di una piscina – ESTIF



d) Impianto di riscaldamento in un albergo-ESTIF



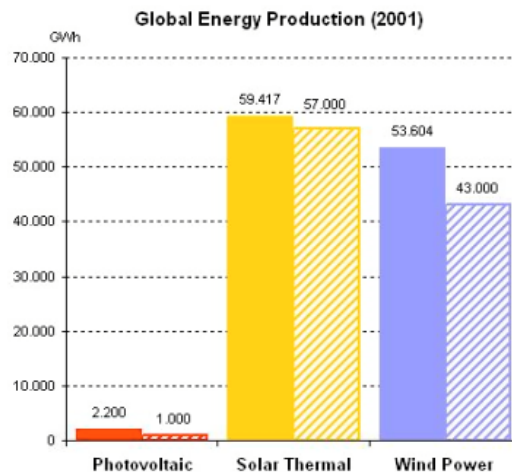
e) Impianto solare per il riscaldamento in caso di impiego in piccoli edifici residenziali – ESTIF



f) Impianto solare impiegato per il riscaldamento di grandi edifici residenziali – ESTIF

La figura seguente mette in evidenza il grado di maturità della tecnologia dei collettori solari, paragonabile a quella eolica, e mostra quanto ancora deve crescere invece il settore del foto-voltaico

Figura 8 Confronto tra diverse tecnologie rinnovabili in termini di produzione energetica globale



Per ciascuna delle tecnologie considerate la colonna di sinistra rappresenta la stima effettuata dalla relativa Associazione Industriale Europea (EPIA per il PV, ESTIF per il solare termico and EWEA per l'eolico), mentre quella di destra mostra la stima effettuata dal'UNDP (United Nations Development Programme) – fonte ESTIF.

Essendo l'energia solare una fonte aleatoria sulla superficie terrestre, i collettori solari termici vanno realisticamente considerati integrativi rispetto alle tecnologie tradizionali; essi vanno quindi considerati capaci di fornire direttamente solo parte dell'energia necessaria all'utenza, energia che altrimenti dovrebbe essere prodotta dalla caldaia tradizionale.

La percentuale di energia termica prodotta annualmente da un collettore solare termico rispetto al fabbisogno termico degli utenti prende il nome di fattore di copertura del fabbisogno termico annuo; a Roma, per un sistema che ottimizzi il rapporto costi/energia prodotta, questo fattore non supera il 65%.

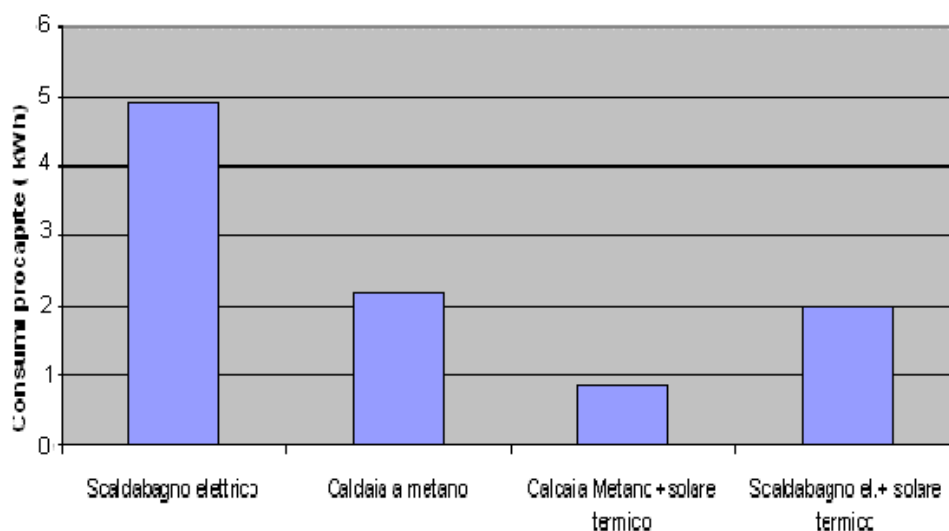
Questo limite è comune a moltissime tecnologie basate su fonti rinnovabili, il più delle volte caratterizzate da disponibilità aleatoria o periodica. A causa di ciò, con il crescere delle dimensioni dell'impianto, cresce il fattore di copertura del carico termico, ma la relazione tra il costo dell'energia e l'energia prodotta resta lineare fino al 55%÷60%.

Superato questo valore, il costo continua ad aumentare linearmente con le dimensioni dell'impianto, mentre l'energia prodotta aumenta meno rapidamente, il che si traduce in un maggiore costo dell'unità di superficie di collettore.

E' per questo motivo che un collettore solare termico per la produzione di acqua calda sanitaria dimensionato correttamente viene progettato per soddisfare il 60÷65% del fabbisogno termico.

La figura seguente mostra il confronto tra il fabbisogno energetico necessario per la produzione di acqua calda sanitaria mediante scaldabagno elettrico, caldaia a gas, sistema caldaia gas/collettore solare termico sistema scaldabagno elettrico/collettore solare termico, ferme restando le ipotesi sopra enunciate ed il quantitativo pro-capite di acqua necessaria.

Figura 9 Consumo energetico in rapporto alla tecnologia utilizzata



Fonte: ISES

Si osserva che nel passaggio dalla soluzione con scaldabagno elettrico a quella con caldaia a gas integrata da collettori solari, il consumo energetico pro-capite passa da 4,93 a 0,87 kWh.

E' il caso più interessante, dunque, che porta ad una riduzione dell'82% del consumo energetico, a parità di servizio reso.

Le migliori garanzie per il buon funzionamento di un impianto sono, oggi come in passato:

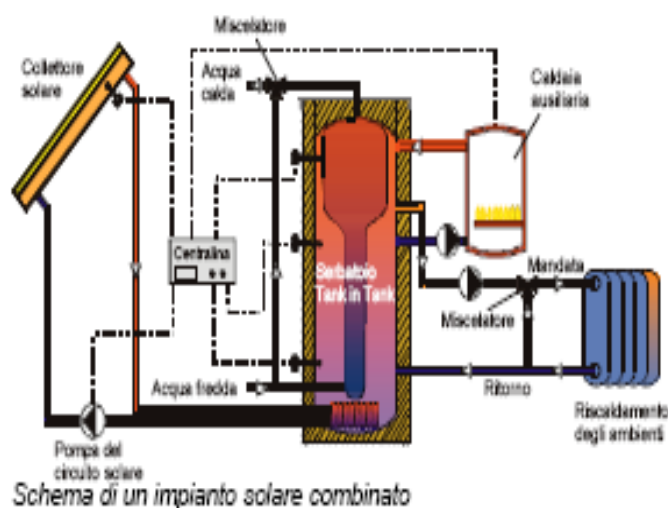
- Componenti solidi e di buona qualità
- Schemi di impianto comprovati e più semplici possibile (tenere conto dei consigli dei produttori)
- Evitare di sovradimensionare i collettori
- Installazione appropriata (coibentazione)

Il mercato offre una grande varietà di tipologie di impianti solari combinati.

L'accumulo tampone è l'unità termica centrale e come tale viene integrata nell'impianto di riscaldamento. Per portare a regime termico l'accumulo tampone, l'impianto solare riscalda la parte inferiore del serbatoio, mentre la caldaia e altri eventuali generatori di calore vengono collegati alla parte superiore.

Il circuito di riscaldamento è allacciato direttamente al serbatoio, mentre l'acqua sanitaria viene fornita attraverso la miscelazione con acqua fredda.

Figura 10 Schema di un impianto solare combinato



Il compito di un impianto combinato è quello di fornire contemporaneamente calore a diverse temperature, da una parte al circuito dell'acqua sanitaria, dall'altra a quello del riscaldamento.

Per questo è possibile operare con due diversi serbatoi, ma la maggior parte dei produttori ricorrono a sistemi integrati con un serbatoio centrale.

Questi sistemi sfruttano il fenomeno della stratificazione termica dell'acqua. Una buona stratificazione si ripercuote positivamente sul funzionamento e sull'efficienza di un impianto solare.

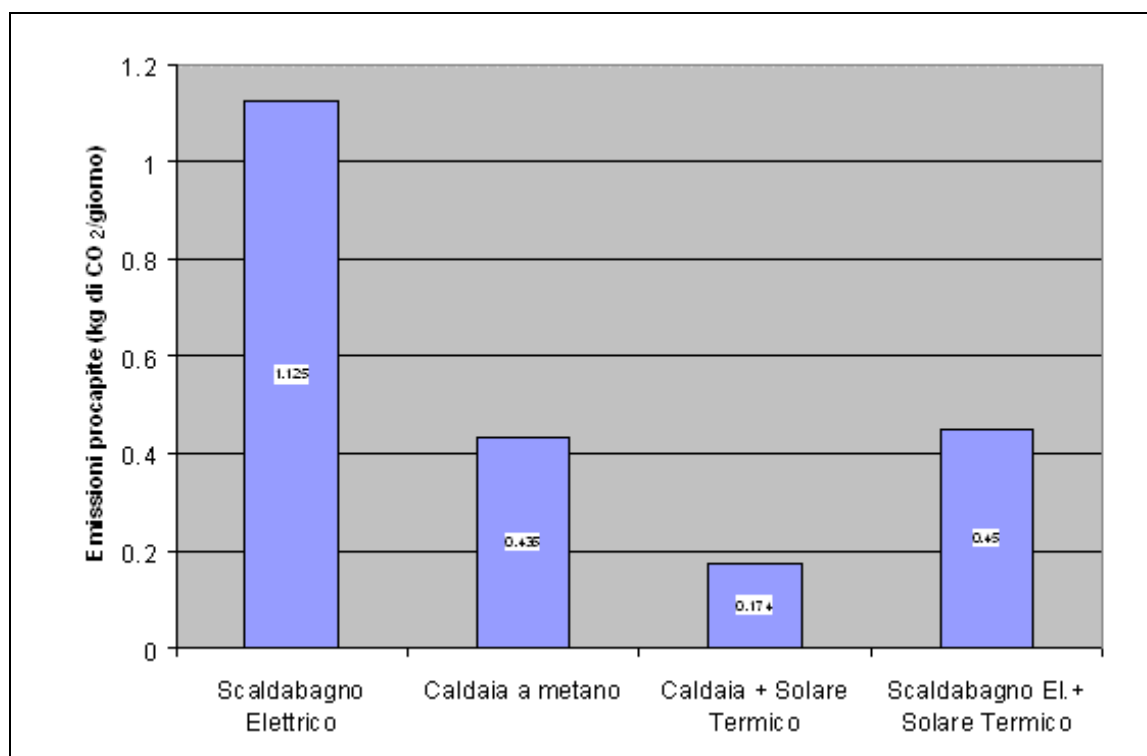
Le principali caratteristiche degli impianti sono rappresentate dal tipo di serbatoio, dalla gestione del sistema e dall'integrazione dei componenti.

Un vantaggio degli impianti combinati è dato dal serbatoio tampone, che permette anche un migliore funzionamento della caldaia. La caldaia non è, infatti, costretta ad accendersi continuamente a ogni minima richiesta di calore: è sufficiente che essa riscaldi tutta la parte superiore dell'acqua nel serbatoio tampone - la prima a essere erogata - e quindi può spegnersi per un lungo periodo.

Le emissioni di gas ad effetto serra per gli scaldabagni elettrici sono di 1,125 kg CO₂/giorno pro-capite, a fronte di 0,436 kg CO₂/giorno pro-capite per caldaia a metano, di **0,174 kg CO₂/giorno pro-capite per un impianto ibrido solare/gas** e di 0,45 kg CO₂/giorno pro-capite per un impianto ibrido solare/scaldabagno elettrico.

La figura seguente rappresenta una stima delle emissioni di CO₂ generate nelle diverse tipologie di impianti (fonte ISES):

Figura 11 Stima delle emissioni di CO₂ generate nelle diverse tipologie di impianti



Fonte: ISES

Il mercato offre oggi impianti combinati a costi compresi tra 750 e 1.000 €/m² di superficie di collettori, comprensivi di installazione e messa in opera.

Mediamente un impianto di 10 m² determina costi di investimento compresi tra 7.500 e 10.000 €

Il costo d'impianto dipende dal dimensionamento del sistema rispetto al fabbisogno termico totale, dalla integrazione con il sistema tradizionale e dal rapporto tra fabbisogno estivo ed invernale.

Il risparmio energetico annuo varia tra 306 kWh/m²-y e 729 kWh/m²-y.

Elevati risparmi per metro quadrato si raggiungono in particolare quando, oltre al fabbisogno per acqua calda, ne esiste uno ulteriore (per esempio una piscina).

8. Utilizzo del Solare Termico nelle Aree Urbane

Nella UE, un terzo del consumo complessivo di energia è dovuto ai consumi domestici (riscaldamento, condizionamento, illuminazione, alimentazione apparecchiature elettriche), responsabili di circa il 20% delle emissioni totali di gas serra ed inquinanti della stessa UE.

La maggior parte dell'energia consumata in casa serve per circa il 70% nel riscaldamento, il 18% per ottenere acqua calda ad uso sanitario e di cucina ed il 12% per l'illuminazione e l'alimentazione degli apparecchi elettrici.

Per esempio in Emilia-Romagna si consuma ogni anno energia per l'equivalente di circa 12.000.000 di tonnellate di petrolio, di cui 2.600.000 (oltre il 20%) sono destinate alla climatizzazione degli edifici civili.

In particolare, nelle abitazioni, il **riscaldamento degli ambienti** assorbe la quota più rilevante dei consumi di energia (70%), seguito dalla produzione di acqua calda ad uso sanitario e di cucina (20%) e dai consumi elettrici per elettrodomestici ed illuminazione (10%).

Attraverso un sistema di pannelli solari montati sulla superficie del tetto di un edificio si potrà produrre acqua calda e si può dunque calcolare la quota di energia termica che potrà essere ricavata e le quantità di emissioni evitate di gas serra ed inquinanti vari per la mancata combustione dei combustibili fossili utilizzati per il riscaldamento domestico e la produzione di acqua calda sanitaria.

A tal riguardo nell'Appendice vengono riportate le rispettive valutazioni.

9. Riscaldamento autonomo e soluzione con sistema centralizzato ibrido

Gli impianti al servizio degli appartamenti possono essere configurati come segue:

1. impianti monoblocco con pannelli solari e relativi accumulatori termici posti sul tetto e separati per ciascun appartamento, integrati da altrettante piccole caldaie poste negli appartamenti; non è una soluzione adeguata per i costi determinati dal notevole fascio di tubazioni (isolate termicamente) necessarie per collegare i singoli accumulatori termici ai vari appartamenti; inoltre ogni pannello solare fornisce energia ad un solo appartamento e, se questo è vuoto o con un numero di utenti inferiore a quello di progetto, il calore in eccesso non può essere utilizzato; infine per gli appartamenti lontani dal tetto è necessario attendere un certo tempo fra la richiesta di acqua calda e la sua erogazione;
2. sistema centralizzato di pannelli solari al servizio di tutto l'edificio collegati a due soli collettori, di adeguata dimensione, uno di andata ed uno di ritorno, cui attingono gli accumulatori termici posti nei vari appartamenti; ciascun accumulatore termico è integrato da una caldaietta e l'acqua calda è erogata rapidamente;
3. sistema centralizzato di pannelli solari al servizio di tutto l'edificio che forniscono di acqua calda un accumulatore di calore comune; a tale accumulatore attingono i vari appartamenti, ciascuno integrando il fabbisogno di calore con una specifica piccola caldaia;
4. sistema centralizzato di pannelli solari e caldaia centralizzata di riscaldamento.

Il metano è comunemente preferito agli altri fossili in quanto essendo quasi privo di zolfo, assicura condizioni ottimali di combustione e riduce le emissioni inquinanti.

L'ultimo schema d'impianto citato, appare in controtendenza rispetto agli altri in quanto la diffusione dell'uso del metano ha stimolato la realizzazione di impianti di riscaldamento e per acqua sanitaria unifamiliari, molto spesso rinunciando agli impianti centralizzati esistenti.

L'utilizzo di caldaie unifamiliari si basa principalmente su motivazioni economiche, in quanto ciascun appartamento è riscaldato in relazione al suo reale utilizzo.

Tale scelta impiantistica presenta dei punti di debolezza per i seguenti motivi:

- Un impianto di riscaldamento centralizzato può essere agevolmente dotato di misuratori delle calorie effettivamente consumate, capaci anche di consentire il contenimento dei consumi;
- Ogni appartamento scambia calore con gli appartamenti contigui e con l'esterno, causando in alcune situazioni un aumento dei consumi negli appartamenti con gli impianti in funzione.
- La combustione del gas nelle caldaie unifamiliari può avvenire in modo non ottimale sia a causa dei transitori determinati dai frequenti cicli di accensione e di spegnimento, sia a causa di un tiraggio non adeguato quando le canne fumarie, come accade nella maggior parte dei casi per impianti realizzati in edifici esistenti, non raggiungono l'altezza del tetto con l'inconveniente di una dispersione degli inquinanti non adeguata.
- Il rendimento delle caldaie diminuisce al diminuire della potenza installata.

Alle considerazioni di cui sopra si aggiungono quelle relative alla sicurezza. Infatti, in base al rapporto per il 2005 del Comitato Italiano Gas, le caldaie centralizzate a metano hanno determinato solo l'1,5% dei 202 incidenti da gas, le caldaie unifamiliari il 42,1% e gli scaldacqua il 23,3%.

10. Raffrescamento Edifici: Solare Termico

L'utilizzo del solare termico per il raffrescamento degli ambienti rappresenta una opportunità molto interessante in quanto in Europa circa il 30% del consumo di energia primaria è dovuto al riscaldamento e al condizionamento degli edifici; il condizionamento sta assumendo un ruolo sempre più rilevante, con una grande espansione del mercato dei condizionatori di piccola taglia (Room Air Conditioners – RAC). Tale fenomeno comporterebbe un consumo di energia primaria al 2020 pari a 4 volte quello del 1996.

Il mercato italiano di condizionatori di piccola taglia è il più vasto d'Europa e tale situazione amplifica il consumo energetico e, nei periodi estivi, il rischio di eventuali black-out indotti da condizioni meteorologiche avverse. Sembrano quindi necessari interventi regolatori del mercato del condizionamento e l'applicazione di misure per la riduzione del consumo.

La problematica è molto sentita a livello internazionale. Infatti l'Agenzia Internazionale per l'Energia (IEA) ha costituito la Task 25 SHC (Solar Heating and Cooling) per lo sviluppo di tecnologie di condizionamento dell'aria basate sullo sfruttamento dell'energia solare termica.

Vengono considerate tre tecnologie: ad assorbimento, ad adsorbimento e sistemi "Desiccant and Evaporative Cooling (DEC)".

Si tratta di tecnologie non semplici e non applicabili a sistemi di piccola capacità (rari i sistemi con capacità inferiore a 100 kW).

Tutte queste tecnologie possono utilizzare acqua calda a temperatura compresa fra i 60 e i 100 °C, fornita da solare termico convenzionale. Sono quindi tecnologie che una volta adeguatamente sviluppate risulteranno particolarmente adatte ad impianti centralizzati di riscaldamento e di raffrescamento.

11. Risparmio di combustibili fossili ed emissioni evitate

L'utilizzo dei Bio-Combustibili per il trasporto e del Solare Termico per il riscaldamento/raffrescamento degli edifici potrebbe evitare l'impiego di grandi quantità di combustibili fossili quali il gas naturale, il gasolio, le benzine, l'olio combustibile ed il carbone; questo contribuirebbe alla riduzione delle emissioni di gas serra e di sostanze inquinanti.

Le aree urbane potranno avere grandi vantaggi dalla sostituzione anche parziale dei combustibili utilizzati attualmente per il trasporto ed il riscaldamento/raffrescamento sia dal punto di vista energetico che da quello ambientale.

Per ottenere questi risultati il ciclo dei rifiuti urbani dovrà essere razionalizzato in modo che il Bio-Metano per il trasporto possa essere ottenuto dalla parte umida degli stessi rifiuti mentre la gassificazione della restante parte solida potrebbe contribuire al riscaldamento domestico ed alla produzione di elettricità ed acqua calda (co-generazione).

In futuro, anche l'utilizzo della tecnologia del Solare Foto-Voltaico per la produzione di energia elettrica potrà dare un contributo attraverso la generazione distribuita nel territorio (microgenerazione) recando vantaggi in termini ambientali in quelle zone di produzione posizionate all'interno di aree metropolitane.

La qualità dell'aria potrà migliorare in funzione del grado di sostituzione dei combustibili con fonti rinnovabili ma solo il suo monitoraggio continuo potrà quantificare meglio i vantaggi ambientali conseguiti attraverso politiche energetiche alternative ed incentivi fiscali.

Il **Municipio XV del Comune di Roma** ha già iniziato una politica di sostituzione dei fossili attraverso la progressiva installazione di pannelli solari negli Asili Nido ricadenti nel proprio territorio. Ha già quantificato l'apporto solare ed il risparmio di combustibile per la produzione di acqua calda sanitaria. In breve tempo procedendo su questa strada anche per altri edifici pubblici e coinvolgendo gli altri Municipi (20) che potranno adottare simili soluzioni, si avranno enormi vantaggi ambientali ed energetici.

Sempre a Roma opera una flotta dell'AMA (Azienda per la Raccolta Rifiuti) di 20 auto-compattatori a metano da circa 10 anni alimentati a Bio-Metano prodotto nell'impianto di Malagrotta (Municipio XV).

Gli **Enti Locali** hanno in mano la possibilità di migliorare la qualità dell'aria nelle loro rispettive aree metropolitane in quanto sovente gestiscono, tramite le loro municipalizzate, sia i Trasporti locali, sia la gestione dei Rifiuti Urbani (solidi ed umidi), sia la gestione della Depurazione delle acque reflue (fanghi di depurazione), sia la Generazione di energia elettrica ed anche termica (co-generazione).

Conclusioni

Si possono fare alcune considerazioni che indirizzano verso una scelta ben definita.

La disponibilità potenziale di Bio-Metano, derivato dal biogas di discarica controllata e da digestione anaerobica, potrebbe essere sufficiente a coprire il fabbisogno delle flotte urbane di autobus.

Sia le discariche che i reflui (urbani e zootecnici) sono comunque fonti di emissioni di gas clima-alteranti ed il loro impiego per fini energetici costituisce già di per sé un abbattimento dell'impatto ambientale.

In un confronto basato sui soli costi interni, il Bio-Metano fornisce una soluzione più economica sia rispetto al gasolio che rispetto al metano. Inoltre in un confronto basato sulle sole emissioni il Bio-Metano fornisce una soluzione certamente meno impattante rispetto al gasolio e mediamente meno impattante del metano.

Circa poi il confronto basato sulla monetizzazione delle emissioni, e quindi sul computo sia dei costi interni che di quelli esterni, il Bio-Metano risulta meno costoso sia del gasolio che del metano.

Infine la scelta di utilizzare quanto più possibile le discariche e gli allevamenti per recupero energetico sembra la più razionale per l'applicazione esaminata; un ulteriore vantaggio economico ed ambientale potrebbe essere ottenuto separando quindi la frazione organica umida degli RSU ed inviandola, compresi pure i fanghi di depurazione delle acque reflue, al processo di digestione anaerobica.

Analogamente l'utilizzo del solare termico per il riscaldamento domestico o per la produzione di acqua calda sanitaria, con la sostituzione del metano/olio combustibile, potrebbe contribuire alla riduzione degli inquinanti e dei gas serra.

Nel prossimo futuro è auspicabile l'avvio di una attività progettuale finalizzata alla razionalizzazione gestionale dei rifiuti urbani, dei fanghi di depurazione delle acque reflue e dei reflui zootecnici, con conseguente cessazione del conferimento in discarica dei RSU attraverso raccolta differenziata e separazione della parte solida ed umida dei rifiuti.

Successivamente, potranno essere utilizzate tecnologie di gassificazione della parte solida degli RSU, attraverso gassificatori avanzati (doppio stadio) che produrranno un Syngas (miscela di H_2 e CO), con basso tenore di catrame (tar).

Tale syngas potrà essere utilizzato in sistemi energetici co-generativi (uso contemporaneo di energia elettrica e termica) aiutando così l'attuale sistema energetico attraverso la generazione di elettricità distribuita nel territorio metropolitano, anche con la distribuzione di acqua calda per riscaldamento domestico ed acqua sanitaria, che si aggiunge così a quella che si può produrre con il solare termico.

La parte umida dei rifiuti potrà essere utilizzata nei Reattori di Digestione anaerobica per la produzione di Biogas (miscela di CH_4 e CO_2) da utilizzare per alimentare le flotte di autobus pubblici nelle aree metropolitane con il Bio-Metano.

Gli impianti di cui sopra potranno nascere così nelle periferie non abitate delle rispettive aree metropolitane, con possibile riduzione anche dei problemi di inquinamento prodotto per la raccolta dei rifiuti.

In questo modo si ha la possibilità di utilizzare correttamente le risorse basate soprattutto sui rifiuti e reflui (urbani e zootecnici) e si potrà dare una risposta sia alla riduzione dei gas serra che a quella degli inquinanti nei territori metropolitani.

Occorrerà però realizzare le rispettive reti di distribuzione del Biogas e dell'energia elettrica e termica prodotti partendo dalle zone periferiche, dove saranno localizzati gli impianti di trasformazione ed energetici, e verso le zone urbanizzate utilizzando nelle aree urbane anche le tecnologie "no-dig" (senza necessità di realizzare scavi e trincee nel terreno) con grande riduzione di inquinamento.

Bibliografia

- A Comprehensive Analysis of BioDiesel Impacts on Exhaust Emissions Technical Report - (EPA420-P-02-001), October 2002.
- ATAC spa. Relazione Annuale del Comune di Roma Anno 2004/2005 "Trasporto Pubblico Investimenti e Progetti per l'Ambiente".
- Attività PROBIO della Regione Lombardia. Allegato 2: Aspetti legislativi, tecniche ambientali del Biodiesel e dell'ETBE. A cura di Regione Lombardia, Comitato Termotecnico Italiano. Gennaio 2004.
- Biofuels in the European Union A vision for 2030 and beyond – Final draft report of the Biofuels Research Advisory Council – 2006
- Biogas as Vehicle Fuel -A European Overview. Trendsetter Report No 2003:3. Stockholm, October 2003.

- Bus Emission Evaluation: 2002 – 2004 Summary Report; N. Nylund and K. Erkkila, VTT Processes, Finland 2005
- Caserini S. et al. “Relazione tecnico-scientifica: emissione di inquinanti dalla combustione in impianti termici civili” Rapporto ARPA Lombardia – Settore Aria, Allegato n. 1 alla D.G.R. VII/17533 del 17/05/2004, B.U.R.L. 2° supplemento straord. al n. 22 del 27 maggio 2004.
- Direttiva 1998/69/CE
- Direttiva 1999/96/CE
- Direttiva 2003/17/CE
- Direttiva 98/70/CE
- EUBIONET.Liquid Biofuels Network Activity Report.France, April 2003.
- EUCAR, JRC and CONCAWE 2004 . Well to well analysis of future automotive fuels and powertrains in the European context.
- F. Avella. “Le nuove tecnologie per la riduzione delle emissioni degli autoveicoli” – 1 ° CONVEGNO NAZIONALE SUL PARTICOLATO ATMOSFERICO Università di Milano Bicocca 12 —14 maggio 2004
- Giovanni F. De Santi, Giorgio Martini . L’inquinamento da traffico e prospettive future – Ispra (VA), Italia
- Giuseppe Spazzafumo. Stato dell’Arte sulla Produzione ed Utilizzo di Biocombustibili: Metanolo, Etanolo, Biodiesel e Biogas per il Trasporto Urbano in Sostituzione delle Fonti Energetiche Fossili. Relazione APAT 04-RIS-4141
- Il contenimento delle emissioni tramite sistemi di post trattamento fumi. L’esperienza di ATM S.p.A., Lucio Bozzetti, Giornata di Studio “Circolazione dei mezzi pesanti in area urbana: fattori di emissione, ipotesi di intervento e soluzioni” Bologna, 13 novembre 2003.
- ISES ITALIA - Sezione della International Solar Energy Society
- Jerry D. Murphy - Anaerobic digestion and biogas - Composting conference - 5 Maggio 2005, Portlaoise.
- La rivista dei combustibili. Vol. 56, fasc. 4-5, 2002
- Protocollo d’intesa per la produzione e l’impiego dei biocombustibili tra Comune di Roma e Federazione Provinciale Coldiretti Roma.
- Research Report ENE5/33/2000. IEA/AMF Annex XIII: EMISSION PERFORMANCE OF SELECTED BIODIESEL FUELS-VTT’s CONTRIBUTION. Espoo, October 2000.
- Solar Combi-Systems - Impianti solari termici per il riscaldamento dell’acqua calda sanitaria e degli ambienti; Ambiente Italia
- Tendenze oli lubrificanti per autovetture ed autocarri, L.Carcano – PA SERVICE Srl, AMME – ASMECCANICA, Napoli 21 Maggio 2004.

Bibliografia web:

- ❑ <http://europa.eu.int>
- ❑ <http://www.ambienteitalia.it/solare/fsprogetti.htm> Ambiente Italia srl – Istituto di Ricerche
- ❑ <http://www.estif.org/1.0.html> European Solar Thermal Industry Federation
- ❑ <http://www.iea-shc.org/> International Energy Agency (IEA)
- ❑ <http://www.isesitalia.it/homed.html>
- ❑ <http://www.paesedelsole.org>
- ❑ <http://www.swt-technologie.de/html/negst.html>
- ❑ www.cti2000.it
- ❑ www.romaperkyoto.org
- ❑ www.unione petrolifera.it

Lista Tabelle e Figure

[Tabella 1 Componenti del biogas dannosi per i motori e relativi sistemi di trattamento](#)

[Tabella 2 Composizione Flotta ATAC](#)

[Tabella 3 Stima emissioni evitate con miscela di BioDiesel al 20%](#)

[Tabella 4 Stima consumo carburante della flotta ATAC](#)

[Tabella 5 Frazione Organica Disponibile nei RSU di Roma](#)

[Tabella 6 Produzione Teorica media di Bio-metano da impianti di Digestione Anaerobica in base ai dati della Tabella 5](#)

[Tabella 7 Energia fossile risparmiata in base all'ipotesi di produzione contenute in Tabella 6](#)

[Figura 1 Effetti del BioDiesel sulle emissioni allo scarico](#)

[Figura 2 Gli effetti del BioDiesel sulle emissioni di PM e PAH e sulla mutagenicità \(test Ames\) del particolato](#)

[Figura 3 Variazione delle emissioni di inquinanti in relazione alla quota di BioDiesel](#)

[Figura 4 Emissioni inquinanti flotta ATAC – Stima Anno2004](#)

[Figura 5 Schema di funzionamento del dispositivo CRTTM](#)

[Figura 6 Distribuzione intensità radiazione solare a Gennaio ed Aprile](#)

[Figura 7 Esempi di applicazioni del solare termico](#)

[Figura 8 Confronto tra diverse tecnologie rinnovabili in termini di produzione energetica globale](#)

[Figura 9 Consumo energetico in rapporto alla tecnologia utilizzata](#)

[Figura 10 Schema di un impianto solare combinato](#)

[Figura 11 Stima delle emissioni di CO₂ generate nelle diverse tipologie di impianti](#)

Appendice

Energia solare termica ottenibile ed emissioni di gas serra ed inquinanti evitate

La potenza ottenibile dai pannelli solari è (media Estate – Inverno) circa il 40% della radiazione solare incidente (mediamente circa **1.000 W/m²**).

Con **400 W/m²** sarà possibile riscaldare acqua per uso sanitario e di cucina per una abitazione di 100 m² (con 25 m² di pannelli solari) attraverso la potenza di 10 kW; in 6 ore di insolazione al giorno si potrà ottenere **60 kWh/d** di energia.

Con tale energia si potrà riscaldare circa **1,50 m³/d** di acqua a circa 50 °C assumendo la temperatura dell'acqua in ingresso a 15 °C ($\Delta T=35^{\circ}\text{C}$).

Una famiglia di 4 persone, in una abitazione di **100 m²**, consuma in media **240 litri** di acqua calda al giorno (circa **60 l** di acqua calda al giorno/persona); l'energia consumata sarà quindi:

$$240 \text{ kg} \times 1,0 \text{ kcal/kg}^{\circ}\text{C} \times 35^{\circ}\text{C} = \mathbf{9,75 \text{ kWh/d}}$$

A fronte di un consumo medio giornaliero di circa **10 kWh/d**, per produzione di acqua calda per usi sanitari e domestici, la rimanente quota **50 kWh/d** potrà essere utilizzata per il riscaldamento domestico.

Nel periodo invernale le ore di insolazione media giornaliera si aggirano sulle **6 ore/d**, per cui nei sei mesi (**180 d**) di riscaldamento si potranno utilizzare (sempre per una abitazione di 100 m², con 25 m² di pannelli solari e con 400 W/m² di radiazione solare incidente), mediamente:

$$0,40 \text{ kW/m}^2 \times 25 \text{ m}^2 \times 6\text{h/d} \times 180\text{d} = \mathbf{10.800 \text{ kWh}}$$
 (energia solare termica disponibile nei 180d)

$$10 \text{ kWh/d} \times 180\text{d} = \mathbf{1.800 \text{ kWh}}$$
 (consumo medio di energia per acqua calda-sanitaria nei 180d)

$$10.800 \text{ kWh} - 1.800 \text{ kWh} = \mathbf{9.000 \text{ kWh}}$$
 (energia disponibile per il riscaldamento nei 180d).

Per il riscaldamento di una abitazione di 100 m², con un buon isolamento termico e considerando mediamente 10 ore di riscaldamento al giorno, occorrerà un fabbisogno di **100 kWh/d** (10kWx10h/d); il solare termico potrà dare un contributo pari a circa **50 kWh/d** (9.000 kWh/180d), cioè circa il 50% del fabbisogno termico necessario per il riscaldamento domestico.

Dato che l'impianto solare integra il sistema di riscaldamento al **50%**, il consumo totale **annuo** di energia termica nelle abitazioni che hanno un buon isolamento termico delle pareti perimetrali, si aggira in media sui **215 kWh/m²-y** [(10 kWh x 365d + 100 kWh/d x 180d) / 100 m²].

Per cui in un anno il solare contribuirà per **12.650 kWh/y** [(1.800 kWh/180d x 365d =) **3.650 kWh/y**, produzione di acqua calda-sanitaria, e **9.000 kWh**, integrazione riscaldamento domestico].

Essendo il fabbisogno totale di **21.650 kWh/y** (3.650 kWh/y + 18.000 kWh/y), allora il solare termico contribuirà per circa il **58%** (12.650 kWh/y / 21.650 kWh/y).

Poiché l'energia termica totale annua richiesta, per una famiglia di 4 persone in una abitazione di **100 m²**, sarà di **21.500 kWh/y** (215 kWh/m²-y x 100 m²) allora la differenza di **8.850 kWh/y** (21.500kWh/y-12.650kWh/y) dovrà essere fornita dai combustibili fossili.

Per cui la quantità di fossile (**gas naturale** o **metano**) evitata sarà:

Energia solare termica disponibile: **12.650 kWh/y**; $\text{H}_i\text{-CH}_4 = \mathbf{37 \text{ MJ/m}^3}$ od anche **10,30 kWh/m³**;

Volume di **metano** evitato: $12.650 \text{ kWh/y} \times (1/10,30) \text{ kWh/m}^3 = \underline{1.231 \text{ m}^3\text{CH}_4/\text{y}}$.

Energia prodotta in un anno dal **metano**: $37 \text{ MJ/m}^3 \times 1.231 \text{ m}^3\text{CH}_4/\text{y} = \underline{0,04555 \text{ TJ/y}}$

Per le **emissioni** occorre riferirsi ai **fattori di emissioni** specifici per **TJ** prodotto nella combustione (fonte: Regione/ARPA Lombardia).

Premesso che il fattore di emissione specifico per la **CO₂** che viene emessa nella combustione del **metano** è di **55 t-CO₂/TJ**, od anche di **198 g-CO₂/kWh**, allora la quantità di **CO₂** evitata dalla mancata combustione di **1.231 m³CH₄/y** si aggira, in un anno, su circa:

2,50 t CO₂/100m²-y

Contestualmente va inclusa anche la quantità evitata di **NO_x** (inquinante e precursore del particolato) che verrà prodotta sempre nella combustione del **metano** dovuta alle alte temperature raggiunte nelle camere di combustione; tale fattore di emissione per il metano è di **50 g-NO_x/GJ**.

Per cui la quantità di **NO_x** evitata dalla mancata combustione di **1.231 m³CH₄/y** si aggira, in un anno, su circa:

2,28 kg NO_x/100m²-y

La quantità totale di particolato (**PTS**) evitata, sempre per la combustione del **metano** pari a **1.231 m³CH₄/y** e tenendo conto del fattore di emissione che è **200 g-PTS/TJ**, si aggira in un anno su circa:

9,11 g-PTS/100m²-y

La quantità di **CO** evitata, sempre per la combustione del **metano** pari a **1.231 m³CH₄/y** e tenendo conto del fattore di emissione che è **25 g-CO/GJ**, si aggira in un anno su circa:

1,14 kg-CO/100m²-y

La quantità di **COV** evitata, sempre per la combustione del **metano** pari a **1.231 m³CH₄/y** e tenendo conto del fattore di emissione che è **5 g-COV/GJ**, si aggira in un anno su circa:

0,23 kg-COV/100m²-y

La quantità di **SO_x** evitata, sempre per la combustione del **metano** pari a **1.231 m³CH₄/y** e tenendo conto del fattore di emissione che è **0,5 g-SO_x/GJ**, si aggira in un anno su circa:

22,78 g-SO_x/100m²-y

A questo punto basterà conteggiare le abitazioni (normalizzate a 100 m²) per avere un'idea sulle quantità di gas serra ed inquinanti che si possono evitare in un anno con l'introduzione del solare termico nelle abitazioni.